



TESIS DOCTORAL

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE INVENTARIOS EN UN ENTORNO DE FABRICACIÓN CON DESECHO Y REPROCESO ESTOCÁSTICO

**JOSÉ MARÍA BERGES ASÍN
INGENIERO INDUSTRIAL - E.M.B.A**

**DEPARTAMENTO DE ORGANIZACIÓN DE
EMPRESAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES**

2011

ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE INVENTARIOS EN UN ENTORNO DE FABRICACIÓN CON DESECHO Y REPROCESO ESTOCÁSTICO

Director: Dr. Javier Conde Collado

Autor: D. José María Berges Asín

Ingeniero Industrial / E.M.B.A.

Dedicatoria:

A mi amigo Antonio, que me animó hasta el fin de sus días.

AGRADECIMIENTOS:

A todos aquellos profesores y personal adjunto de las enseñanzas nocturnas y a distancia, que permiten que miles de personas podamos seguir creciendo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ANEXOS

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.1.- DIFERENCIA ENTRE CERTIDUMBRE, INCERTIDUMBRE Y RIESGO	2
1.2.- OBJETIVO	4
1.3.- DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE	4
1.3.1.- INTRODUCCIÓN	4
1.3.2.- OPTIMIZACIÓN DETERMINISTA	6
1.3.3.- OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA	8
1.3.4.- REPRESENTACIÓN EN ÁRBOL Y MATRICIAL	11
1.3.5.- MÉTODO DE MONTE CARLO BREVE RESEÑA HISTÓRICA	11
1.4.- ANTECEDENTES PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE INVENTARIOS	12
1.4.1.- PLANEACIÓN AGREGADA Y PROGRAMACIÓN	28
1.4.2.-CONCLUSIONES	30
1.5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO	32
1.5. 1.- MODELOS	32

1.5. 2.- CASOS	38
1.5.3.-INDICADORES	42
CAPÍTULO 2: DEFINICIONES PREVIAS	
2.1.- INCERTIDUMBRE EN PRODUCCIÓN	45
2.2. – INVENTARIOS	45
2.3.- EL PLANIFICADOR	47
2.4.- POSICIÓN DE INVENTARIO	47
2.5.- INVENTARIO DE PIEZAS DE REPROCESO	50
CAPITULO 3: MODELO SERIE PARALELO	
3.1.- MODELO SERIE PARALELO	51
3.2- PROCESOS SERIE	54
3.2.1.- CASO PROCESO SERIE	55
3.3.- PROCESO PARALELO	56
3.3.1.- CASO PROCESO PARALELO	59
3.4.- ACONDICIONAMIENTO	60
3.5.- FLUJO TEMPORAL REPROCESO EN PARALELO	61
3.5.1.- FLUJO DE SALIDA	62
3.5.2.- RETARDO TRANSITORIO DE SALIDA	63
3.5.3.- CASO FLUJO TEMPORAL PARALELO	64
CAPITULO 4: DEFINICION DE OTRAS VARIABLES	
4.1.- DEFINICIÓN DE OTRAS VARIABLES	69
4.2.- TIEMPO TOTAL DE PROCESO O LEAD TIME	70

4.3.- DEFINICIÓN DE INVENTARIO AJUSTADO	71
4.4.- ROTACIÓN SISTEMAS CON DESECHO Y REPROCESO	72
4.5.- TIEMPO TOTAL DE PROCESO	72
4.6.- CONSTANCIA INVENTARIO AJUSTADO POR ROTACIÓN	73
4.7.- CASO DESARROLLO APLICACIÓN INVENTARIO AJUSTADO	73
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	
5.1.- INTRODUCCIÓN	77
5.1.1- CASO PLANIFICACIÓN	78
5.2.- ANÁLISIS CAUSAL CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO	79
5.3.- MÉTRICAS PARA EL PLANIFICADOR	81
5.3.1.- BALANCE DE INVENTARIOS	81
5.3.2.- RATIOS	83
5.3.3.- CUENTA DE INVENTARIOS	84
5.3.4.- CAPACIDAD FUTURA Y AMORTIZACIÓN	85
5.3.4.1.- CUENTA DE RESULTADOS	86
5.3.4.2.- BALANCE	86
5.3.5.- INVENTARIO DE MANIOBRA	88
5.4.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIACIÓN DEMANDA	89
5.4.1.- DESARROLLO	89
5.4.1.1.- CASO ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	91
5.5. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TRADICIONAL	93
5.5.1.- INTRODUCCIÓN	93
5.5.2.- ESTIMACIÓN POR INTERVALOS DE CONFIANZA	94
5.5.2.1.- CASO	95

5.5.3.- LÍNEA DE TENDENCIA	96
CAPÍTULO 6: PLANIFICACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE	
6.1.- DEFINICIÓN CAPACIDAD FUTURA DISPONIBLE	99
6.2.- GRÁFICA DE RENDIMIENTOS	100
6.2.1.- GRÁFICA DE RENDIMIENTOS MONÓTONOS	101
6.3.- DEFINICIÓN DE VARIABLES	102
6.4.- MODELO	103
6.5.- REPARTO CAPACIDAD EN EL PROCESO INICIAL	105
6.5.1.- FUNCIÓN OBJETIVO	105
6.5.2.- RESTRICCIONES	106
6.6.- SOFTWARE	107
6.7.- CASO	108
6.7.1.- OPTIMIZACIÓN PROGRAMACIÓN LINEAL	108
6.7.1.1.- ESCENARIO 1	108
6.7.1.2.- ESCENARIO 2	113
6.7.1.3.- ESCENARIO 3	114
6.7.2.- OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA	117
6.7.2.1.- VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA	122
6.7.2.2.- RENDIMIENTOS MEDIOS	123
6.7.2.3.- VALOR DE LA SOLUCIÓN ESTOCÁSTICA	130
6.7.3.- CASO DOS	130
6.7.3.1.- PROGRAMACIÓN EN SOLVER	131
6.7.3.2.- PROGRAMACIÓN EN GAMS	135

6.7.3.3.- ÁRBOL	143
6.7.3.4.- MATRIZ	145
6.7.3.5.- MODIFICACIÓN DE RENDIMIENTO	146
6.8.- PLANIFICACIÓN SIN SERIES HISTÓRICAS, MÉTODO DE MONTE CARLO	148
6.8.1.- DESARROLLO MEDIANTE RISK SOLVER PLATFORM	148
CAPÍTULO 7: ERROR DE ESTIMACIÓN	
7.1.- INTRODUCCIÓN	153
7.2.- MINIMIZACIÓN DEL ERROR DE ESTIMACIÓN	154
7.2.1.- FUNCIÓN OBJETIVO Y RESTRICCIONES	154
7.3.- CASO: DESARROLLO MEDIANTE RISK SOLVER PLATFORM	157
CAPÍTULO 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES	171
CAPÍTULO 9 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	173
BIBLIOGRAFÍA	175
REFERENCIAS EN INTERNET	191

ANEXOS

ANEXO 1

INDICADORES LOGÍSTICOS MÁS UTILIZADOS	195
---------------------------------------	-----

ANEXO 2

PROGRAMAS SOLVER	199
PROGRAMAS GAMS	270

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

Capítulo 2:

- I_t : posición de inventario
- L_t : tiempo de proceso
- $L_{t\text{ prin}}$: tiempo de proceso línea principal
- $L_{t\text{ rep}}$: tiempo de proceso línea reproceso
- S_t : stock de productos comercializables al inicio del periodo t.
- S_{t-1} : el inventario al final del periodo anterior
- F_t : demanda insatisfecha en el periodo t
- F_{t-1} : demanda en el periodo t-1
- Q_t : flujo de productos del proceso del periodo t
- $Q_{t-L_{t\text{ prin}}}$: flujo de productos de la línea principal del periodo
- $R_{t-L_{t\text{ rep}}}$: flujo de la línea de reproceso del periodo
- $S_{\text{rep},t}$: inventario de reproceso en t
- $S_{\text{rep},t-1}$: inventario de reproceso en t – 1
- AR_t : reproceso generado por la línea principal en el periodo t
- $d_{\text{rep } t}$: desecho de la línea de reproceso en el periodo t

Capítulo 3:

- M_i : $i=1,2,\dots,M$: talleres
- d_i : desecho del taller i
- P^i : producción del taller i
- AR_2 : piezas enviadas a reproceso generado por el taller 2
- AR_2' : piezas enviadas a reproceso generado por el taller 2'

ar_2 : porcentaje de reproceso del taller 2

ar_2' : porcentaje de reproceso del taller 2'

Q : Piezas que entran al bucle de reproceso desde la línea principal

AR_2' : Tanto por uno de reproceso de la línea paralela

d_2' : Tanto por uno de desecho de la línea paralela

j : número de ciclos

X : tanto por uno de piezas que salen del sistema en el ciclo j

P_2^j : número de piezas buenas que salen de la línea de reproceso en el ciclo j

n : número de periodos elementales.

I^2 : inventario proceso paralelo

T : número de periodos elementales en procesar el lote Q

Capítulo 4

B_n^i : piezas netas que el taller i puede producir en el periodo n .

D_n^i : número de órdenes recibidas al taller i en el tiempo n .

I_n^i : inventario a la salida de cada taller i al principio del tiempo n .

P_n^i : producción del taller i en el periodo n .

LT_t : Tiempo total de proceso de la planta

LT_i :Tiempo de proceso del taller i

n : periodo considerado

R_t : rotación total del proceso o factoría

R_i : rotación del inventario del taller i

ρ_i :Rendimiento del taller i

P^1 : Producción neta que sale del proceso en el periodo n

Ia^i : inventario ajustado en la sección i

I_a : Inventario total ajustado

Capítulo 5:

Y : variación porcentual demanda respecto producción periodo anterior.

n : tamaño de la muestra o periodos considerados.

G_m : gap o desviación media de la muestra

O_i : ordenes fabricación solicitadas al taller P1, $i = 1, 2, 3, \dots n$

$P1_i$: material real fabricado en cada periodo i , $i = 1, 2, 3, \dots n$.

σ : desviación típica muestra distribución normal

S : cuasidesviación típica muestral, Student

Capítulo 6

PR_{sc} : Probabilidad del escenario sc

i : Tipo de molde que identifica el modelo

k : Fila o filas de moldes o máquinas que son susceptibles de montar moldes de tipo i

n : número máximo de moldes susceptibles de montarse del tipo k en nuestras instalaciones.

t : Periodo considerado

ρ : Rendimiento de la pieza

π_t^{it} : Proporción de moldes del producto i en la máquina k en el periodo t .

C_t^{ik} : máxima rotación o número de piezas suministradas del molde i que puede ser producido en la máquina k en el periodo t .

L_t^k :máxima capacidad de la máquina k en el periodo t .

a_t^{ik} :capacidad necesaria por unidad del molde i de la máquina k en el periodo t . Es el tanto por uno de utilización del molde en función de las necesidades.

b_t^{ik} : es la pérdida de capacidad de la máquina k, si es ajustada para colocar el molde i en el periodo t.

y_t^{ik} : variable binaria que toma el valor uno si la máquina k está disponible para producir la pieza i en el periodo t, igual a cero en caso contrario.

x_t^{ik} : es la producción del molde i en la máquina k en el periodo t.

s_t^i : es el inventario en el almacén del producto i, al final del periodo t.

i_t^i : es el inventario en curso ajustado del producto i, al final del periodo t.

d_t^i : variable que representa retrasos, pedidos a corto y medio plazo del producto i en el momento t.

p_t^i : variable que representa pedidos largo plazo y previsiones de ventas en el periodo. t.

c_i : costes de fabricación del modelo i

x_t^{ik} : producción del molde i en la máquina k en el periodo t.

PR_{is} : Probabilidad del escenario s, de la pieza i

S : número máximo de escenarios

p_i : penalización no servicio pieza i

x_{nis} : piezas no servidas del modelo i en el escenario s

x_{ais} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

a_i : coste de almacenamiento del modelo i

p_{vi} : precio de venta del modelo i

x_{vis} : piezas vendidas del modelo i en el escenario s

ρ_{is} : Rendimiento de la pieza i en el escenario s

x_{nis} : piezas no servidas del modelo i, en el escenario s

p_{ni} : piezas necesarias del modelo i.

x_{vis} : piezas vendidas del modelo i en el escenario s

x_{ais} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

ρ_m : rendimientos medios

EVPI: Valor esperado de la información perfecta o arrepentimiento esperado, (*Expected value of perfect information*)

WS: valor esperado de la solución óptima, (*wait and see*) “espera y observa”.

EVWPI : “valor esperado con información perfecta” (*Expected value with perfect information*). Otra denominación de WS

RP: problema estocástico con recurso (Recourse Problem) que tiene una solución óptima.

VSS: Valor de la solución estocástica (*Value of the stochastic solution*)

EV: solución del problema determinista del valor medio (*expected value EV*).

EVV: Valor esperado de la solución del valor medio de los parámetros estocásticos.

VSS: Valor de la solución estocástica (*value of stochastic solution VSS*)

M : punto de decisión

Capítulo 7: Error de estimación

s: denominación de escenario.

ts: número total de escenarios.

PR_s: probabilidad de ocurrencia del escenario s.

n: número de elementos de la serie o tabla

n_{ss}: número de elementos del escenario s

n_i : número de orden en la serie de la pieza i

ρ_i: Rendimiento de la pieza i en un periodo elemental t

ρ_s: Rendimiento medio

ρ_{mis}: Rendimiento medio de la pieza i en el escenario s

error: error de estimación

errors: error del escenario s

ESCENARIO (S,i): variable binaria que vale 1 si el valor con número de orden i , pertenece al escenario S . En caso contrario toma el valor 0.

Selector(s,i): variable auxiliar que tomará el valor uno si el número de orden i de la tabla ordenada es menor o igual que el número de elementos del escenario s más el número de elementos de todos los escenarios precedentes. Si no es así tomara el valor cero.

ρ_{mn_s} : rendimiento medio de un sub periodo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Árbol.

Figura 1.2 Orden económica de pedido

Figura 1.3 Probabilidad en la gestión de inventarios

Figura 1.4 Talleres serie.

Figura 1.5 Tamaño del lote

Figura 1.6 Células de inspección

Figura 1.7 Lote con reproceso

Figura 1.8 Lote con reproceso, coste de arranque y de inventarios

Figura 1.9 Planificación de la producción, clásico

Figura 3.1 Diagrama proceso serie paralelo con desecho y reproceso.

Figura 3.2 Diagrama proceso serie

Figura 3.3 Flujo serie

Figura 3.4 Diagrama proceso paralelo

Figura 3.5 Flujo proceso paralelo

Figura 5.1 Análisis causal

Figura 5.2 Balance financiero.

Figura 5.3 Balance inventarios – pedidos

Figura 5.4 Ejemplo Balance inventario, capacidad – Pedidos

Figura 5.5 Ejemplo Balance en t+1 inventario, capacidad – Pedidos

Figura 5.6 Fondo de maniobra financiero

Figura 5.6 Inventario de maniobra

Figura 6.1 Capacidad futura disponible

Figura 6.2 Parámetros Solver

Figura 6.3 Opciones de Solver

Figura 6.4 Árbol de escenarios

Figura 6.5 Matriz de escenarios

Figura 6.6 Matriz de probabilidades

Figura 6.9 Ejemplo distribución de probabilidades uniforme 1

Figura 6.10 Ejemplo distribución de probabilidades uniforme 2

Figura 6.11 Generación de escenarios de Monte Carlo 1

Figura 6.12 Generación de escenarios de Monte Carlo 2

Figura 7.1 Programación minimización error, variable binaria selector

Figura 7.2 Minimización error, variable binaria escenario y rendimiento

Figura 7.3 Programación minimización error, formulación error por escenario

Figura 7.4 Caso programación minimización error, función objetivo y restricciones

Figura 7.5 Caso programación minimización error, función objetivo y restricciones antes de procesar

Figura 7.6 Caso programación minimización error: resultados

Figura 7.7 Programación minimización error en Risk Solver cuatro escenarios, resultados

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Flujo proceso serie

Gráfico 3.2 Flujo proceso paralelo

Gráfico 3.3 Reproceso paralelo primer lote

Gráfico 3.4 Gráfico flujo según rotaciones desde ciclo paralelo

Gráfico 3.5 Gráfico flujo según ciclos elementales ciclo paralelo

Gráfico 3.6 Ejemplo flujo de entregas de la línea serie paralelo por ciclos

Gráfico 5.1 Balance pedidos-inventarios, órdenes

Gráfico 5.2 Relación demanda – órdenes producción-rotación

Gráfico 5.3 Ejemplo desviaciones

Gráfico 5.4 Caso línea de tendencia

Gráfico 5.5 Ejemplo línea de desviaciones y línea de tendencia

Gráfico 6.1 Caso temporal de rendimientos, fuente propia

Gráfica 6.2 Caso de rendimientos monótonos

Gráfico 6.3 Resultados escenarios programación lineal

Gráfico 6.4 Resultados escenarios programación lineal – estocástica

Gráfico 6.5 Rendimientos medios

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCIÓN

La planificación de la producción en procesos estocásticos es un problema difícil de resolver, cuyas desviaciones afectan a todas las áreas de la empresa: fallos en las entregas, desviaciones financieras, operaciones de marketing truncadas, ventas frustradas, afectando directamente a la imagen de la empresa. . . En definitiva, es clave para el éxito o supervivencia del negocio.

La mayoría de las plantas de fabricación con procesos estocásticos se diseñan con modelos deterministas, dentro de un concepto estático, influyendo en las decisiones estratégicas, tácticas y operativas. Aunque facilita el diseño, la realidad posterior le aparta de las condiciones de diseño creando cuellos de botella o sobrecapacidades con altos costes financieros y dificultando las operaciones.

No sólo el diseño de la planta sigue este patrón, la gestión de órdenes de fabricación, el cálculo de stocks o el cálculo de los plazos de entrega se realizan generalmente utilizando modelos deterministas.

Sin embargo, muchas industrias, tienen procesos o parámetros no controlables y difícilmente cuantificables. El diseñador de plantas duda en el momento de prever capacidad de instalaciones o espacios requeridos, el planificador tiene enormes dificultades a la hora de gestionar los recursos para alcanzar o mantener los inventarios requeridos y al industrializador le es imposible determinar cuántos recursos tiene que emplear o cuándo va a alcanzar el nivel de inventario solicitado para el lanzamiento de un nuevo producto.

Por ejemplo en la industria cerámica, Domenico Fortuna (2000), se pueden tener rechazos de hasta el 50% en piezas de complejidad elevada y niveles de reproceso que pueden alcanzar e incluso superar el 80%.

Además, para gestionar, necesariamente tenemos que pronosticar y planificar, Jay Heizer, Barry Render (2003) define previsión como: “es el arte y la ciencia de predecir acontecimientos futuros. Puede suponer la toma de datos históricos y su proyección hacia el futuro con algún tipo de modelo matemático, puede ser una predicción

subjetiva o intuitiva del futuro, o puede englobar una combinación de éstas; es decir, un modelo matemático ajustado al buen juicio del directivo”.

La naturaleza de los procesos es dinámica y cualquier decisión se extiende en el tiempo condicionando la toma de decisiones posteriores.

Esta naturaleza dinámica de los acontecimientos se extiende incluso en el quehacer más cercano, Steven Nahmias anota (2007): “En la práctica, la programación de trabajos es un problema dinámico” y define el término dinámico: “implica que los trabajos llegan aleatoriamente con el tiempo y deben tomarse decisiones sobre la marcha en cuanto a cómo programar estos trabajos”.

Muchos autores han realizado estudios sobre planificación estocástica, aunque ninguno sobre el tema referido en esta tesis, sin embargo como se verá un poco más adelante autores de reconocido prestigio reconocen que los modelos actuales de planificación bajo incertidumbre son inapropiados o muy limitados con horizontes de planificación de varios periodos, por lo que se van a desarrollar planteamientos que sortean estas dificultades minimizando el problema de la falta de capacidad de computación disminuyendo el número de periodos y buscando indicadores óptimos que representen los datos seleccionados. La falta de precisión en los resultados mediante optimización estocástica a largo plazo, según pruebas de campo, se corrige mediante la formulación de indicadores causales como herramientas en soluciones heurísticas.

Puesto que estamos en procesos con inventarios variables, como consecuencia de desechos y reproceso, a lo largo de la cadena de valor se definirán nuevas definiciones de inventario o tiempo de proceso que nos permita aplicar los conceptos utilizados habitualmente.

1.1.1.- DIFERENCIA ENTRE CERTIDUMBRE, INCERTIDUMBRE Y RIESGO

Certidumbre sería el caso en que cada acción da un resultado conocido e invariable. La incertidumbre es una característica intrínseca de una parte de la naturaleza, siendo común a todos los actores, el riesgo desde un punto de vista subjetivo es específico para cada actor. Así, como ejemplo, el rendimiento de una cosecha local en un país

subdesarrollado tiene un gran grado de incertidumbre observado por cualquier actor, pues depende de la climatología, plagas etc., pero tiene un gran riesgo para el pequeño agricultor autónomo de ese país subdesarrollado y ningún riesgo para un funcionario de un país desarrollado lejano.

Desde un punto de vista matemático se definiría como riesgo en el caso de que cada acción tenga asociado un posible resultado y este tiene una cierta probabilidad de ocurrencia. La certidumbre sería una situación de riesgo con probabilidades cero y uno. Podríamos definir incertidumbre como la expresión del grado de desconocimiento de una condición futura es decir se desconocen las probabilidades de los resultados.

La gran mayoría de las veces, las decisiones implican riesgos. El agricultor del ejemplo mostrado previamente empleará su conocimiento, es decir, tendrá sus propias reglas heurísticas, valorando y calculando el riesgo antes de tomar una decisión.

Sin embargo, estas reglas, que en el ejemplo del agricultor estarán basadas en la experiencia de varias generaciones, no existen o son difícilmente aplicables en muchos contextos empresariales, por su complejidad y por los sesgos cognitivos que influyen en la toma de decisiones. En este documento se eliminan estos sesgos simplificando a la vez el modelo para que con los medios actuales, las decisiones sean óptimas.

El objetivo perseguido es optimizar el beneficio, pero el modelo tiene datos de entrada que tienen un cierto grado de incertidumbre. En este caso en concreto, la variable con incertidumbre es el rendimiento, de tal forma que dependiendo del dato de rendimiento que se tome, afectará sobre el beneficio.

Uno de los primeros pasos que deberán plantearse es cuantificar la incertidumbre. Para ello, la serie histórica será ordenada en una serie monótona.

Hacer notar que podría tomarse la media de un conjunto de valores de toda la muestra como único parámetro de rendimiento, tomando solo una parte de la población y efectuando un análisis de riesgos, el cual ayudaría en la decisión final a tomar. El estudio va a dar un paso más cuantificando la incertidumbre, tomando la totalidad de la población mediante parámetros que le representen, minimizando el error de esta

elección y realizando un proceso de matemático de optimización que busque la mejor solución posible teniendo en cuenta unos costes de computación aceptables.

1.2.-OBJETIVO

Conscientes de que siempre se necesita el buen saber del gestor, nuestro objetivo es desarrollar las herramientas necesarias que ayuden al planificador a cumplir con su misión, en una planta con varios talleres serie - paralelo con desecho y reproceso, teniendo en cuenta la estocasticidad del proceso.

1.3.- DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE

1.3.1.- INTRODUCCIÓN

En cualquier actividad humana se da un proceso continuo de toma de decisiones, algunas de pequeña importancia y otras muchas, de gran transcendencia.

El hombre siempre ha utilizado las herramientas que ha tenido a su alcance para intentar asegurar el buen juicio de sus elecciones mediante todo tipo de herramientas, formación específica, decisiones colegiadas, consejo de expertos, crítica constructiva, incluso muchas tradiciones, algunas convertidas en leyes, intentaban trasladar a generaciones futuras el buen saber hacer.

Actualmente y bajo ciertas circunstancias somos capaces de trasladar algunos tipos de cuestiones al lenguaje matemático, que junto con el incremento de la capacidad de cálculo gracias al desarrollo de los computadores, facilitan la toma de decisiones en algunos casos bajo el paraguas de la optimización.

Sin embargo, la realidad en muchas ocasiones es demasiado compleja y cambiante por lo que al intentar reflejarla en modelos matemáticos se convierte en problemas de grandes dimensiones teniendo parámetros desconocidos y estocásticos, además todo ello puede ir acompañado de incertidumbre debido a la poca fiabilidad de algunos datos, enfatizado por la falta de datos referente a acontecimientos futuros.

Existe un excelente trabajo que recopila y sintetiza una gran cantidad de información sobre el tema de Optimización bajo incertidumbre, Ramos, A., Alonso-Ayuso, A., Perez, G. y otros (2008) en el libro del mismo título. En el prólogo dice “actualmente no existen aplicaciones estándar o comerciales, potentes y fiables para resolver problemas estocásticos” y en el capítulo uno cita: “muchos de estos modelos presentan las siguientes características: Son de dimensiones enormes, son estocásticos, son enteros y son no lineales. Cada una de estas tres últimas características dificultan enormemente la resolución del problema, considerándose problemas de complejidad computacional elevada”.

“Sin embargo, desde mediados del siglo XX (Dantzig¹, 1955, 1960, 1963, 1990, 1991, 1997) se reconoce el hecho de que la optimización determinista tradicional no siempre es la más adecuada para capturar el verdadero comportamiento aleatorio de la mayoría de las aplicaciones de la vida real. La principal razón estriba en que las aplicaciones están involucrados datos inciertos; que aparecen porque la información necesaria en etapas siguientes aún no está disponible en el momento en que la decisión ha de ser tomada”.

Para atacar este problema de optimización bajo parámetros no deterministas surge el desarrollo de la Optimización bajo incertidumbre o Programación Estocástica.

Prékopa, (1995) define la programación estocástica como la ciencia que proporciona formulaciones y soluciones de optimización de los sistemas estocásticos, utilizando la técnica de programación matemática.

La optimización trata de minimizar o maximizar una función que denominamos objetivo, la cual está compuesta por una o varias variables. Estas variables generalmente están restringidas por ecuaciones o desigualdades.

¹George Bernard Dantzig (1914-2004) se le considera el padre de la programación lineal, durante su carrera académica mostró cómo explotar la generalidad del modelo de programación lineal: la formulación y solución de problemas de gestión en la mayoría de las principales industrias, la resolución de problemas estratégicos y tácticos en la defensa; la evaluación de planes y soluciones operativas de energía y otros problemas de recursos limitados, los avances teóricos en matemáticas, estadística, economía, la teoría de juegos, la informática y la adaptación del modelo de programación lineal a un conjunto más general de los problemas matemáticos de programación. También trabajo como consultor para una serie de grandes empresas siendo muy prolífico en artículos de investigación y libros de texto.

Los matemáticos dividen este tipo de problemas en dos ramas, los que denominan modelos deterministas y los modelos estocásticos. En el primer caso los parámetros asociados al modelo son conocidos con certeza absoluta, en los modelos estocásticos la totalidad o una parte de los parámetros son una distribución de probabilidad.

1.3.2.- OPTIMIZACIÓN DETERMINISTA

Newton, Bernouilli, y Lagrange, ocupados en el desarrollo del cálculo infinitesimal, empezaron a estudiar hace más de 300 años la forma de obtener máximos y mínimos de determinadas funciones. Sin embargo, no fue hasta el siglo XIX cuando el matemático francés Fourier empezó a indagar en los métodos que ahora llamamos programación lineal.

En el año 1939 el matemático ruso Kantarovith define por primera vez de una forma precisa lo que hoy llamamos programación lineal en su obra “Métodos matemáticos de organización y planificación de la producción”.

En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, EEUU llegó a la conclusión de que la coordinación de todos los recursos era un problema de tal complejidad que solo podría resolverse por métodos de optimización cuyo modelo resuelve la programación lineal. Este concepto junto con el desarrollo de los ordenadores hizo que un grupo de investigadores, Richard W. Cottle, B. Curtis Eaves and Michael A. Saunders (2006), liderados por Dantzing en 1947 formaran un grupo, “Scientific Computation of Optimum Programs”, cuya primera aplicación fue el puente aéreo de Berlín tras su aislamiento por parte del bloque soviético.

Después de este grupo de trabajo, se crean otros donde se desarrollan distintas aplicaciones y en 1951 el grupo dirigido nuevamente por Dantzig ayudado por modelos de ordenador se desarrolla el método simplex, siendo este el método más utilizado en la resolución de ecuaciones lineales.

Podría definirse como programación lineal la maximización o minimización de algunas funciones, las cuales se encuentran sujetas a ciertas restricciones. Se caracteriza por funciones lineales de las incógnitas, el objetivo es lineal en las incógnitas y las

restricciones son igualdades o desigualdades lineales en las incógnitas. David E. Luenberger (1989).

Se puede expresar como: A. Alonso-Ayudo y otros (2008):

$$\begin{aligned} Z &= \text{minimizar } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{Sujeto a } & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ & \dots\dots\dots \\ & A_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\ & x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

Y en forma matricial:

$$\begin{aligned} Z &= \text{minimizar } cx \\ \text{Sujeto a } & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

Donde x es un vector columna de decisiones de dimensión n de términos no negativos, c que representa los costos es un vector fila de dimensión n , A es la matriz de restricciones de dimensión $m \times n$ y b es el vector columna m dimensional de términos independientes, siendo c, A, b datos reales conocidos.

Un valor óptimo x^* es una solución factible tal que $cx \geq cx^*$ para cualquier otra solución factible de x . “Los programas lineales obtienen soluciones óptimas de mínimo coste bajo restricciones lineales de demanda o máximo beneficio bajo una situación de recursos limitados”.

Las restricciones definen los límites del sistema que se intenta optimizar. Para definir la restricción, primero deberá calcularse un valor de las variables de decisión, y después será definido un límite mediante los operadores $\leq, =, \geq$, sobre este valor calculado.

Restricciones generales: Por ejemplo, en un reparto en porcentajes de un conjunto total la suma de estos porcentajes tiene que ser cien.

Límites en las variables: las variables de decisión están limitadas a un rango de valores.

Política de restricciones: definidas por las políticas que se establezcan en la definición del problema. Por ejemplo, podría establecerse un límite mínimo al porcentaje de capacidad de producción reservado para un determinado producto.

Limitaciones físicas: están determinadas por la naturaleza del problema. Por ejemplo, el número de productos a producir tiene que ser positivo (en este caso números negativos no tienen sentido).

Limitaciones de entero: en algunos casos la variable de decisión tiene que ser un entero, por ejemplo en un problema cuya variable de salida sea el “número de personas a ser operadas” o “volar en un determinado avión”.

Restricción variables binarias de decisión: serán utilizadas como variables de decisión, por ejemplo si ponemos una máquina en marcha o no en función de variables como los costes fijos y variables.

Diversos estudios señalan que si un país utilizase métodos de programación lineal, su producto interior bruto aumentaría entre un 10 y un 15%.

1.3.3.- OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA

Siguiendo con la notación empleada en el apartado anterior se definen los problemas lineales estocásticos como problemas de optimización lineal en los que algunos de los parámetros c, A, b se consideran inciertos.

$$\begin{aligned} Z^\omega &= \text{mín } c^\omega x^\omega \\ \text{s.a. } & A^\omega x^\omega = b^\omega \\ & x^\omega \geq 0 \end{aligned}$$

donde ω es cada uno de los escenarios y Ω el conjunto de escenarios.

Generalmente la toma de decisiones es función del tiempo, por lo que se define “etapa” A. Alonso-Ayudo y otros (2008) “como un conjunto de periodos de tiempo en los que tiene lugar la realización de parámetros inciertos.”

Sin embargo, la resolución del sistema de ecuaciones puede dar lugar a confusión pues puede haber soluciones en un escenario y no en el otro.

Haciendo un breve resumen de una parte del trabajo de Andrés Ramos y Santiago Cerisola (2009) , podría explicarse cómo:

El método que recoge adecuadamente la incertidumbre, es el denominado “análisis de escenarios”. El primer proceso puede resumirse como la elección de un conjunto finito de valores de los parámetros estocásticos que representen el conjunto de todos los valores posibles de los mismos.

Los parámetros estadísticos son una consecuencia inevitable del propósito esencial de la estadística: modelar la realidad.

Tradicionalmente se ha atacado el problema de la incertidumbre bajo varios planteamientos que pueden resumirse como sigue:

a) Análisis de escenarios:

1.- Un problema es resuelto para cada escenario posible, es decir, el problema se resuelve independientemente para cada escenario, por lo que a priori tendremos una decisión para cada escenario. En la bibliografía a este tipo de resolución se la denomina “espera y observa”, “análisis de escenarios” o “qué pasaría si” (*wait and see, scenario analysis o what if analysis*). Un caso particular es la resolución del escenario medio (*expected value EV*). Con este tipo de resoluciones la solución de un escenario puede ser irrealizable para otro.

2.- Con las soluciones obtenidas de forma determinista y con criterios heurísticos, se busca la mejor solución, que difícilmente será la solución óptima para todos e incluso alguno de los escenarios. Generalmente se elegirá la solución que aparezca en más escenarios deterministas buscando la flexibilidad en el cambio de las decisiones a lo largo del tiempo mientras se resuelve la incertidumbre.

b) Optimización estocástica:

Las decisiones dependen únicamente de la información disponible en ese momento, teniendo en cuenta la distribución estocástica. Las decisiones de la primera etapa, en

nuestro caso máximo número de piezas a colar en el taller M o capacidad, son independientes del escenario que ocurra, tomándose con antelación a resolver la incertidumbre.

Con la optimización estocástica nos protegemos frente a la incertidumbre, utilizándola cuando necesariamente nuestras decisiones tienen que tener en cuenta la incertidumbre.

Se dice que una solución es robusta si está cerca de ser óptima para todos los escenarios.

Podemos protegernos respecto a un determinado riesgo penalizando mucho esa situación, por ejemplo la penalización por falta de servicio de un determinado modelo, sabido crítico por política de empresa.

Alonso-Ayuso (2008) define escenario: “Es una realización de los parámetros inciertos y deterministas a través a lo largo de las diversas etapas del horizonte temporal”.

Y en su pie de página escribe: “Uno de los problemas más importantes a la hora de desarrollar esta metodología, y que se escapa al objetivo de este trabajo, es la determinación del conjunto de escenarios a utilizar, de manera que dicho conjunto sea representativo del total”.

En su artículo A. J. Kleywegt, A. Shapiro and T. Homem-de Mello (2001) desarrollan una metodología para determinar el tamaño de la muestra de escenarios dada la probabilidad de error que se permita relacionándolo con la capacidad de cálculo.

Resumiendo, podría decirse que una alternativa consiste en resolver los problemas deterministas asociados a cada escenario, sin embargo, como ya se ha visto, las diferentes soluciones óptimas, condicionadas a la ocurrencia de cada escenario, así como sus valores en la función objetivo, deben ser estudiados para decidir sobre una solución aceptable pero puede haber soluciones posibles en un escenario y en otro no.

La metodología de análisis de escenarios como tratamiento de la incertidumbre en un problema de optimización, proporciona soluciones factibles bajo cada escenario, pero sin supeditarse a ninguno de ellos y cuyo valor esperado en la función objetivo es siempre excelente, para el conjunto de ellos. La realización de esta metodología consiste, como se verá más adelante, en optimizar una combinación lineal de las

funciones objetivo bajo cada escenario, aplicando a su vez las restricciones en cada uno de ellos.

1.3.4.- REPRESENTACIÓN EN ÁRBOL Y MATRICIAL

Una forma de representar el conjunto de escenarios es mediante un árbol cuyos niveles corresponden a periodos en los que se toman las distintas decisiones. En cada etapa hay tantos nodos como realizaciones de los parámetros inciertos.

En la primera etapa está el nodo raíz desde donde salen distintas trayectorias hasta los nodos de la etapa final, cada una de estas trayectorias representan un escenario, que corresponde a una realización del conjunto de parámetros inciertos que recoge la secuencia temporal en la que se dispone de información.

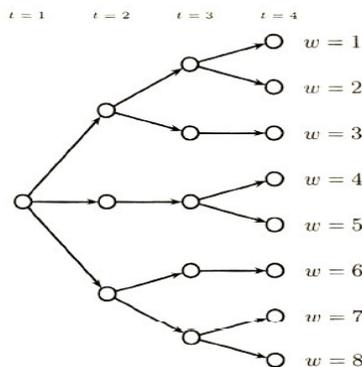


Figura: 1.1: Árbol. Fuente: A. Alonso- Ayuso y otros, Modelización Estocástica, Optimización bajo incertidumbre, Comillas 2008

También pueden apreciarse las distintas probabilidades en una matriz.

Posteriormente veremos un caso con representación en árbol y matricial.

1.3.5.- MÉTODO DE MONTE CARLO. BREVE RESEÑA HISTÓRICA

La invención del método de Monte Carlo se asigna a Stan Ulam y a John Von Neumann. Ulam ha explicado cómo se le ocurrió la idea mientras jugaba un solitario

durante una enfermedad en 1946. Advirtió que resulta mucho más simple tener una idea del resultado general del solitario haciendo pruebas múltiples con las cartas y contando las proporciones de los resultados que computar todas las posibilidades de combinación formalmente.

El método se llamó así en referencia al Casino de Monte Carlo², al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios. El uso de los métodos de Monte Carlo como herramienta de investigación, proviene del trabajo realizado en el desarrollo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial en el Laboratorio Nacional de Los Álamos en EE.UU. Este trabajo conllevaba la simulación de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones en el material de fusión, la cual posee un comportamiento eminentemente aleatorio.

El método de Monte Carlo facilita soluciones aproximadas a una gran pluralidad de problemas matemáticos facilitando la ejecución de experimentos con muestreos de números generados aleatoriamente en un ordenador, siendo utilizado en todas las ramas de las ciencias tales como matemáticos, físicos, ingenieros, finanzas, informáticos. . .

1.4.- ANTECEDENTES PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE INVENTARIOS

La demanda, la planificación de la producción, el acopio de materiales, la fabricación, los inventarios, los costos, el abastecimiento hasta el cliente final y la coordinación de todos estos conceptos es un espacio complejo y con muchas incógnitas todavía por resolver.

Los inventarios, tienen por derecho propio un capítulo aparte en la mayoría de los tratados de logística y producción como parte y herramienta inherente de todos los

²<http://math.iit.edu/~mcqmc/> : Esta página está dedicada a compartir recursos y conocimientos para los estudiosos y profesionales que trabajan con el sistema Monte Carlo. Cada dos años se reúnen en una conferencia internacional.

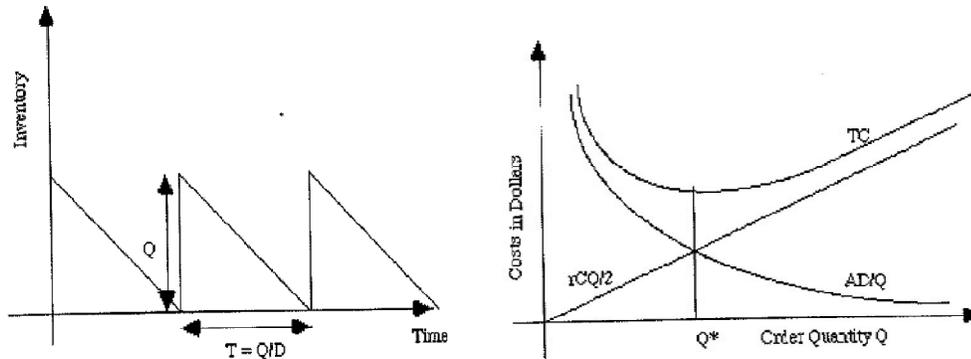
apartados descritos anteriormente. La competitividad, los ajustados márgenes y el modelo nipón de trabajar con mínimos inventarios, ha convertido el control de inventarios y consecuentemente, la planificación en un factor crítico de las compañías.

El almacenamiento forma parte de la naturaleza: muchas plantas y animales hacen sus reservas en épocas de abundancia para poder abastecerse en épocas de escasez. El hombre desde la antigüedad ha realizado esta operación, por lo que de alguna forma preveía la cantidad a almacenar para pasar cortas o largas temporadas sin suministro, desde la época de recolector o cazador ha tenido que enfrentarse a la incertidumbre de la capacidad de conseguir bienes, lo que en función del consumo determinaba la cantidad a almacenar.

Sin embargo, los conceptos de producción, inventario y planificación no forman parte de la literatura científica hasta la Revolución Industrial, que con la división del trabajo y la introducción de máquinas, demanda una gran cantidad de capital, surgiendo la necesidad de gestión y por lo tanto de desarrollar métodos científicos en que apoyarse. En 1903, Frederick Taylor, considerado el padre de la administración científica, publica “Shop Management”, y más tarde en 1911 “The principles of Scientific Management”. Siendo conscientes de la importancia económica de estos conceptos, se aplican principalmente en la industria del automóvil, dándose cuenta de la importante relación entre la planificación e inventarios en la cuenta de resultados de sus compañías.

Las primeras publicaciones sobre modelos de inventario datan de principios del siglo XX, el primer trabajo trascendente lo escribe Harris Ford en el año 1913 en el que desarrolla un modelo denominado “orden económica de pedido”, (*Economic Order Quantity EOQ*). Por primera vez en la historia, se relacionan la demanda total, el costo unitario de compra, el costo de realizar el pedido y el costo de almacenamiento por artículo, llegando a determinar el nivel de inventario que minimiza los costos de inventario y de compra. Se fundamenta en encontrar el punto en el que los costes por ordenar un producto y los costes por mantenerlo en inventario son iguales (ver figura 1.2). Como ocurre frecuentemente en la ciencia, esta teoría no se aplica ampliamente hasta el año 1934 gracias al consultor Wilson, R. H. (1934) que la difunde, aunque como señala Bill Roach (2005) esta teoría tiene muchas limitaciones de aplicación debido a sus restricciones, ya que la demanda tiene que ser constante, no hay límites de

capacidad de inventario ni de materiales, el suministro debe ser inmediato, no se permiten roturas de stocks y los costos son invariables con el tiempo, pero supuso un cambio en los principios de gestión: la gran aportación de esta teoría es el concepto de costo total, que perdurará hasta nuestros días.



D: demanda, unidades al año.

i: tasa de interés

S: costo de lanzar un pedido

C: costo unitario

Q: tamaño del lote en unidades

TC: costo total, compra más mantenimiento inventarios.

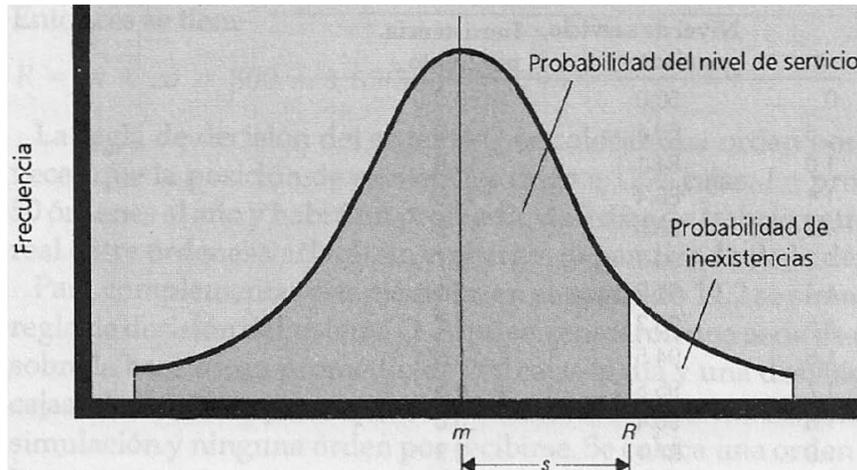
$$\text{Cantidad económica de pedido } Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{iC}}$$

Figura: 1.2: Orden económica de pedido. Fuente: Origins of the Economic Order Quantity Formula

Con el desarrollo de las comunicaciones y el incremento de la producción industrial, la necesidad de mejora en este campo fue aumentando. El suministro al ejército americano en la Segunda Guerra Mundial fue el principal acicate para darle un importante impulso ya que en ese contexto de urgencia, escasez y búsqueda de la eficiencia el mundo se enfrentó a un problema sin precedentes, induciendo investigaciones y desarrollos de modelos de sistemas que serán ampliados y aplicados sine die por todo tipo de organizaciones.

Hasta mitad de siglo XX, la política de inventarios se basa en modelos con flujos conocidos y constantes. En los años cincuenta se introduce la probabilidad y aleatoriedad en la gestión por autores como Arrow K.J., T. Harris, J. Marschak (1951) Dvoretzky, A., J. Kiefer, J. Wolfowitz (1952) que enfocan el problema como procesos

estadísticos en el que el flujo de la demanda es una variable aleatoria donde se conoce su distribución probabilística, estudiando el nivel idóneo de inventario y el punto de reorden como función de la distribución de demanda, el coste de pedido y la penalización de la falta de servicio, (ver figura 1.3). Como apuntan Caplin A, Leahy J (2010), ésta teoría se sigue aplicando en la actualidad por su facilidad de gestión y eficiencia.



R: punto de reorden m: demanda media s: inventario de seguridad
z: factor de seguridad σ : desviación estándar de la demanda
s: $z\sigma$ R: $m+s = m+ z\sigma$, punto de reorden

Figura 1.3 Probabilidad en la gestión de inventarios. Fuente: Roger G. Schroeder, Administración de operaciones.

Bellman R.(1957) da un paso más introduciendo la programación dinámica, una técnica matemática que busca solucionar problemas en etapas sucesivas tomando decisiones secuenciales que minimicen el coste total. Así, en cada etapa se valora el coste actual y futuro de la decisión que se tome, siendo éste un procedimiento recursivo, de manera iterativa se va incorporando cada vez una etapa, que es una parte del problema original.

Una vez conocida la solución global óptima, cualquier solución parcial de una parte de todas las etapas, será también una solución óptima.

Un punto de vista distinto lo implanta Morse, P. en 1958 aplicando la teoría de colas desarrollado por el matemático Agner Krarup Erland (en el año 1909 publicó el primer

artículo sobre la teoría de colas demostrando que la Distribución de Poisson es aplicable al tráfico telefónico aleatorio utilizándolo en el dimensionamiento de líneas y centrales telefónicas) asimila el inventario a un servicio en un sistema de colas, donde dado un flujo medio existen fluctuaciones que producen cuellos de botella o sobre capacidad, estas oscilaciones pueden ser analizadas y por lo tanto en muchos casos previstas. El tiempo de servicio es equivalente al tiempo de reaprovisionamiento y la espera sería comparable a la falta de suministro.

Un año más tarde, Brown R. G. (1959) establece el punto de vista de reposición de inventario bajo dos suposiciones: cuándo debemos reabastecer el inventario y en qué cantidad, a la primera pregunta su respuesta es ahora, al principio de cada periodo. La respuesta a la segunda suposición será en función de la serie histórica de la demanda, de tal forma que el sistema se realimenta de sus propios datos históricos. Si no tenemos demanda será en función de previsiones; partiendo de datos estadísticos podemos obtener una función de distribución a la que podemos asociar una variación y por lo tanto un error y un stock de seguridad. A partir de este año la mayoría de las teorías basan sus modelos en que la incertidumbre de la demanda y el tiempo de respuesta son conocidos a través de valores probabilísticos.

Muchos de estos desarrollos realizados hasta los años sesenta del siglo pasado eran difíciles de aplicar puesto que exigían tratar gran cantidad de información y las herramientas necesarias para este cometido, como la capacidad de computación, estaban todavía en sus inicios de estudio. No obstante, las reglas definidas entonces como punto de pedido, la aplicación de las demandas de distribución (normal, exponencial, Poisson) y los principios de optimización son aplicadas hoy en complejas aplicaciones de programación lineal multi-producto y modelos de optimización estocásticos en las que las decisiones estarán basadas en eventos probabilísticos.

En la siguiente década, la mayoría de los investigadores asumen que conocen la demanda o su distribución de probabilidad. El concepto se define dentro de un horizonte temporal determinado por el tamaño del lote adaptado a los nuevos conocimientos, y estas condiciones son utilizadas para buscar la solución óptima. En la función de los modelos de optimización se introducen conceptos como costos de pérdida de servicio o

retrasos, autores como Veinott H. Wagner (1965) profundizan sobre la mejora de los algoritmos de optimización para ordenadores, además Veinott establece una sólida regla práctica: “reemplaza lo que vendas”, así como también se introduce la política de inventarios (s,S) que consiste en hacer un pedido cuando el nivel de inventario llega a “s” para conseguir alcanzar el “nivel S”.

Anne Spence Wein (1992) realiza una valoración del rendimiento del proceso desde el punto de vista económico para conseguir los objetivos de producción, sobre un estudio basado en la fabricación de circuitos integrados de un único lote de producción en un proceso de fabricación en serie con desecho y reproceso donde necesariamente se ha de realizar la orden solicitada. El estudio se centra en la toma de decisión de reprocesar, dar desecho o seguir adelante en el inventario de uno de los pasos del proceso, para ello modela el proceso mediante cadenas de decisión de Markov, es decir, se basan en la historia del sistema hasta su instante actual para de esta forma poder describir en forma de variables estadísticas su estado futuro. La política sería reprocesar cuando el rendimiento está por debajo de lo planeado, para ello define el ahorro marginal del reproceso. La decisión en cada estado será la comparación del costo marginal en el estado actual comparado con el costo esperado aguas abajo de tal forma que en cada uno de los estados puede desechar, reprocesar o seguir adelante con la restricción de conseguir el número de elementos demandados.

Todas estas investigaciones que engloban estadística, probabilidad y optimización multi-periodo se siguen aplicando en los modelos actuales. Sin embargo, a veces, existe falta de productos en lugares tan diferentes como un pequeño comercio o una gran factoría. La literatura ha analizado estos errores justificándolos tanto desde el punto de vista técnico como de aplicación.

Desde el punto de vista técnico Candace Arai Yano y Hau L. LeeSource, (1995) escriben en su apartado cinco, página 329: “Los modelos existentes sobre tamaño del lote con rendimientos aleatorios son modelos exclusivamente de una sola etapa, y casi todos requieren restricciones relativas a la estacionalidad de las distribuciones de rendimiento, demandas y costos. Por consiguiente, parece poco probable que estos modelos sean capaces de captar aspectos críticos de los sistemas reales, además en la mayoría, el proceso de inspección no es considerado explícitamente y si existe, las

piezas defectuosas suelen ir solo a desecho y en el caso de reproceso consideran que es perfecto, finalmente la mayoría de las investigaciones se han centrado en líneas de productos únicos”.

Aunque fuera del objeto de esta tesis pero si reforzando la importancia en la gestión de inventarios Hummels, David. (2001) estima que cada día adicional empleado en el transporte, (léase retraso en entregas) reduce el probabilidad de que los EE.UU. sea el proveedor a otro país de un 1 a un 1,5 por ciento y cada día que las mercancías permanecen en los almacenes de envío está valorado en un 0,8 por ciento del valor de estos bienes (mala gestión de inventarios) . En concreto, el advenimiento de transporte rápido (aire-transporte marítimo con buques más veloces) es equivalente a la reducción de los aranceles sobre productos manufacturados del 32% al 9% entre 1950-1998.

Desde el punto de vista de la aplicación del conocimiento desarrollado hasta la fecha, Harvey M Wagner (2002) hace una reflexión sobre las posibles razones que a su juicio justifican estos deterioros, ya que no parece razonable que tras años de investigación, el desarrollo de importante software y llegando a disponer de la capacidad de computación para el tratamiento de la información, muchos organismos públicos y privados tengan problemas cuando un buen modelo de gestión y control tendría que eliminar estos problemas. La causa principal de esta deficiencia en el campo real sería la falta de desempeño para llevar estas teorías a la práctica, para finalmente sugerir la oportunidad de mejora con la implantación de los nuevos sistemas de tecnología de la información. El autor enfatiza sobre la calidad de los datos, pues la mayoría de las veces estos datos históricos son deficientes pues entre otros:

- La demanda no es constante, existiendo variaciones estacionales importantes.
- Un determinado producto puede estar en fase de lanzamiento, maduro u obsoleto, por lo que las bases históricas de fabricación o de comercialización estará determinada por esta circunstancia.
- En el lanzamiento de un producto no se fue capaz de cubrir la demanda, por lo que en los datos hay demanda oculta.

- Hay fallos en el suministro llegando a la rotura de inventario, esa demanda pendiente se resolverá en el siguiente periodo.

- Un producto propio o de la competencia es promocionado, un competidor introduce un nuevo producto, variaciones del clima, fallos de calidad, etc.

El argumento de la cuestión es que los datos históricos reflejan situaciones pasadas y no potenciales. Según este autor, la mejor solución para estos problemas es lo que él denomina “calibración”, la cual consiste en una simulación utilizando una muestra de datos históricos, calculando la calidad de servicio, variando las distintas variables sobre una hoja de cálculo podremos ver los efectos hasta llegar a los datos de servicio que nosotros demandemos. La mayoría del actual software de control de inventario no contempla la posibilidad de simulación, siendo esta una de las principales causas de los fallos en el suministro.

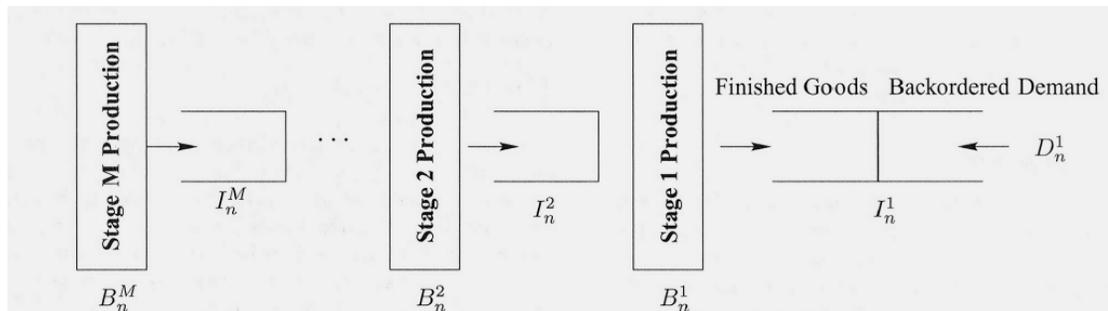
Con el tiempo los modelos se han ido especializando. Así, Daning Sun y Maurice Queyranne (2002) investigan el punto de pedido de un sistema de producción e inventario de varios talleres en serie, optimizando su costo total, comparando las técnicas del costo medio y el valor presente neto, ya que el costo medio no refleja el valor del dinero (material en tránsito o en stock) asociado al tiempo, llegando a la conclusión de que las decisiones tomadas basadas en el coste del valor presente neto no son significativamente diferentes comparadas con las tomadas con el coste medio para ser tenidas en cuenta en el caso de modelos de demanda determinista, Chao H. (1992) profundiza en esta línea de investigación aplicándolo a procesos estocásticos para un único producto, llegando a la conclusión de que la cantidad óptima de pedido tiene un mayor impacto sobre el valor presente neto que sobre valores medios, por lo que en el caso de multiproducto y multiestados en sistemas de producción bajo demanda estocástica su impacto tendría que ser mucho mayor, quedando este tema pendiente de estudio.

Siguiendo con los estudios de producción con talleres en serie, Ioannis Ch Paschalidis y Yong Liu (2003) hacen un estudio suponiendo M talleres en serie donde cada uno tiene un inventario previo mantenido por el taller anterior y un único producto en el que la demanda es cubierta mediante un inventario al final del proceso mientras que la

demanda no cubierta es considerada como “retrasos”, todo ello se desarrolla en un espacio de tiempo finito y determinado. (Figura 1.4)

La producción de cada taller está determinada por su capacidad y por la disponibilidad de inventario aguas arriba. Hace dos propuestas. La primera supone que cada taller sólo tiene información sobre su inventario local, haciendo un supuesto en la que la probabilidad de rotura de stock queda por debajo de un determinado nivel en cada uno de los talleres, en el segundo supuesto, cada taller tiene información sobre el inventario aguas abajo.

En este último, los autores minimizan el costo de inventario teniendo en cuenta un determinado nivel de servicio, es decir, relacionan el nivel de servicio y el nivel de inventario de la línea. Sin embargo, estos investigadores no han tenido en cuenta las posibles pérdidas de piezas por desechos en la cadena inventarios, ni los ciclos de reproceso.



B_n^i : capacidad del producción del taller i, en el tiempo n.

I_n^i : inventario en i, en el tiempo n.

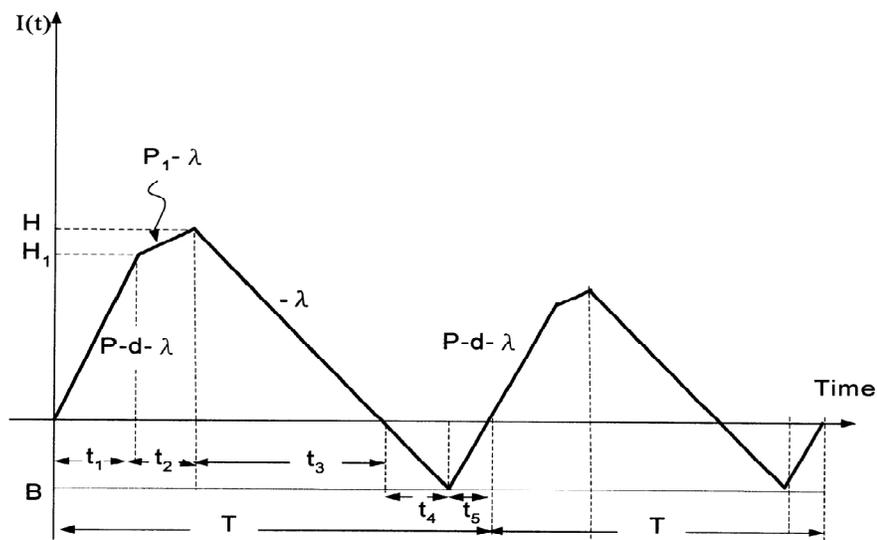
D_n^1 : demanda final en el tiempo n.

Figura 1.4. Talleres serie. Fuente: Large deviations-based asymptotics for inventory control in supply chains p. 439

Yuanshy Peter Chiuy (2003) introduce en el modelo porcentajes de desperdicio y reproceso aleatorios, con distribución de probabilidad conocida para obtener el lote óptimo de fabricación, EPQ (*Economic Production Quantity*) buscando similitudes con la cantidad económica de pedido EOQ, (*Economic Order Quantity*) desde el

punto de vista de optimización del costo, teniendo en cuenta que el ratio de producción tiene que ser igual o superior al ratio de demanda.

Cuando la producción regular acaba, el reproceso de piezas defectuosas empieza inmediatamente (figura 1.5). No todas las piezas rechazadas son reprocesadas, algunas de ellas son desechadas. El coste de reparación y la evacuación del desperdicio están incluidos en el modelo, relacionando la longitud del ciclo y el tamaño del lote a producir que minimiza el costo, (observar que el lote de piezas a reprocesar lo procesa después de haber procesado totalmente el lote primario y el desperdicio lo asume como unas pérdidas totales del proceso). Alireza HajiI, Rasoul Haji, y Sajadifar S.M., (2006) redondean el trabajo sobre este asunto, añadiendo una variable más al proceso, el tiempo de ajuste de máquina antes de pasar la instalación a modo reproceso.



P = unidades de producción por unidad de tiempo.

λ = ratio de demanda por unidad de tiempo

d = ratio de producción defectuosa durante la producción regular por unidad de tiempo

H_1 = Nivel máximo de inventario cuando el proceso de producción para.

H = Nivel máximo de inventario cuando el proceso de reproceso para.

B = nivel máximo de pedidos en retraso permitido.

Figura 1.5. Tamaño del lote. Fuente: Determining the optimal lot size for the finite production model with random defective rate, the rework process, and backlogging p. 430.

Se ha hablado de costes de una forma estática, cuando en realidad estos pueden variar por numerosos factores. Conscientes de la situación, Wedad Elmaghraby y Pinar Keskinocak (2003) hacen una descripción sobre la pérdida de millones de unidades monetarias anuales como consecuencia de los perjuicios sobre las ventas y costos de los excesos de inmovilizados como consecuencia de la deficiente gestión de los inventarios. Además, ya que el ciclo de vida de los productos es cada vez más corto, estas dificultades se incrementan cada día; y como consecuencia el precio real de los productos no es constante, sin embargo, existen prácticas para determinar el precio de una forma dinámica basándose en factores como la información de la demanda e inventario. En su discurso hace referencia a las técnicas utilizadas hasta la fecha, tiene en cuenta múltiples productos, inventarios iniciales, retrasos, múltiples almacenes, capacidad de reemplazo, comportamiento de clientes, sintetizando el conjunto en una división de entre tres tipos de inventarios. En primer lugar, “reposición vs no reposición de inventarios”, dependiendo de si la reposición es posible durante el horizonte temporal de previos previsible, es decir, si tiene acceso a unidades adicionales durante la temporada de ventas o no. En segundo lugar, “demanda dependiente vs independiente en el tiempo”, está determinada por si el producto es un bien duradero o si el conocimiento de los clientes sobre el producto juega un papel en su decisión de hacer la compra. Para un bien duradero, la vida útil del producto es más larga que el horizonte de tiempo durante el cual el minorista hace cambios en los precios. Y por último, “miope vs clientes estratégicos”. Un cliente es miope cuando hace una compra inmediata, si el precio está por debajo de su valoración, sin tener en cuenta la evolución de los precios futuros, por el contrario, un cliente estratégico o racional tiene en cuenta la trayectoria futura de los precios a la hora de tomar la decisión de compra.

Además se debe tener en cuenta que puede haber distintos canales de distribución con distintos patrones de comportamientos simultáneamente. Aunque no tienen en cuenta pérdidas por desecho y reproceso en la cadena de valor, sí analiza el concepto de costo variable del inventario.

Stephen Franks (2004) empieza haciendo una consideración sobre el nivel de inventario en toda la cadena de suministro, contemplando la posibilidad de mantener inventarios

de seguridad en curso en las factorías esperando las órdenes de compra de los clientes finales antes de añadir más valor al producto, reduciendo por lo tanto el valor del inmovilizado. Su principal aportación es analizar el valor de la capacidad de reemplazo de todos los inventarios de la cadena de suministro, siendo esta capacidad determinante en la calidad de servicio y valor económico de los inventarios. El tiempo de reemplazo lo define como la suma de los tiempos de gestionar las órdenes de producción más el tiempo de proceso de producción (la suma de estos dos términos sería *Supply Lead Time*) más el tiempo de transporte. Asimismo, propone medir la fiabilidad: medida de las cosas que deberían haberse hecho y no fueron hechas, eficacia: medidas de los resultados de las cosas que no deberían haberse hecho pero se hicieron y eficiencia: medida de la suma de los costes de cada eslabón de la cadena de suministro. Aunque no incluye las pérdidas en el número de piezas a través de los inventarios por cualquier clase de desperdicio, o los posibles retrasos en los tiempos de proceso por temas de reproceso, es interesante su propuesta de medir o la utilización de indicadores.

La mayoría de los autores han relacionado los inventarios con costos financieros, puesto que variaciones en un término tienen una correlación en el otro. Buzacott y Zhang (2004) hace un análisis de los problemas de financiación de las empresas de nueva creación o con rápido crecimiento, relacionando el incremento de inventarios y su valoración e indagando una estimación entre las necesidades de financiación de capital y el flujo de materiales a través del proceso de producción. Introduce dos modelos, uno determinista y otro estocástico, en este trabajo el concepto de costo de inventarios se estudia en profundidad llegando a la conclusión de que un aumento significativo en las ventas en una empresa con fuerte apalancamiento podría acarrear importantes problemas financieros.

J. Mula, R. Poler, J.P. García-Sabater, F.C. Lario (2006) realiza una recopilación de 87 citas desde 1983 hasta 2004 clasificándolos por tipos de incertidumbre y por modelos de planificación.

A modo de ejemplo, citamos algunas referencias de estudios recientes sobre planificación estocástica, cuya reseña completa esta al final de este trabajo.

Lucas C.; MirHassani S.A.; Mitra G.; Poojari C.A. (2001); Shabbir Ahmed, Alan J. King and Gyana Parija (2003); A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, A. Garín, M.T. Ortuño and G. Pérez. (2003); Guglielmo Lulli and Suvrajeet Sen. (2004); Alonso-Ayuso A., Escudero L.F., Garin A., Ortuno M.T., Perez G. (2005); Alonso-Ayuso A., Escudero L.F. and, Ortuno M.T. (2005); S. A. Oke, M. K. O. Ayomoh, & I. O. Oyedokun. (2007); Lodree, E., Uzochukwu, B.. (2008); Hicks, C., & Pongcharoen, P.. (2009); Singh, K., Philpott, A., & Wood, R.. (2009); Van Nyen, P., Bertrand, J., & Van Ooijen, H.. (2009); Sajadieh, M., Jokar, M., & Modarres, M.. (2009); Shin, D., Park, J., Kim, N., & Wysk, R.. (2009); Li, C., Liu, F., Cao, H., & Wang, Q.. (2009); Chen, C., & Monahan, G.. (2010); Sun, G., Lee, L., Chew, E., & Shao, J.. (2010); Zanjani, M., Nourelfath, M., & Ait-Kadi, D.. (2010); Denizel, M., Ferguson, M., & Souza, G.. (2010); Taaffe, K., Geunes, J., & Romeijn, H.. (2010); Aghezzaf, E., Sitompul, C., & Najid, N.. (2010); Huang, K., & Ahmed, S.. (2010); Huh, W., Kachani, S., & Sadighian, A.. (2010); Chiu, S.. (2010); Haji, A., Sikari, S., & Shamsi, R.. (2010); Nourelfath, M.. (2011); Akçali, E., & Çetinkaya, S.. (2011); Zhang, X., Prajapati, M., & Peden, E.. (2011); Kakoty, J.. (2011); Wu, C.. (2011).

En estos excelentes trabajos se observa que ningún modelo puede ser aplicado directamente a nuestros objetivos.

El tema es tan amplio y profundo que muchos autores siguen buscando similitudes con otras ciencias extendiendo el perímetro del conocimiento especialmente en la física.

Así, Dieter Armbruster; Daniel E Marthaler; Christian Ringhofer; Karl Kempf; Tae-C... (2006) trasladan el concepto de teoría de colas al de fluidos, aplicándolo a un sistema de producción continuo en etapas y basándose en la ley de conservación. Presentan el flujo como función del tiempo de tal forma que el flujo de salida de un proceso puede ser el flujo de entrada de otros, los inventarios intermedios son considerados igualmente como flujos de densidad variable dependiendo de la etapa considerada. La salida del sistema es controlada ajustando la entrada en función de la demanda. Los autores

trasladan indiscutiblemente el concepto de unidad de la cadena de suministro mediante ecuaciones matemáticas que habitualmente se emplearían en un problema físico.

SB Yu* and J Efstathiou (2006) realiza una comparación de los distintos planteamientos de las células de reproceso, teniendo en cuenta un ratio de reproceso modela los distintos sistemas, obteniendo como resultado una clasificación en función de la complejidad, el costo y calidad, (observar en la figura 1.6 que la célula con doble inspección “d” tiene una mayor complejidad de ruta, un mayor costo pero un mayor calidad). Por el contrario en el modelo “b” la complejidad de ruta y el costo sería bajo pero el aseguramiento de la calidad sería inferior comparado con el resto de los planteamientos.

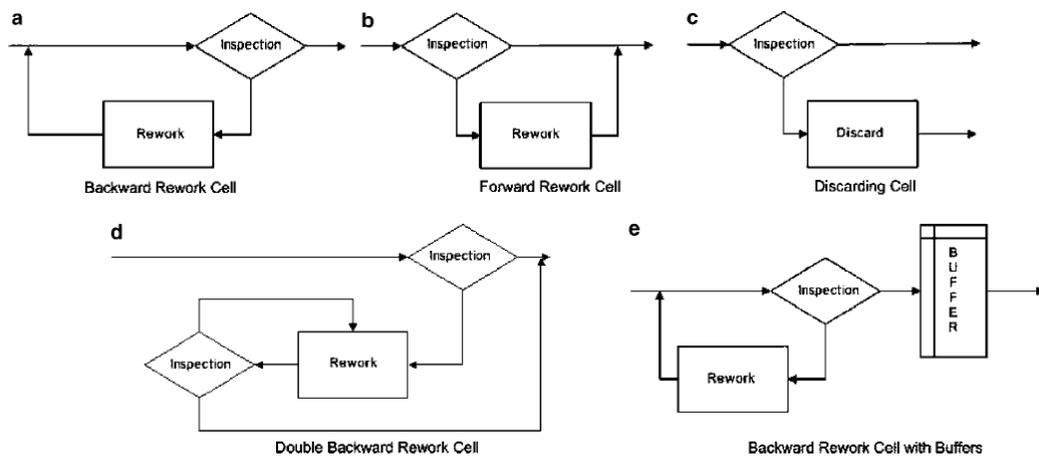
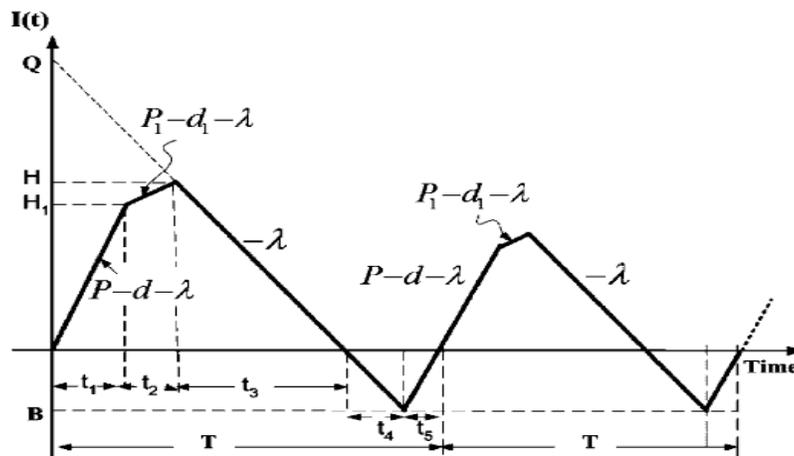


Figura: 1.6 Células de inspección Fuente: Complexity in rework cells Página: 595

La gestión de la calidad dentro del ámbito de la tarea sigue desarrollándose, ya que autores como I. Konstantaras, S.K. Goyalz y S. Papachristos (2007) consideran un sistema de producción e inventario donde las piezas del lote no tienen todos los mismos niveles de calidad, se asume que cada lote tiene una proporción de piezas defectuosas por lo que cada lote es inspeccionado por el comprador al 100% para su identificación. Las piezas disgregadas con defectos son acumuladas hasta tener un lote de un tamaño determinado para ser reprocesadas u obtener otro lote para ser enviadas a un segundo

mercado a un precio inferior. Los autores buscan el tamaño óptimo de lote para optimizar el beneficio teniendo en cuenta el número de órdenes de reproceso sin desperdicio. Singa Wang Chiu (2007) (figura 1.7) continúa con el trabajo de Yuanshy Peter Chiu añadiendo un desecho de reproceso que denominaremos d_1 haciendo un estudio de tamaño del lote óptimo, desde el punto de vista de optimización del costo, suponiendo un proceso con porcentajes desperdicio y reproceso aleatorios. El reproceso lo realiza cuando la producción regular ha sido terminada, donde también asume una tasa de reproceso, incluyendo los costos de reparación y de mantenimiento de inventario, la variación del tiempo de producción y el costo de las retrasos en las entregas a los clientes. Se diferencia claramente de nuestros planteamientos puesto que el lote de piezas a reprocesar lo procesa después de haber procesado totalmente el lote primario y el desperdicio los asume como unas pérdidas totales del proceso, sin tener en cuenta los cambios de inventarios producidos en la cadena de producción.

Babak Haji, Alireza Haji, y Rasoul Haji (2009) siguen trabajando sobre la cantidad de lote económico de una máquina o proceso que produce una serie de piezas defectuosas en cada ciclo elemental, hasta realizar un número de ciclos elementales N , a partir del cual realiza un ciclo de reproceso $(N+1)$. En el modelo considera el costo de ajuste (figura 1.8), de la producción regular y de reproceso y el costo de los inventarios de espera.



P = unidades de producción por unidad de tiempo.

λ = ratio de demanda por unidad de tiempo

d = ratio de producción defectuosa durante la producción regular por unidad de tiempo

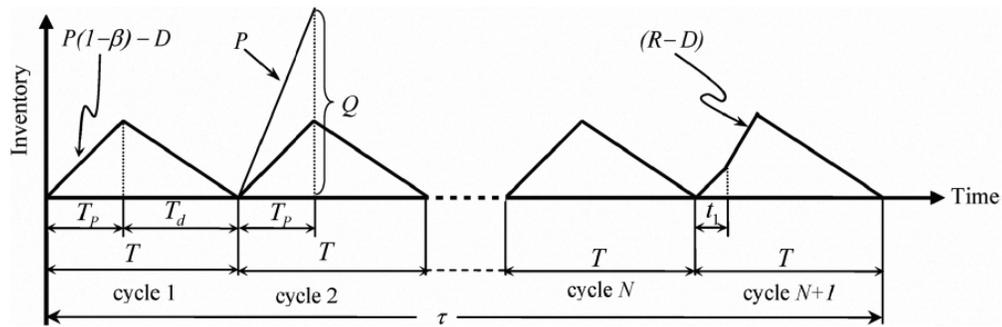
H_1 = nivel máximo de inventario cuando el proceso de producción para.

H = nivel máximo de inventario cuando el proceso de reproceso para.

B = nivel máximo de pedidos en retraso permitido.

d_1 = desecho de reproceso

Figura: 1.7. Lote con reproceso. Fuente: Optimal replenishment policy for imperfect quality EMQ model with rework and backlogging página 168



P Unidades de producción por unidad de tiempo

Q Cantidad total producida en un ciclo T de los primeros N ciclos

R Piezas de reproceso por unidad de tiempo

D Demanda por unidad de tiempo

β Proporción de piezas defectuosas por unidad de tiempo

t_1 tiempo del ciclo de reproceso en el que no hay reproceso

T Longitud de un ciclo elemental.

τ Longitud del ciclo.

Figura: 1.8 Lote con reproceso, coste de arranque y de inventarios. Fuente: Optimal Batch Production
Página 635

Hubert Missbauer (2009) estudia principalmente desde el punto de vista de la planificación, el vínculo entre el control de la carga de trabajo en proceso de los diferentes talleres y el flujo temporal de los materiales. Para ello controla el inventario en los centros de trabajo y la prioridad de los pedidos. Este autor tampoco tiene en cuenta las pérdidas en el flujo por desperdicio.

Un problema añadido en la planificación es la falta de datos reales sobre los que fundamentar nuestras decisiones, existen un gran número de autores que emplean la simulación en la planificación de la producción mediante el método de Monte Carlo (*Production planning and Monte Carlo simulation*) entre otros Ettore Settanni, Jan Emblemsvåg. (2010). Ruth Banomyong, Apichat Sopadang. (2010). Fagerholt, K., Christiansen, M., Hvattum, L., Johnsen, T., Vabø, T.. (2010). Ettore Settanni, Jan Emblemsvåg. (2010). Chan, W., Malmborg, C.. (2010). Faizul Huq, Thomas F. Stafford, M. Khurram S. Bhutta, & Saurajit Kanungo. (2010). Irfan, M.(2011).

El trabajo que más se parece al desarrollado bajo estas líneas sería el desarrollado por, Masoumeh Kazemi Zanjani, Daoud Ait-Kadi, Mustapha Nourelfath, (2010) que hacen un estudio de planificación de un aserradero, donde el rendimiento es variable debido a la falta de homogeneidad de las materias primas, para realizar la planificación emplea un proceso de optimización. Sin embargo, reconoce que este modelo es muy difícil de aplicar en la práctica debido a la dificultad de registrar los resultados de la unidad de corte para tener una base de datos utilizable, por lo que emplea un generador de rendimientos de escenarios mediante simulación de Monte Carlo.

1.4.1.- PLANEACIÓN AGREGADA Y PROGRAMACIÓN

La programación debe distinguirse de la planeación agregada³. La planeación busca determinar los recursos necesarios mientras que la programación⁴ asigna los recursos disponibles a través de la planeación agregada para cumplir con los objetivos de operaciones.

La planeación agregada es el nexo de unión entre las decisiones sobre las instalaciones y la programación. La planeación agregada organiza niveles de producción generales a mediano plazo, es por ello que se hace necesario que en la empresa se implemente dichos procesos, tomando decisiones y políticas que se relacionen jornadas de trabajo, nuevas contrataciones, rescisiones de mano de obra o subcontrataciones y niveles de inventario.

En la programación se busca lograr distintos objetivos que entran en conflicto: un alto nivel de eficiencia, bajos inventarios y buen servicio al cliente.

Hoy en día en la mayoría de las empresas la planificación de la producción se hace mediante sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) donde se integran procesos asociados a las operaciones de producción y distribución, manejan la producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad de la compañía y en versiones más completas incluso sistemas de administración de recursos humanos, herramientas de mercadotecnia y administración estratégica.

El ERP tuvo su origen en la planificación de los recursos de manufactura MRP (*Manufacturing Resource Planning*) Roger G. Schroeder (1992) Domínguez J.A. (2005), Derek Waller (2002), que según el grado de desarrollo o control la literatura los divide en tres MRP tipo uno, dos y tres.

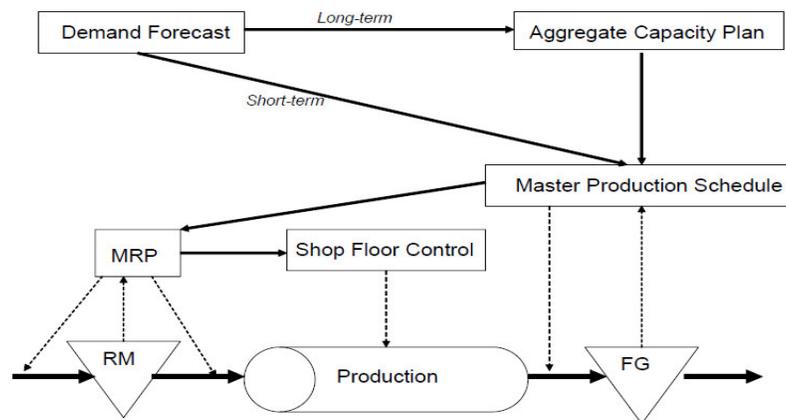


Figura 1.9 Planificación de la producción, clásico. Fuente: Stephen C. Graves (2008)

RM: Inventario materias primas

FG: Inventario piezas terminadas

³La Planificación Agregada: Se expresa para líneas o familias de productos, abarca de 6 a 18 meses y se expresa en intervalos de semanas o meses, requiriéndose de la determinación de capacidad agregada. La cual fija la porción de la producción que será consumida, es decir, traduce los planes de producción en términos de insumos.

⁴Planificación Desagregada o Sistema Maestro de Producción (MPS): Posee como propósito satisfacer las demandas de cada uno de los productos dentro de sus líneas. Este nivel de planeación más detallado desagrega las líneas de productos en cada uno de los productos e indica cuando deben ser producidos y vendidos. Requiere de la planeación aproximada de la capacidad. Con vista a determinar su factibilidad, realizándose con más detalle en los cuellos de botella.

En MRP, tipo uno, su objetivo es que se tengan los materiales requeridos, en el momento adecuado para cumplir con las órdenes de los clientes, generando una lista de órdenes de compra, es decir principalmente programa las adquisiciones a proveedores en función de la producción programada; es decir, gestiona inventarios. El dos controlaría producción y capacidades y en el tres estarían todos los recursos del sistema incluidos recursos humanos y de capital.

Con este sistema conviven filosofías como el JIT (*just in time*) iniciado por Taiichi Ohno vicepresidente de Toyota, donde su lema sería (Hall 1981), Sanchez J, (2007) “producir los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan, en el momento en que se necesitan”.

En la misma dirección otra aplicación que fue ampliamente desarrollada fue OPT (*Optimized Production Technology*) G. Bylinsky (1983), Boaz Ronen and Martin K. Starr (1990), cuyo desarrollo fue liderado por Goldratt Eliyahu M. Esta herramienta fue considerada el primer software completo de planificación de la producción. Existe un estudio realizado por Kevin J. Watson y otros (2007), que indica que los sistemas de TOC producen mayores niveles de producción, reducción de inventario, menor desviación de tiempo de ciclo y tiempo de fabricación que la norma. Sin embargo, actualmente esta aplicación solo es utilizada por menos del 5% de la industria manufacturera.

Sin embargo, Graves (2008), todos estos sistemas están enfocados a entornos de certidumbre, por lo cual su aplicación en algunos sistemas no cumplirá con las expectativas esperadas.

1.4.2.-CONCLUSIONES

Muchos autores han realizado estudios sobre planificación estocástica, aunque ninguno sobre el tema referido en esta tesis, pero se debe de tener en cuenta estos tres siguientes e importantes trabajos para facilitar la aplicación:

Huang, Kai (2005) en su trabajo: “Multi-stage stochastic programming models in production planning”. Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, United

States -- Georgia. Retrieved March 26, 2011, Capítulo IV, página 52, realiza varios tests de la calidad de la solución comparando el valor de una programación multi-etapa estocástica y soluciones heurísticas⁵ referidos a un incremento del número de etapas en el árbol de escenarios y la variabilidad de los datos sobre una planta de semiconductores. Los resultados demuestran que la validez de las soluciones con programación estocástica aumenta con la variabilidad de los datos, mientras que la calidad de la solución heurística aumenta con un número creciente de etapas. Resumiendo: pocas etapas y gran variabilidad mejor solución con programación estocástica, mientras que para un incremento en el número de etapas es más eficaz soluciones de tipo heurístico.

Laureano F. Escudero, Juan Francisco Monge, (2008) en su trabajo “Planificación de la producción bajo incertidumbre”, (Optimización Bajo Incertidumbre, Biblioteca Comillas, Capítulo 13, Páginas 287-295), expresan en sus conclusiones lo siguiente: “Se ha presentado un modelo de planificación de la producción bajo incertidumbre en la demanda, la disponibilidad de recursos y el costo de producción (...) se presentan las razones por las cuales los resultados computacionales tienen un tiempo de ejecución no permisible en el modelo desagregado por familias (...) el modelo agregado no obstante, tiene dimensiones muy grandes (aunque menores que el modelo desagregado) que hacen que sea ineficaz la utilización llana de sistema de optimización”.

Stephen C. Graves (diciembre 2008), *Uncertainty and Production Planning* página 10: “La programación estocástica tiene significativas limitaciones. En muchos contextos es computacionalmente prohibitivo, especialmente donde hay varios periodos en el horizonte de planificación y frecuentes re-planificaciones”. Observar que en otras ramas de la ciencia como la meteorología, la macroeconomía, la sismología,... es común la falta de exactitud en las previsiones a partir de un horizonte temporal determinado.

⁵ Heurística: es la capacidad de un sistema para realizar de forma inmediata innovaciones positivas para sus fines. La capacidad heurística es un rasgo característico de los humanos, desde cuyo punto de vista puede describirse como el arte y la ciencia del descubrimiento y de la invención o de resolver problemas mediante la creatividad y el pensamiento lateral o pensamiento divergente.

Con estos conceptos previos, el trabajo se realizará buscando soluciones de programación estocástica para el corto plazo y diseñando herramientas que nos ayuden en las decisiones heurísticas en el largo plazo, que, por otra parte, como se ha visto, sería el que incurriría en una mayor demanda de recursos computacionales, ya que cada etapa incrementa exponencialmente las necesidades de cálculo.

1.5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

La tesis se desarrolla bajo cuatro pilares entrelazados: la optimización estocástica, los modelos matemáticos, el desarrollo de casos y la definición de indicadores.

1.5. 1.- MODELOS

Un modelo nos permite simular, Robert E. Shannon (1988): es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema. Otra definición sería: García Dunna (2006) Simulación de eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado.

Los modelos son aproximaciones de la realidad, por lo que en sistemas complejos tendrán que seleccionarse los elementos a ser incluidos, teniendo en cuenta factores como capacidad o rapidez de cálculo. Albert Einstein dijo “un modelo debe ser tan simple como sea posible pero no tiene por qué ser sencillo”.

Un modelo debe incluir:

- .- Variables de entrada: que en este caso son variables con incertidumbre.
- .- Cálculos
- .- Variables de salida: éstas dependerán de las variables de entrada.

Stephen G. Powell y Kenneth R. Baker (2010) describen los siguientes beneficios de la modelización:

- Los modelos permiten hacer ensayos con costes mínimos.

- Modelar permite explorar alternativas “imposibles” o “inalcanzables”, ayudando a tantear diferentes aproximaciones, simulando ideas que sería demasiado arriesgado testear en el mundo real.
- Mejora el conocimiento, es un laboratorio en el que se experimenta con resultados, al ejecutar miles de combinaciones que en el mundo real se tardaría excesivos años mejorando el aprendizaje.
- Proporciona información de manera oportuna. Por ejemplo, mientras que una encuesta podría ser utilizada para determinar la demanda potencial de un producto, un modelo puede dar los límites útiles en el rango probable de la demanda en mucho menos tiempo.
- Por último, el modelado puede reducir los costes. La recolección de datos es a menudo costosa y consume tiempo. Un modelo efectivo puede ser capaz de proporcionar el mismo nivel de información pero con importe muy inferior.

Estos mismos autores dicen observar las siguientes ventajas en la modelización sobre hojas de cálculo:

Las hojas de cálculo son la principal herramienta de trabajo en la mayoría de las empresas, especialmente en el ámbito de la simulación. Estos modelos son también modelos matemáticos, y para la gran mayoría de la gente es la forma más accesible de trabajar con álgebra o cálculo. Aunque, lógicamente, cuentan con ciertas limitaciones, permiten construir modelos con detalle y complejidad de una forma más fácil que las matemáticas tradicionales. Además, actualmente, es la forma más habitual de comunicar estados contables y otros resultados empresariales.

En otras palabras, es una herramienta de software potente, flexible y sofisticada y fácilmente disponible. La mayoría de los analistas de negocios no disponen de tiempo, dinero y conocimientos para aprender y usar una herramienta de software diferente para cada problema que surja. Antes de 1980, el modelado se realizaba sólo por especialistas, mediante software y hardware específico y caro.

Según encuestas realizadas por los autores, el 77% de los antiguos estudiantes de las escuelas de negocios dicen que las hojas de cálculo son muy importantes o críticas en el desarrollo de su trabajo, indicando la extensión y conocimiento de esta herramienta.

Para facilitar la tarea sobre el trabajo con hojas de cálculo, Edwards, J., P. Finlay, and J. Wilson (2000) proporcionan un conjunto de veinte directrices para realizarlas, así como veintiuna mejores prácticas de verificación, reconociendo que según el grado de desempeño del operador, en algunas ocasiones es mejor acudir a un especialista. A continuación se describen algunas de las mejores prácticas nombradas en el documento:

La “mejor práctica”, según Finlay y Wilson, es mantener todos los principales componentes de cada área de responsabilidad de la organización en conjunto, y hacer que cada uno de ellos tenga un módulo diferente en la hoja de cálculo.

En segundo lugar, dentro de cada módulo deben ser separadas las variables del modelo de los datos del modelo. Otra mejor práctica se basa en el hecho de que se comprobó que sólo en el 23% de las hojas de cálculo había supuestos documentados, por lo que se recomienda incorporar información acerca de los supuestos principales, así como establecer en ella el correspondiente rango de aplicación.

Entre otras, se destaca la importancia de añadir notas a los datos para indicar la fuente, de relacionar los valores con gráficos, o de marcar los valores de datos dudosos para revisarlos posteriormente.

La definición de investigación de operaciones por la “Operational Research Society of Britain” sería: “la aplicación de los métodos científicos para resolver problemas en el área de la dirección de los sistemas que está relacionado con hombres, máquinas, materiales y recursos económicos en el campo de los negocios, los gobiernos y la defensa”.

Hall, Randolph W. (1985) apunta que la verdadera clave en el desarrollo de esta ciencia no es únicamente la posesión de los conocimientos, sino el logro del conocimiento sistematizado. Por lo tanto, cuenta con un objetivo similar al de las ciencias naturales, intentando conseguir la sistematización de generación de conocimientos sobre el mundo real. Para conseguir esa sistematización se debe: modelar, evaluar, decidir y poseer las

mismas cualidades que los modelos de las ciencias naturales, debiendo ser comprensible, verificable y reproducible. Teniendo que captar la esencia del problema incluyendo los más importantes parámetros como variables de decisión y objetivos que ilustren con precisión sus relaciones.

Schrage, M. (2000) relaciona la simulación con la innovación: la mayoría de las innovaciones producidas en este siglo es el resultado de la simulación, consideremos las ramas de la aeronáutica, la biotecnología, el diseño de microprocesadores, los productos financieros... Microsoft no habría alcanzado la cuota de mercado que tiene sin su estrategia de las versiones beta. Sin ir más lejos, la habilidad de Merrill Lynch para modelar valores sintéticos en una simulación de los mercados de venta, hacen que sea mucho más fácil vender sus novedosos instrumentos financieros a la lista Fortune.

Cada vez es más fácil y barato investigar sobre nuevas ideas, una nueva visión de la innovación está transformando los negocios, la modelización y posterior innovación. Cuando se transforma radicalmente el coste y la calidad de la materia prima de la innovación, nos convertimos en algo más. Se piensa dos veces, se recalibran las intuiciones y además, lo más importante, se define el riesgo y se crea valor de forma diferente.

La más importante fuente de innovación ha sido siempre la relación entre el individuo y la expresión de sus ideas. Así, la modelización nos permite multiplicar este concepto.

En muchas ocasiones, los pensamientos, deducciones y directrices que una persona o grupo de ellas quieren transmitir, están dificultados por las diferentes estructuras mentales y culturales. Los prototipos o modelos son capaces de transmitir estas directrices al resto de la organización, facilitando el aprendizaje y creando un cambio en la cultura mediante la utilización de una herramienta potente y objetiva ya que permite la experimentación de diferentes escenarios acercándonos de una forma recursiva a la realidad.

Estos modelos de innovación no son herramientas sólo para el pensamiento individual, sino que cuentan con medios y mecanismos sociales inherentes. Estimulan todos los sentidos sociales (asuntos de poder, perspectiva, responsabilidad y control) de forma que la empresa no puede evitar fácilmente.

El papel de la evaluación es obtener información del modelo. A veces, incluso los modelos simples pueden ser difíciles de entender. Modelos con muchas ecuaciones, parámetros y variables de decisión son aún más difíciles. La evaluación general implica dos actividades simultáneas: la identificación de alternativas y el cálculo de objetivos. La técnica más conocida para la identificación de alternativas es la optimización. En la optimización de algoritmos mediante programación se identifican muchas soluciones viables hasta lograr la óptima.

El propósito detrás del modelo es entender fenómenos observables. Los modelos más efectivos reúnen los aspectos más importantes del problema y son presentados de una forma fácil de interpretar. El objetivo último es tomar las mejores decisiones. El paso final (proceso de decisión) es el más crucial. La clave para no fallar en él, es el conocimiento y el juicio los cuales se obtienen, en la mayoría de los casos, gracias a la experiencia.

Hastie, R. and R.M. Dawes (2001) profundizan sobre la calidad de las decisiones. Tradicionalmente, una decisión es buena si sigue las leyes de la lógica y las teorías de la probabilidad. Sin embargo, hoy se incluyen muchas más variables, como la posibilidad de la falta de datos, condiciones cambiantes, capacidad de cálculo, incertidumbre, la valoración de las pérdidas o ganancias en función de la elección. Hay demasiados aspectos de tipo intelectual a tener en cuenta, demasiadas alternativas que hace que tomar una decisión sea difícil.

Simultáneamente hay factores de tipo emocional que influyen en la valoración de las posibles consecuencias y las posibles afectaciones a los distintos actores, incluidos el propio decisor, donde además muchas veces existe la presión de tener que decidir en un corto periodo de tiempo.

J. Edward Russo and Paul J.H. Schoemaker (2002) siguen estudiando la relación entre la modelización y la toma de decisiones. Uno de los objetivos de la modelización de sistemas es ayudar al ser humano a tomar buenas decisiones. Frecuentemente, se toman buenas decisiones que tienen como consecuencia malos resultados, ya que el azar o imprevistos son factores difícilmente aplicables a nuestras deducciones. Sin embargo, usando un modelo matemático estructurado, las posibilidades de error disminuirán.

Un ejemplo de aplicación es el relatado por Cliff T. Ragsdale (2010) : la planificación de la regulación horaria de una gran aerolínea, donde hay que planificar cientos de tripulaciones, aeronaves y destinos, da lugar a un problema de gran complejidad en cuanto a la optimización de combinaciones posibles. Las compañías desarrollaron un programa que optimiza estos recursos, ahorrando cientos de miles de unidades monetarias cada año a nivel mundial.

El autor también define y enumera los principales componentes de la optimización.

Los problemas de optimización se representan mediante modelos matemáticos y además de los datos de entrada se utilizan los siguientes tipos de variables:

Variables de decisión: Estas son las salidas del sistema del modelo, en este caso el número de piezas a fábrica en el taller. Podríamos definir las como x_1, x_2, \dots, x_n , o cualquier otro nombre como piezas tipo 1, piezas tipo 2, . . . piezas tipo “n”.

Restricciones: las tres formas fundamentales de definir las restricciones son:

Menor o igual $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$

Mayor o igual $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b$

Igual $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b$

A continuación se enumeran los pasos en la definición de un modelo:

- Entender el problema: aunque parezca obvio, la gran mayoría de las personas implicadas en un problema pasan directamente a intentar definir matemáticamente el problema, sin haber invertido suficiente tiempo en entenderlo en profundidad dando lugar a errores que posteriormente es costoso reparar.
- Identificar las variables de decisión, es decir, aquellas que son la causa raíz de la solución del problema, no dejarse engañar por variables intermedias que no nos llevarían a ningún sitio.
- Definir la función objetivo como una combinación de las variables de decisión. Ésta expresa de una forma matemática las relaciones entre variables de decisión y el modelo que ha de ser maximizado o minimizado.

- Definir las restricciones como una relación de las variables de decisión.
- Identificar los valores límites superiores e inferiores que han de ser aplicadas a las variables.

En la mayoría de los problemas deberán definirse restricciones a las variables de no negatividad. Por ejemplo, es imposible producir piezas negativas.

1.5. 2.- CASOS

Pese a que el desarrollo de la tesis está basado en desarrollos matemáticos, con metodologías y herramientas suficientemente contrastadas, la exposición es acompañada de casos, pues permite contrastar las ideas ya existentes a través de un proceso de inducción, permitiendo mejorar la comprensión de los datos y procesos, los cuales generan acciones o eventos.

Hay varios autores que definen el estudio de casos como un método de investigación. Así, Yin R. (1984), lo define como una investigación dentro del contexto de la vida real, donde se utilizan varias fuentes de datos.

El autor los divide en tres tipos: exploratorios, descriptivos y explicativos. En el primer caso (exploratorio), se observan los datos para contrastar si hay fenómenos de interés y existe un esfuerzo inicial, tal como es el trabajo de campo previo y la colección de datos a pequeña escala, que ayudan a preparar el campo de estudio, y pueden hacerse antes de proponer las preguntas de investigación y las hipótesis.

En el caso de los descriptivos, el investigador debe empezar con una teoría descriptiva para apoyar la descripción del fenómeno o historia. En caso contrario, existe la posibilidad de que la descripción pierda rigor y el proceso del proyecto puede ser problemático.

En tercer lugar, los explicativos, (casos cuyo objetivo es examinar los casos en profundidad para explicar los fenómenos), se utilizan para estudios causales donde los patrones son utilizados para investigar ciertos fenómenos en casos muy complejos y multi-variantes.

Yin y Moore (1987) citaron que los casos explicativos pueden ser entendidos según tres teorías rivales:

En primer lugar, una teoría basada en el conocimiento estipula que los productos eventualmente comerciales son resultados de ideas y descubrimientos de la investigación básica. La teoría de resolución de problemas se traduce en conclusiones similares. De todas formas, en esta teoría, los productos se derivan de fuentes externas más que de la investigación. Por último, la teoría de interacción social, por otra parte, sugiere que la superposición de red profesional causa que los investigadores y usuarios se comuniquen unos con otros frecuentemente.

Eisenhardt; Katheleen M (1989) hace una referencia histórica de los principales autores que han tratado sobre el método del caso definiéndolo como método de investigación y contraste de ideas a través de un proceso de inducción.

El texto indica los pasos técnicos para la creación del estudio del caso, nombrando como tales: la selección del caso más adecuado, la elaboración de protocolos e instrumentos mediante la colección de datos, el análisis de estos, la formación de hipótesis a través de la búsqueda de la evidencia del “por qué” tras las relaciones observadas, el estudio de la literatura referente y la conclusión final, destacando a los autores:

Glaser y Strauss (1967), expresa que la teoría de la generación no requiere gran cantidad de casos. Un caso podría ser utilizado para generar categorías conceptuales y unos pocos casos más utilizada para confirmar la indicación.

Yin ^{xx} (1981, 1984, 1994, 1999, 2003a, 2003b, 2005), como el principal estudioso del tema, ha reconocido el valor de la perspectiva interpretativa. Además, detalla un método comparativo para desarrollar la teoría fundamentada, describe el diseño de la investigación del método del caso, y codifica una serie de procedimientos para analizar los datos cualitativos respectivamente. De todas formas, la confusión rodea las distinciones entre los datos cualitativos, la lógica inductiva y la investigación del método del caso.

En su artículo Voss, C., Tskriktsis, N y Frohlich, M (2002) destaca la facilidad de generar teorías mediante la inferencia inductiva pasando de lo específico a lo generalista.

El artículo destaca el hecho de que el método del caso no sólo enriquece la teoría, sino que también a los investigadores que lo efectúan, ya que, Voss insiste en que a través de la exposición a problemas reales y las ideas creativas el investigador se beneficia directamente del proceso.

Destaca la importancia de la teoría, en ocasiones infravalorada, para abordar el estudio de casos. Así, sin teoría es imposible darle sentido a datos generados empíricamente, además de que se hace difícil distinguir entre datos “positivos” y datos “negativos”, y la investigación empírica revierte en una filtración de información siendo especialmente importante la utilidad Handfield y Melnyk, (1998) “ La teoría debe de ponerse en práctica”.

Dentro del proceso de selección de casos, deberá tenerse en cuenta qué tipo va a utilizarse. Los retrospectivos permiten identificar las causas que llevan al éxito o al fracaso, por lo que permiten una selección mucho más controlada.

Sin embargo, la investigación de casos longitudinales tiene la particularidad de que es relativamente fácil encontrar la relación entre causa y efecto. Es destacable el hecho de que cuanto más largo sea el periodo del fenómeno estudiado, mejor la oportunidad de observar de primera mano la relación secuencial del proceso.

Voss (2002) insiste también en que la validez y veracidad de un caso dependerá de un protocolo de investigación bien diseñado mediante una cuidada elección de instrumentos.

Deberemos tener en cuenta tanto la fiabilidad como la validez, sabiendo que ambas tienen un determinado número de dimensiones:

Con la validez interna puede establecerse una relación de causa por la cual ciertas condiciones son mostradas para alcanzar otras condiciones, como falsas relaciones (Yin, 1984). Además, la validez externa se conoce cuando un estudio de determinación puede ser generalizado más allá del método del caso inmediato.

Por otra parte, la fiabilidad se dará cuando los estudios de las operaciones pueden ser repetidas y dar el mismo resultado, siendo el cociente entre el número de acuerdos dividido para el número total de acuerdos sumado al de desacuerdos.

Zaidah Zainal, (2007) afirma que gracias a los estudios de casos los investigadores son capaces de ir más allá de lo cuantitativo y conocer las condiciones de comportamiento desde una perspectiva más real y cotidiana. Los investigadores pueden adoptar un caso o varios de ellos en función del asunto a tratar y de la repetitividad de las condiciones.

Así como el análisis cuantitativo observa patrones en datos en el nivel macro, los estudios de casos observan los datos a nivel micro, diferencia fundamental entre ambos.

Existen varias ventajas al utilizar el método de casos. En primer lugar, el examen de los datos es frecuentemente conducido dentro del contexto de su uso (Yin, 1984). Esto es, dentro de la situación donde la actividad se desarrolla.

En segundo lugar, las variaciones en términos de enfoques intrínsecos, instrumentales y colectivos a los estudios de caso permiten tanto cuantitativos como cualitativos de los datos.

En tercer y último lugar, las cuentas detalladas cualitativas producidas a menudo en estudios de casos no sólo ayudan a explorar o describir los datos en la vida real, sino que también ayudan a explicar las complejidades de las situaciones reales que no pueden ser capturadas a través de la investigación experimental o una encuesta.

A pesar de estas ventajas, los estudios de casos también han recibido críticas. Yin (1984) analiza tres tipos de argumentos en contra de la investigación del método. En primer lugar los estudios de casos son a menudo acusados de falta de rigor. Yin señala que “muchas veces, el investigador del estudio de caso ha sido descuidado y ha permitido evidencia equívoca o vistas parciales para influir en la dirección de los hallazgos y conclusiones”.

En segundo lugar, estudios de casos ofrecen muy poca base para la generalización científica, ya que se utiliza un pequeño número de sujetos. La pregunta común que se plantea es "¿Cómo se puede generalizar a partir de un solo caso?".

Y por último, son a menudo demasiado largos, difíciles de realizar y producen una enorme cantidad de documentación, generando datos durante una larga duración de tiempo. El peligro surge cuando éstos no son gestionados y organizados de manera sistemática.

Patricia Anne Brown (2008) expresa en sus conclusiones que los estudios de caso proporcionan una comprensión humanística y holística de situaciones complejas, y como tales son valiosas herramientas de investigación. Sin embargo, el investigador tiene que comprender el caso y proceso de investigación, ya que en caso contrario existe el peligro de no ir en la dirección correcta.

1.5.3.-INDICADORES

Martin Christopher (2005) dice: La idea de KPSs (*Key Performance Indicators*) es que existen muchas medidas de rendimiento que se pueden implementar en una organización, pero hay un número relativamente pequeño de dimensiones críticas que contribuyen más que proporcionalmente al éxito o al fracaso en el mercado.

En los últimos años se ha mostrado mucho interés en el cuadro de mando integral, cuya idea es la selección de una serie de indicadores o ratios clave que nos ayuda en el seguimiento de la gestión con el objeto de alcanzar los objetivos estratégicos.

Estas ideas se transfieren fácilmente en la gestión de la logística, inventarios y estrategia de la cadena de suministro.

Marshall L. Fisher (1997): Nunca tanta tecnología y recursos humanos han sido aplicados a mejorar la cadena de suministro. Sin embargo, el rendimiento de muchas cadenas de suministro nunca ha sido peor. En algunos casos, los costos se han elevado a niveles sin precedentes debido a las relaciones entre socios de la cadena de suministro, así como las prácticas disfuncionales de la industria, tales como un exceso de confianza.

Hausman, Warren H. 2004 . El objetivo de la cadena de suministro es el cumplimiento de los requisitos del cliente final, incluyendo la disponibilidad del producto, la entrega a tiempo y todo el inventario necesario y la capacidad de la cadena de suministro para

que la respuesta sea la adecuada. El concepto de “Supply Chain Performance” se extiende más allá del concepto de empresa tradicional, ya que incluye materias primas, componentes, subconjuntos, productos acabados y distribución a través de diversos canales para el cliente final. También cruza las líneas tradicionales de organización funcional, como adquisición, fabricación, distribución, comercialización y ventas e incluso investigación y desarrollo.

Para ganar en el nuevo entorno, las cadenas de suministro tienen la necesidad de mejora continua. Para lograr esto, son necesarias medidas de desempeño, o "indicadores".

Hausman Warren H. (2005) es crítico con la cierta visión de que la cadena de suministro tenga que tratarse como un sistema integrado, más que como una colección de procesos separados. Por ejemplo: la separación entre materias primas, trabajo en proceso y piezas terminadas puede dar lugar a errores de interpretación. Por ejemplo, al principio de un periodo el responsable de piezas en proceso procesa muy poco material y también se afana por llevar a cabo los trabajos más costosos. Luego, al comienzo del período contable siguiente, la situación se regulariza existiendo una demanda de materias extra para procesar el material en proceso que estaba retenido. Tales comportamientos dificultan la gestión, al no enfrentarse a la realidad de los hechos.

Warren H. Hausman, Hau L. Lee, Uma Subramanian, (2005) siguen insistiendo sobre la importancia de los indicadores: “Los indicadores de logística están directamente relacionados con el rendimiento operativo, los países pueden utilizar estas mediciones para determinar acciones para mejorar la logística y el seguimiento de su progreso. Las ineficiencias en la logística se han destacado como una limitación importante en la productividad de las empresas y la competitividad en los países en desarrollo.

Las ineficiencias logísticas perjudican a la competitividad de las empresas privadas a través de sus efectos en costo y tiempo. Los gastos se refieren no sólo a los costes directos de transporte de productos, sino también a mercancías en tránsito de incurrir en costos indirectos, como el inventario de los costos de explotación. Cuanto mayor sea el tiempo de tránsito, mayores serán los costos. Los clientes están dispuestos a pagar una prima por una entrega más rápida.

Tal es la importancia de los indicadores que el banco mundial tiene una selección de indicadores logísticos que están basados en tiempo variabilidad, coste, complejidad, complejidad y factores de riesgo.

En el anexo hay dos relaciones de indicadores logísticos utilizados actualmente, una recopilada por Luis Aníbal Mora G. y otra por Karl B. Manrodt, Joseph Tillman y Kate Vitasek (2010).

CAPÍTULO 2: DEFINICIONES PREVIAS

2.1.- INCERTIDUMBRE EN PRODUCCIÓN

Se define incertidumbre como la duda de los resultados esperados una vez evaluados todas las fuentes de error y tomadas las medidas oportunas para ser corregidas, pudiendo dividirse en tres tipos fundamentales:

Incertidumbre cualitativa: En cada fase de producción se desconoce el nivel de calidad del producto que llega a cada punto de inspección hasta el mismo momento que es examinado. Una vez controlado el producto puede tomar tres caminos:

- 1.- Continuar el proceso como pieza dentro de normas hasta ese momento.
- 2.- Rechazarlo para ser reparado.
- 3.- Rechazarlo para ser reciclado.

Incertidumbre cuantitativa: En determinadas ocasiones, se desconoce la cantidad de piezas que nos van a llegar a la siguiente fase del proceso, puesto que cambia la demanda de los clientes y el rechazo o reproceso de las fases precedentes.

Incertidumbre temporal: Realmente se ignora en qué momento se va a producir cada uno de los eventos arriba relacionados.

2.2. - INVENTARIOS

Chase, Aquilano y Jacobs (2000) definen el sistema de inventario como: “serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben de mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos”.

Definiendo los siguientes objetivos de los inventarios:

- 1.- Mantener una independencia o flexibilidad en las operaciones.
- 2.- Ajustarse a la variación de la demanda de productos.

- 3.- Permitir una flexibilidad en la programación de la producción.
- 4.- Proveer una salvaguardia para la variación temporal.
- 5.- Sacarle provecho al tamaño de pedido económico.

Roger G. Schroeder (1992) dice: “La administración del inventario se puede considerar como una de las funciones administrativas de producción más importantes, en virtud de que requiere una buena parte de capital y de que afecta la entrega de los bienes a los consumidores. La administración del inventario tiene un fuerte impacto en todas las áreas del negocio, particularmente en la producción, la de mercadotecnia y la de finanzas”. Y “El propósito primordial de los inventarios es desacoplar las diferentes fases del área de operaciones”.

Narasimhan, Sim; McLeavy, Dennis W.; Billington, Peter (1996) afirman: Todos los sistemas de control de inventarios requieren de la intervención de usuarios inteligentes y exigen un seguimiento continuo y minucioso.

En el sistema que va a modelarse, el sistema de gestión de inventarios estará compuesto por varios tipos de stocks:

- 1.- Piezas para el cliente final.
- 2.- Piezas a procesar.
- 3.- Piezas a reprocesar o reparar.
- 4.- Piezas a reciclar o desecho.

El objetivo del modelo de control de inventario es maximizar la utilización de la línea, de tal forma que se garantice el servicio y la calidad del proceso.

Este tipo de sistemas son dinámicos puesto que:

- 1.- Cambios en la demanda pueden cambiar la dificultad de las piezas y por lo tanto sus rendimientos.
- 2.- Cambios en los procesos pueden reducir o aumentar incertidumbres cualitativas.

3.- Cambios en el conocimiento de los integrantes de la planta pueden aumentar la incertidumbre.

2.3.- EL PLANIFICADOR

Ray Wild (2002) trata sobre los sistemas multi-estado, como es nuestro caso, y el manejo de los inventarios a través de estos sistemas, llegando a la conclusión de la conveniencia de la centralización del control del proceso de inventarios por:¹⁹

- a) Evitar problemas de división de responsabilidades
- b) Evitar posibles conflictos entre objetivos y prioridades
- c) Evitar duplicación de esfuerzos
- d) Facilitar la aplicación de las políticas de gestión
- e) Facilitar la comunicación a través de la organización
- f) Desarrollo de oportunidades
- g) Economías de escalas

Recordar que en nuestro caso, Jay Heizer, Barry Render (2003), Steven Nahmias (2007), el planificador tendrá que predecir acontecimientos futuros.

2.4.- POSICIÓN DE INVENTARIO

Definimos las siguientes variables:

I_t : posición de inventario

L_t : tiempo de proceso

$L_{t\text{ prin}}$: tiempo de proceso línea principal

$L_{t\text{ rep}}$: tiempo de proceso línea reproceso

S_t : stock de productos comercializables al inicio del periodo t.

S_{t-1} : el inventario al final del periodo anterior

F_t : demanda insatisfecha en el periodo t

F_{t-1} : demanda en el periodo t-1

Q_t : flujo de productos del proceso del periodo t

Q_t - L_{tprin} : flujo de productos de la línea principal del periodo

R_t - L_{trep} : flujo de la línea de reproceso del periodo

Posición de inventario: Se define como el nivel de inventario existente, menos la demanda no satisfecha, más las órdenes de fabricación cursadas y pendientes de entrega.

$$I_t = S_t - F_t + Q_t$$

En este punto se profundizará un poco más en el concepto de la posición de inventario: se define como el stock neto o “en mano o comerciables” menos la demanda pendiente, más las entregas pendientes de fabricación, que en el momento de evaluar la posición estén pendientes de entrega, estén estos últimos en cualquier fase del proceso de fabricación, siendo independiente de la fecha de entrega. Ver, entre otros, Van der Laan (1999) ; Giannaccaro, (2002).

Sin embargo, se puede hacer una reflexión en el momento de evaluar las entregas pendientes de fabricación, en caso de tener dos o más ciclos de fabricación.

Por motivos de simplificación, se suponen dos líneas de fabricación que trabajan simultáneamente: la principal y la de reproceso.

La línea principal, al final de la cual sus productos tienen tres posibilidades: ir directamente al almacén de productos terminados (“piezas buenas”), ir a reproceso o ser desecho. Esta línea tiene su tiempo de proceso y su propio stock de proceso.

Línea de reproceso: las piezas que salen de esta línea pueden tener las mismas ocurrencias, sin embargo el tiempo de proceso, L_t , “lead time” suele ser distinto al de la línea principal, así como su propio stock de proceso.

Así pues podría cotejarse un nuevo punto de inventario donde se definirían dos sumandos en piezas pendientes de entrega de fabricación.

Dado pues que existe la posibilidad de que el tiempo de entrega sea distinto para las piezas que están en la línea de reproceso que la que está en la línea principal, deberían

hacerse una pequeñas puntualizaciones a la definición en la posición de posición de inventario:

A) Sea $Lt_{prin} \geq Lt_{rep}$. En este caso las piezas pendientes de entrega de la línea de reproceso llegarán antes, o en el mismo tiempo, que las piezas de la línea principal al almacén de productos terminados, por lo que la posición de inventario será igual al valor del stock neto más todos los pedidos pendientes de entrega hasta ese periodo. Por lo que sirve la primera definición que hemos dado.

B) $Lt_{rep} > Lt_{prin}$ Se supondrá el caso extremo en que el tiempo de la línea de reproceso o reparación es mucho mayor que el tiempo de la línea principal. Por ejemplo $Lt_{rep} = 64$ y $Lt_{prin} = 4$.

La cuestión es si debería incluirse en la posición de inventario del periodo t las piezas que llegarán al almacén en $t + 64$, es decir 60 periodos después ($Lt_{rep} - Lt_{prin}$) de la llegada del pedido de la línea principal lanzado en t .

Si se sigue la definición estricta de posición de inventario se deberían incluir todas las piezas en proceso, sin embargo también podemos argumentar que la inclusión de piezas en una fecha muy superior a t incrementaría de una forma adulterada la posición de inventario en t . Tenemos que recordar que la posición de inventario determina la política de pedidos de fabricación, así como su número, siendo estos datos determinantes de la calidad de servicio al cliente.

Así pues, parece lógico incluir en la posición de inventario solo aquellos pedidos que estando en periodo de reproceso, lleguen al almacén de productos terminados antes o a la vez que los de la línea principal de fabricación dentro del periodo considerado.

Señalar que en este caso el número de piezas que vienen de la línea de reproceso, están también condicionadas por el rendimiento de la misma, es decir de unas expectativas de rendimiento en el periodo t , las cuales podrían afectar al valor de posición de inventario.

En la línea de reproceso hay dos tipos de incertidumbres, el número de piezas que vienen de la línea principal a ser reprocesadas (incertidumbre cuantitativa) y el rendimiento de la línea de reproceso (Incertidumbre cualitativa).

Por lo tanto, el stock de productos comercializables al inicio del periodo t (S_t) será: el inventario al final del periodo anterior, menos la demanda, más el flujo de productos de la línea principal del periodo, más el flujo de la línea de reproceso que se reciban en dicho periodo.

$$S_t = S_{t-1} - F_{t-1} + Q_{t-Ltprin} + R_{t-Ltrep}$$

2.5.- INVENTARIO DE PIEZAS DE REPROCESO

En este stock permanecerán las piezas mientras se les somete a los procesos necesarios para devolverlas al flujo principal.

Variables:

$S_{rep,t}$: inventario de reproceso en t

$S_{rep,t-1}$: inventario de reproceso en $t - 1$

AR_t : reproceso generado por la línea principal en el periodo t

$d_{rep,t}$: desecho de la línea de reproceso en el periodo t

El stock al inicio del periodo serán las unidades existentes al final del periodo anterior, más las piezas generadas AR de la línea principal del periodo – desecho de la línea de reproceso, al final del periodo quedarán en el inventario aquellas unidades que no se han reprocesado.

$$S_{rep,t} = S_{rep,t-1} + AR_t - d_{rep,t}$$

Observar que las piezas de la línea de reproceso que salen nuevamente a reproceso, no deberán tenerse en cuenta en este balance puesto que se mantienen en el inventario.

CAPITULO 3: MODELO SERIE PARALELO

3.1.- MODELO SERIE PARALELO

Definición de variables:

M_i: $i=1,2,\dots,M$: talleres

d_i : desecho del taller i

Pⁱ : producción del taller i

AR₂ : piezas enviadas a reproceso generado por el taller 2

AR₂' : piezas enviadas a reproceso generado por el taller 2'

ar₂ : porcentaje de reproceso del taller 2

ar₂' : porcentaje de reproceso del taller 2'

La figura 3.1 representa una cadena de suministro de un único producto, aunque el sistema pueda ser utilizado por otros muchos, la capacidad y rendimientos no se verán afectados por los mismos.

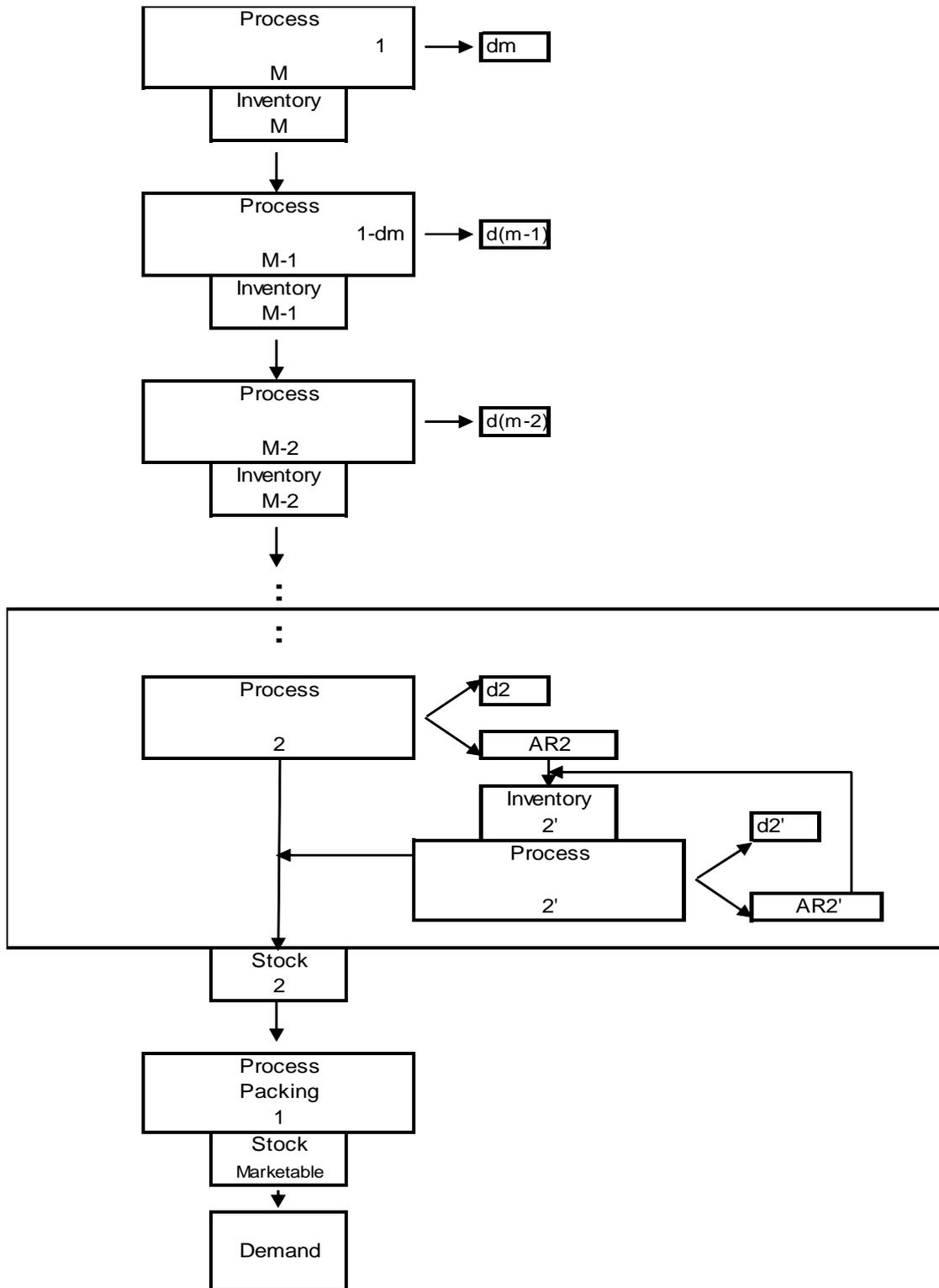
Sean M talleres en serie. El taller M , tiene siempre suficientes materias primas.

Cada taller i , $i= 1,2,\dots,M$ tiene un inventario intermedio delante y desde el que el taller $i-1$ coge material para su producción.

Los talleres $i=2,3, \dots,M$ disgregan, tras un proceso de inspección normalizado, una parte aleatoria de piezas a desecho en la inspección que denominaremos d_i , siendo $i=2,3,\dots,M$.

Para producir una unidad el taller i , $i=1,2, \dots, M-1$, (M tiene materias primas) necesita una unidad del taller $i-1$ más el porcentaje de desecho del propio taller, es decir $1+d(i-1)$ piezas.

Figura 3.1: Diagrama proceso serie paralelo con desecho y reproceso. Fuente propia.



En el taller número 2 el sistema de inspección disgrega las piezas en tres partes, siguiendo patrones aleatorios:

Buenas: para el taller 1.

Para reparar o reproceso: que denominaremos piezas AR, tiene pequeños defectos que la tecnología actual es capaz de reparar dentro de unos costes razonables. Que se envían al taller 2'.

Desecho d2: Con las técnicas actuales no es rentable o es imposible que la pieza pueda ser reparada y tenga las características físico-químicas o de aspecto para que pueda ser comercializada dentro de los parámetros de calidad establecidos, la pieza será destruida, aunque generalmente sus restos se pueden utilizar como materia prima.

Las piezas que van a reparar van al taller 2' donde las piezas una vez procesadas son inspeccionadas y se disgregan nuevamente en:

Buenas: para el taller 1.

Para reparar AR. Que se envían al taller 2' de nuevo.

Desecho d2': para ser destruida.

El proceso, definido como 2 y 2', es el proceso de cocción, las piezas son cocidas una primera vez en 2, por lo que a este proceso le llamaremos primer fuego. Aquí las piezas sufren cambios dimensionales y transformaciones químicas de los materiales. Las piezas son disgregadas por el proceso de inspección de 2 y las que son apropiadas para ser reparadas, son reparadas, y cocidas de nuevo en 2', proceso que llamaremos cocción de segundo fuego o re-cocción, como ya hemos comentado, este proceso de tiene también su propio reproceso y desecho.

Nota: Domenico Fotuna: este tipo de manufactura, entre otros, es típica de los talleres relacionados con la cerámica donde en cada proceso, sigue una fase de inspección, ya que sale más barata la inspección y la posible disgregación, retirada y posterior reciclaje de las materias primas utilizadas, que seguir añadiendo valor a un producto que posteriormente será desechado. Al conjunto de piezas antes con $i \geq 3$ se les suele denominar piezas crudas o verdes.

A veces, este proceso de re-cocción también se utiliza para decorar la pieza con materiales que no aguantarían la temperatura de cocción del primer fuego. En este caso pasarían al segundo fuego todas las piezas del primer fuego menos del desecho.

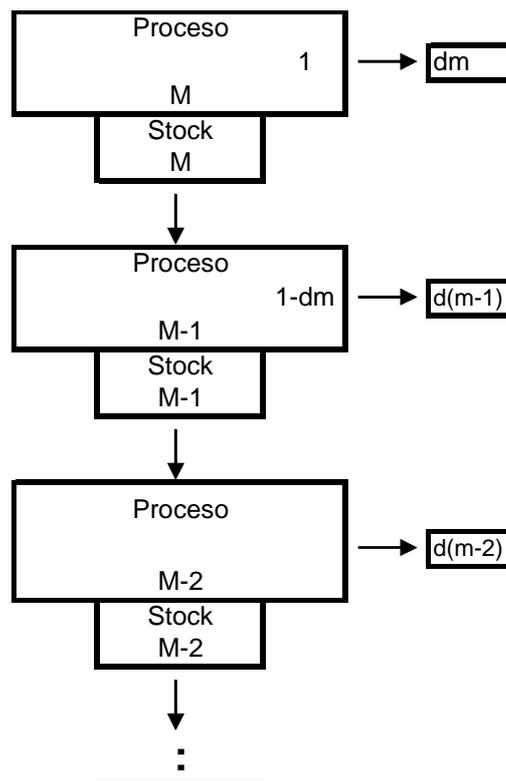
El último proceso a realizar (proceso 1), sería el acondicionamiento, empaquetamiento, etiquetado... o preparación de las piezas para su envío al almacén de productos terminados o cliente final.

Dada la diferenciación del proceso de cocción del resto los analizaremos separadamente.

3.2.- PROCESOS SERIE

Procesos $i > 2$

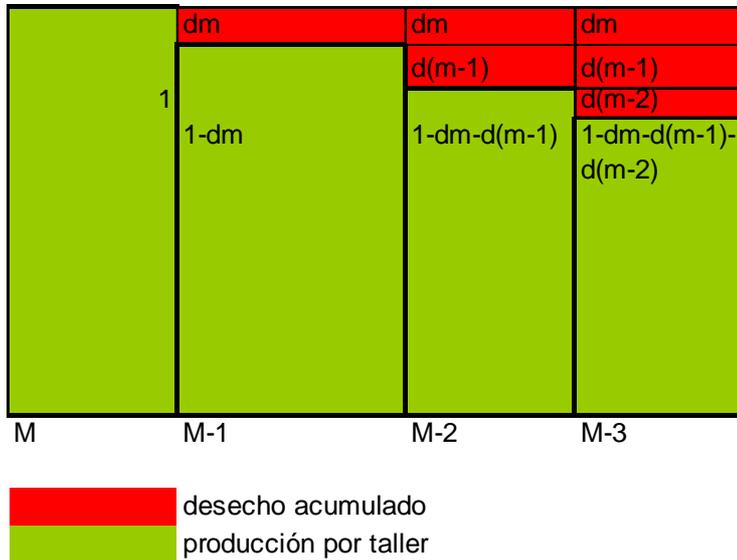
Figura 3.2: Diagrama proceso serie.



Si suponemos que en el taller M, generamos una pieza, el flujo de piezas a procesar por los talleres aguas abajo sería, gráficamente:

Figura 3.3 Flujo serie, fuente propia.

Flujo de piezas en el proceso para M-i , i>2



Es decir, cada taller tiene que procesar las piezas procesadas en M menos todas las piezas desechadas aguas arriba.

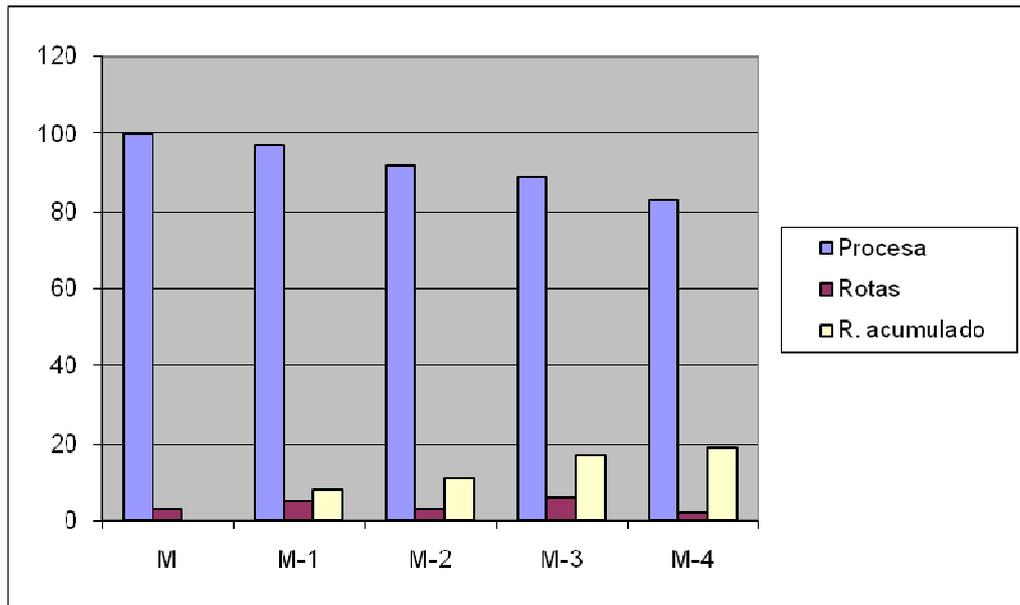
Para un número de piezas producidas en M, la producción en el taller M-i será:

$$P^{(m-i)} = P^m - \left(\sum_{j=0}^{i-1} P^{(m-j)} d(m-j) \right)$$

3.2.1.- CASO PROCESO SERIE

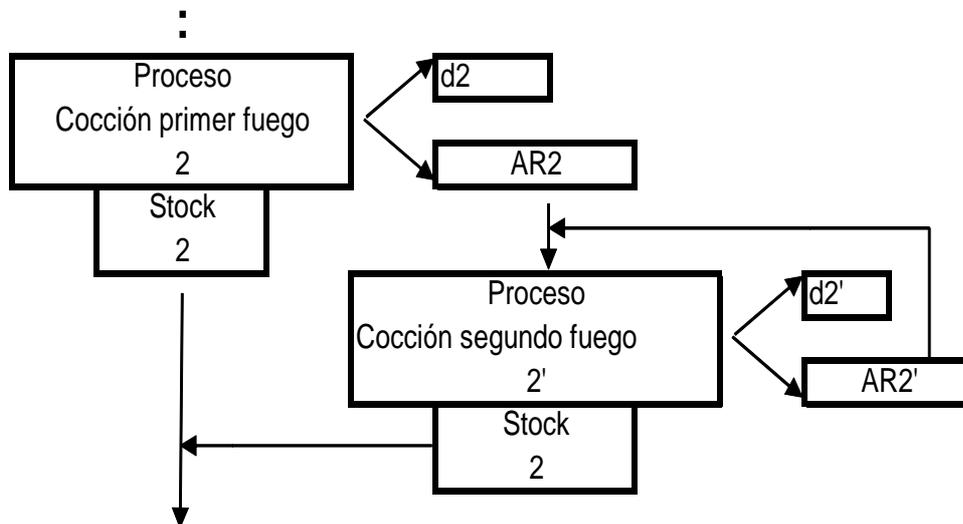
Taller	Procesa	Rotas	Porcentaje Rotas	R. acumulado
M	100	3	3,0%	
M-1	97	5	5,2%	8
M-2	92	3	3,3%	11
M-3	89	6	6,7%	17
M-4	83	2	2,4%	19

Gráfico 3.1: Flujo proceso serie



3.3.- PROCESO PARALELO

Figura 3.4, Diagrama proceso paralelo:



Si el taller M produce P^m unidades, el horno de primer fuego tiene que procesar:

$$P^2 = P^m - \left(\sum_{j=3}^m P^j d_j \right)$$

Del horno del primer fuego pasarán al taller de acondicionamiento, taller 1:

Las piezas procesadas menos las disgregadas a reproceso o a desecho:

$$p^{1 \text{ desde } 2} = p^m - \left(\sum_{j=3}^m p^j d_j \right) - AR2 - d2$$

Las piezas del primer fuego disgregadas al segundo fuego serán: las piezas procesadas por el primer fuego menos las entregadas a acondicionamiento, menos el desecho. Las definimos como las piezas cocidas por el porcentaje de reproceso.

$$AR2 = \left(p^m - \left(\sum_{j=3}^m p^j d_j \right) \right) ar2$$

Las piezas buenas del horno de segundo fuego serán: las disgregadas para reproceso del primer fuego menos las rotas del segundo fuego.

Pero el segundo fuego también produce reproceso, cuya media porcentual es identificada por $ar2'$, y desecho que se denomina roto de segundo fuego, $d2'$. Este reproceso de segundo fuego produce a su vez reproceso y desecho y así sucesivamente.

Luego las piezas generadas al taller de acondicionamiento por el segundo fuego serán:

AR2 menos las piezas rotas segundo fuego de las que vienen del AR del primer fuego y es la primera vez que se cuecen; menos las piezas rotas del segundo que vienen del AR del segundo fuego, por lo que es la segunda vez que se cuecen; menos las piezas rotas del segundo fuego del AR del segundo fuego y son la tercera vez que se cuecen,.. y es la cuarta vez que se cuecen.

Conociendo las proporciones podría resumirse como:

Piezas reproceso primer fuego - Piezas cocidas primer fuego x proporción piezas reproceso primer fuego x proporción desecho segundo fuego - Piezas cocidas primer fuego x proporción piezas reproceso primer fuego x proporción desecho segundo fuego

x (piezas reproceso segundo fuego + piezas reproceso segundo fuego x piezas reproceso segundo fuego + . . . + piezas reproceso segundo fuego⁴ + . . .).

$$P^{1 \text{ desde } 2'} = AR2 - AR2 \cdot d2' \cdot (1 + AR2' + AR2'^2 + AR2'^3 + \dots + AR2'^Z)$$

$$Z = 4, 5, \dots \infty$$

Si se procesa una pieza en M, la totalidad del las piezas reprocesadas por el segundo fuego son:

$$AR2' = (Piezas\ 3 - rotas3) \cdot AR2 + ((Piezas\ 3 - rotas3) \cdot AR2) \cdot AR2' + ((Piezas\ 3 - rotas3) \cdot AR2) \cdot AR2' \cdot AR2' - \dots =$$

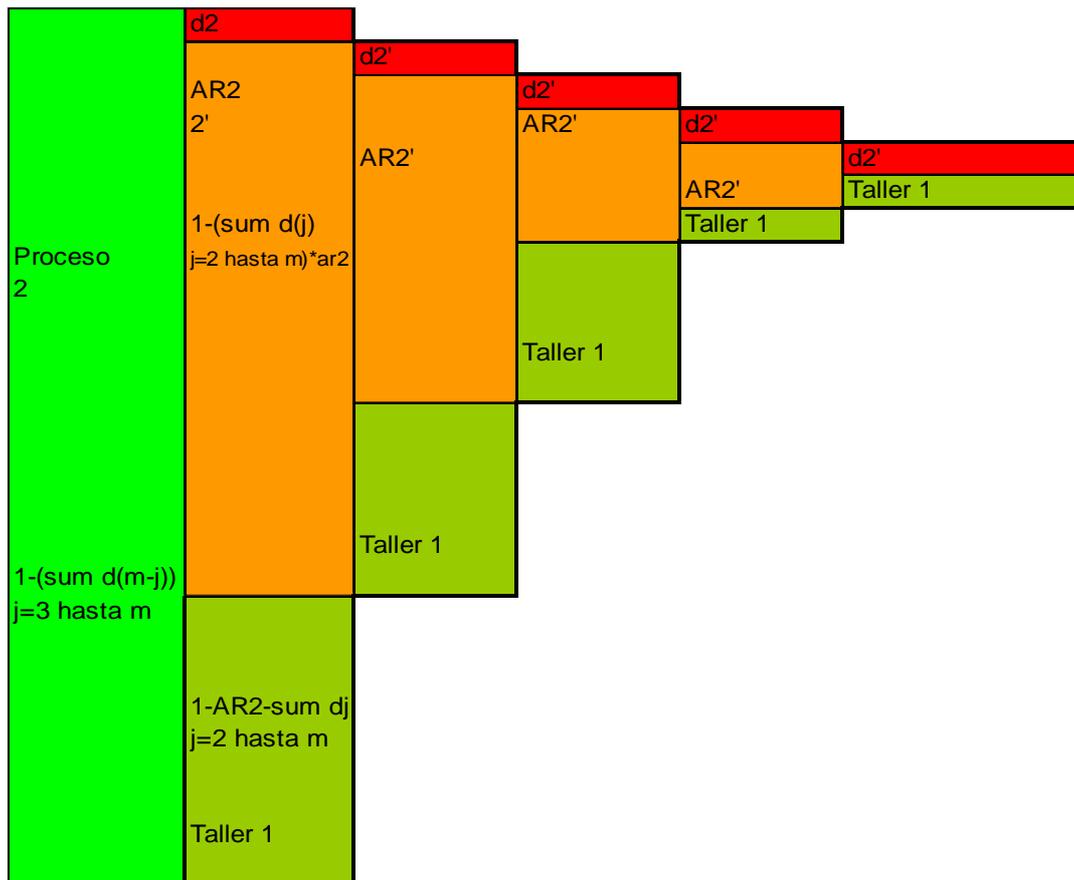
$$(Piezas\ 3 - rotas3) \% AR2 \cdot (1 + AR2' + AR2'^2 + AR2'^3 + AR2'^4 + \dots).$$

Y para un número de piezas P^m procesadas en m:

$$AR2' = \left(P^m - \left(\sum_{j=3}^m P^j \cdot dj \right) \right) \cdot AR2 \cdot \left(\sum_{z=1}^{\infty} AR2'^z \right)$$

Gráficamente el proceso de cocción podría representarse, como podemos ver en la siguiente figura:

Figura 3.5: Flujo proceso paralelo



3.3.1.- CASO PROCESO PARALELO

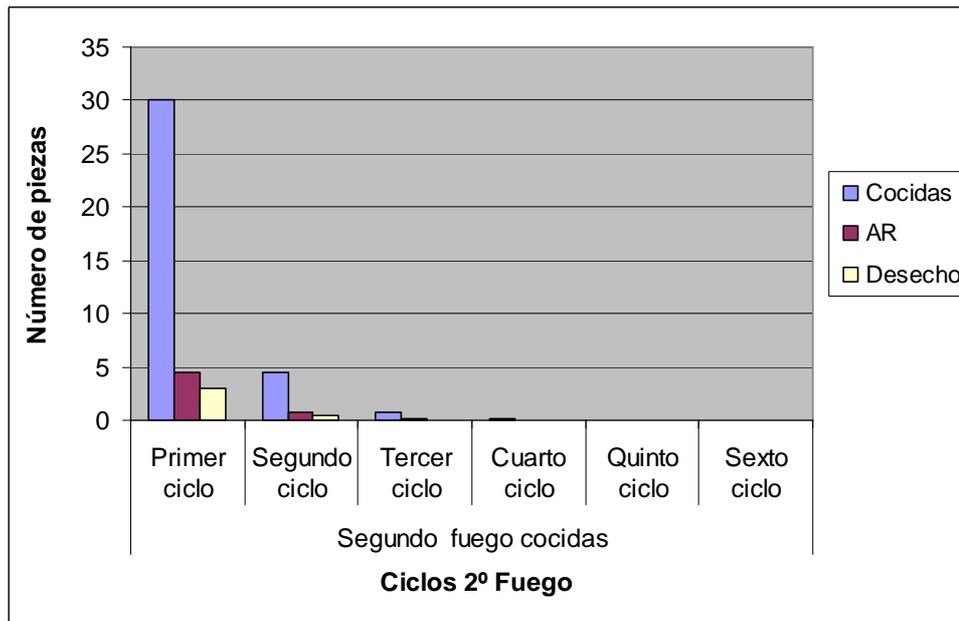
Un ejemplo numérico donde puede observarse la evolución de las piezas del segundo fuego sería:

AR primer fuego %	30%	AR segundo fuego %	15%
Desecho primer fuego %	6%	Desecho segundo fuego %	10%

	Cocidas	AR	Desecho
Primer fuego unidades	100	30	6

	Cocidas	AR	Desecho
Segundo fuego unidades			
Primer ciclo	30	4,50	3,00
Segundo ciclo	4,50	0,68	0,45
Tercer ciclo	0,68	0,10	0,07
Cuarto ciclo	0,10	0,02	0,01
Quinto ciclo	0,02	0,00	0,00
Sexto ciclo	0,00	0,00	0,00

Gráfico 3.2: Flujo proceso paralelo



Hablando en tantos por uno, el porcentaje total de desecho del sistema de cocción serán las rotas en el primer fuego más las rotas del segundo fuego, dividido por las piezas que han entrado al sistema, es decir las piezas cocidas en el primer fuego.

Desecho hornos:

$$d_{2+2'} = \frac{d_2 + ar_2 \times d_2' \times (1 + \sum_{z=0}^{\infty} ar_2'^z)}{(1 - \sum_{j=3}^m dj)}$$

3.4.- ACONDICIONAMIENTO

Puesto que la sección de acondicionamiento no tiene rechazo ni reproceso; puede concluirse que si fabricamos P^m en el taller M, la producción en el taller final será P^m menos todas las piezas rotas en el proceso:

$$P^1 = P^m - \sum_{j=2}^m P^j dj - \left(P^m - \left(\sum_{h=3}^m P^h dh \right) \left(AR_2 d_2' \left(1 + \sum_{z=0}^m AR_2'^z \right) \right) \right)$$

Que hablando en términos de porcentajes quedaría:

$$P^1 = 1 - \sum_{j=2}^m dj - ar2 d2' \left(1 - \sum_{z=0}^{\infty} ar2'^z \right)$$

Y el rendimiento del sistema serán las piezas rotas en todo el proceso dividido por las piezas iniciadas, para el caso de que solo se fabrique una pieza en M.

$$Desecho\ total = \sum_{j=2}^m dj - ar2 d2' \left(1 - \sum_{z=0}^{\infty} ar2'^z \right)$$

El rendimiento por cada pieza será las piezas llegadas al almacén menos las piezas rotas dividido por las piezas iniciadas, en este caso una:

$$Rendimiento = 1 - \sum_{j=2}^m dj - ar2 d2' \left(1 - \sum_{z=0}^{\infty} ar2'^z \right)$$

3.5.- FLUJO TEMPORAL REPROCESO EN PARALELO

Este taller va a producir un retraso inicial en el flujo principal, puesto que un número de piezas son disgregadas y procesadas antes de volver al flujo principal. Tras una serie de ciclos el flujo principal tendrá las pérdidas ocasionadas en el proceso paralelo, pero el flujo, dentro de las variaciones intrínsecas del proceso, volverá a ser constante.

Aunque aquí se ha supuesto únicamente un proceso en paralelo en uno de los talleres, las conclusiones serían extensivas si el proceso tuviera varios de ellos. Como podrá admirarse a lo largo del capítulo, se observarán retardos iniciales y se deberá tener la precaución de asumir el desperdicio al conjunto de las dos ramas.

El tiempo que las piezas (que han sido disgregadas de la línea principal) van a estar en el inventario del sistema de reproceso dependerá no solo del tiempo de proceso o “lead time” propio del sistema, sino del número de veces que estas piezas tengan que volver a entrar en el ciclo de reproceso como consecuencia de los defectos generados nuevamente, así como las piezas desechadas que disminuirán el inventario en curso, aumentando la rotación.

Para valorar el retardo que provoca el sistema de reproceso en paralelo va a calcularse el número de ciclos necesarios para que el aporte de la línea paralela a la principal sea poco significativo respecto a las disgregadas al mismo.

3.5.1.- FLUJO DE SALIDA

VARIABLES:

Q: Piezas que entran al bucle de reproceso desde la línea principal

AR2': Tanto por uno de reproceso de la línea paralela

d2': Tanto por uno de desecho de la línea paralela

j: número de ciclos

X: tanto por uno de piezas que salen del sistema en el ciclo j

P2'_j: número de piezas buenas que salen de la línea de reproceso en el ciclo j

En el primer ciclo del bucle salen a la línea principal, las piezas que han entrado menos las piezas a reprocesar nuevamente menos las piezas que son desechadas:

$$P2'_1 = Q - Qd2' - QAR2' = Q(1 - d2' - AR2')$$

En el segundo ciclo del bucle tendremos que procesar Q*AR2' piezas y salen a línea principal:

$$P2'_2 = Q(1 - d2' - AR2')AR2'$$

En el tercer ciclo vuelven a la línea principal:

$$P2'_3 = Q(1 - d2' - AR2')AR2'^2(1 - d2' - AR2')$$

Es decir para el ciclo j salen a la línea principal

$$P2'_j = Q(1 - d2' - AR2')AR2'^{(j-1)}$$

Observar que el número de piezas que salen en cada ciclo es una función exponencial cuya mantisa depende del rendimiento del sistema y cuyo exponente depende del número de ciclos.

3.5.2.- RETARDO TRANSITORIO DE SALIDA

Dividiendo por las que han entrado al sistema, tendremos la proporción o porcentaje de las que han salido respecto las que han entrado al sistema:

$$X = \frac{Q(1 - d2' - AR2')AR2'^{j-1}}{Q} = (1 - d2' - AR2')AR2'^{j-1}$$

Aplicamos logaritmos:

$$\ln X = (j - 1)\ln AR2' + \ln(1 - d2' - AR2')$$

Despejando

$$j = 1 + \frac{\ln X - \ln(1 - d2' - AR2')}{\ln AR2'}$$

Sin embargo el número de ciclos generalmente no coincidirá con el número de periodos, así pues vamos a calcularlos:

Variables de entrada:

n: número de periodos elementales.

I^{2'}: inventario proceso paralelo

Variable de salida

T: número de periodos elementales en procesar el lote Q

Sabemos que el tiempo por ciclo es:

$$L_{trep} = n \frac{I^{2'}}{Q}$$

Así pues, el número de periodos en stock hasta que la influencia el efecto del retraso sobre la línea principal no es significativo será el L_{trep} de cada ciclo por el número de ciclos necesarios para que el porcentaje de piezas procesadas del lote Q sea insignificante.

$$T = \frac{jnI^{2'}}{Q}$$

Veamos qué ocurre transcurrido ese periodo transitorio:

Piezas que entran en el bucle Q:

En el primer ciclo del bucle salen a la línea principal:

$$Q - Qd2' - QAR2' = Q(1 - d2' - AR2')$$

En el segundo ciclo del bucle estarán:

$$Q AR2'$$

Y saldrán a la línea principal

$$Q AR2'(1 - d2' - AR2')$$

Más los del primer ciclo del siguiente lote, que será su primer ciclo

$$Q(1 - d2' - AR2')$$

En el tercer ciclo saldrán $Q AR2'^2(1 - d2' - AR2')$, más los del primer ciclo del siguiente del siguiente lote, que será su primer ciclo $Q(1 - d2' - AR2')$, más los del segundo ciclo del siguiente lote, que será su primer ciclo $Q AR2'(1 - d2' - AR2')$.

Así, hasta que, como ya hemos visto, llegaremos a un régimen permanente que como ya se ha demostrado saldrán al taller número 1.

$$P^{1 \text{ desde } 2'} = AR2 - AR2 d2' (1 + AR2' + AR2'^2 + AR2'^3 + \dots + AR2'^Z)$$
$$Z = 4, 5, \dots \infty$$

3.5.3.- CASO FLUJO TEMPORAL PARALELO

Datos de entrada

Q: 16210 piezas que entran al bucle en el periodo.

AR2': 0,2 tanto por uno de reproceso de la línea paralela

d2': 0,1 tantos por uno de desecho de la línea paralela

X: 0,0002 tanto por uno de piezas que deseamos que salgan del sistema en el ciclo j.

n: 30 días

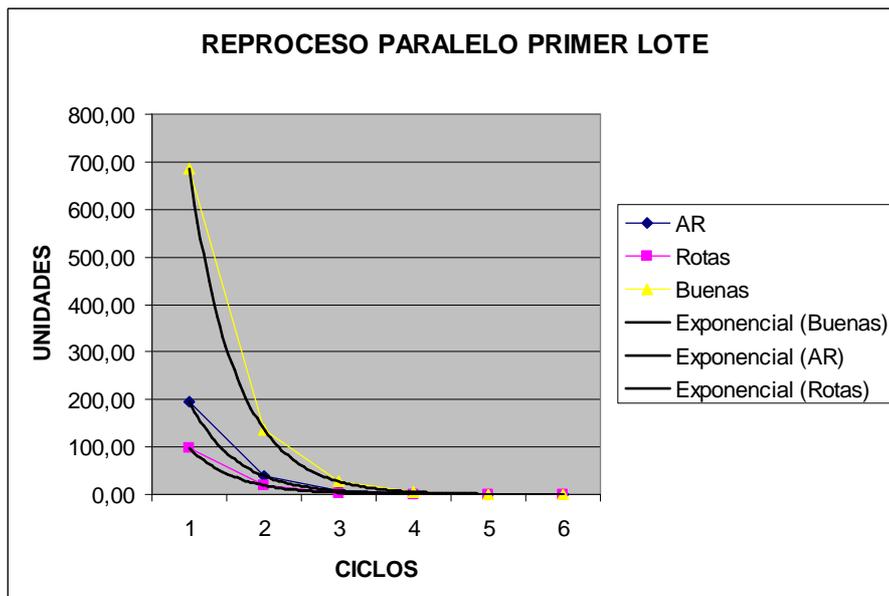
I²: 1225 piezas

Simulación: suponiendo que el lote Q, se divide en partes iguales en cada uno de los n 30 periodos.

$$Q/30 = 980$$

Rotaciones 2'	AR	Rotas	Buenas	Buenas/Q
1	196,06	98,03	686,22	0,7000
2	39,21	19,61	137,24	0,1400
3	7,84	3,92	27,45	0,0280
4	1,57	0,78	5,49	0,0056
5	0,31	0,16	1,10	0,0011
6	0,06	0,03	0,22	0,0002
Totales	245	123	857,72	1

Gráfico 3.3: Reproceso paralelo primer lote.



Observar que las piezas rotas más las buenas más las piezas pendientes de procesar en el sexto ciclo, coinciden con las que han entrado, comprobando así la exactitud del modelo.

Aplicando la fórmula:

$$j = 1 + \frac{\ln x - \ln(1 - d2' - AR2')}{\ln AR2'} = 1 + \frac{\ln 0.0002 - \ln 0.7}{\ln 0.2} = 6$$

Es decir, en este caso concreto, al sexto ciclo ya solo salen a la línea principal el 0,02% de las piezas que han entrado, por lo que podemos considerar, teniendo en cuenta que es un proceso estocástico, que a partir de aquí el proceso de retardo la línea paralela es insignificante.

Este razonamiento también sirve para ver las piezas que saldrían del sistema paralelo, una vez que ha sido interrumpida la producción en el flujo principal.

Y el tiempo transcurrido será:

$$T = \frac{jnl^{2'}}{Q} = \frac{6 \cdot 30 \cdot 1225}{16210} = 16.6 \text{ días}$$

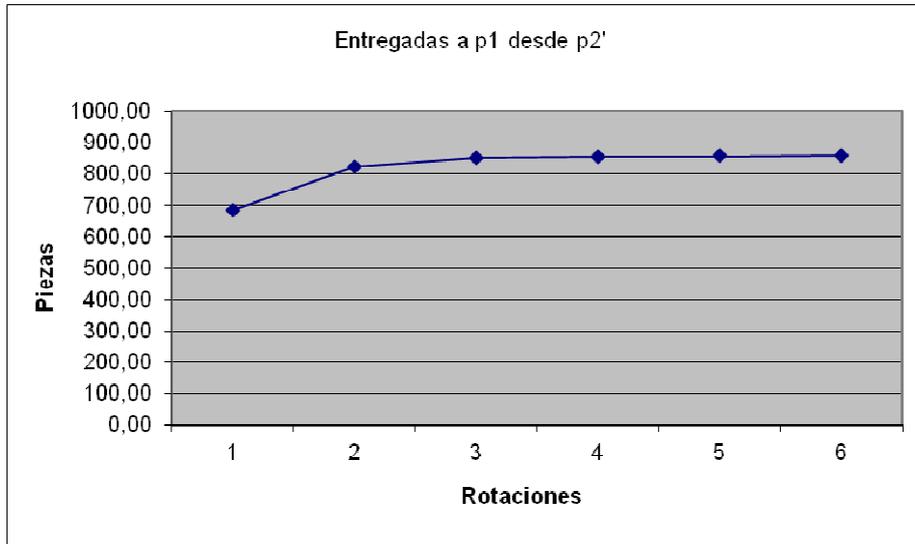
Siguiendo con nuestro ejemplo:

$$P^{1 \text{ desde } 2'} = AR2 - AR2 \cdot d2' \cdot (1 + AR2' + AR2'^2 + AR2'^3 + \dots + AR2'^Z)$$

Z= 4, 5, ... ∞

Rotaciones 2'	AR	Rotas	Buenas	Buenas/Q	Entregadas a p1 desde p2'
1	196,06	98,03	686,22	0,70	686,22
2	39,21	19,61	137,24	0,14	823,46
3	7,84	3,92	27,45	0,03	850,91
4	1,57	0,78	5,49	0,01	856,40
5	0,31	0,16	1,10	0,00	857,50
6	0,06	0,03	0,22	0,00	857,72

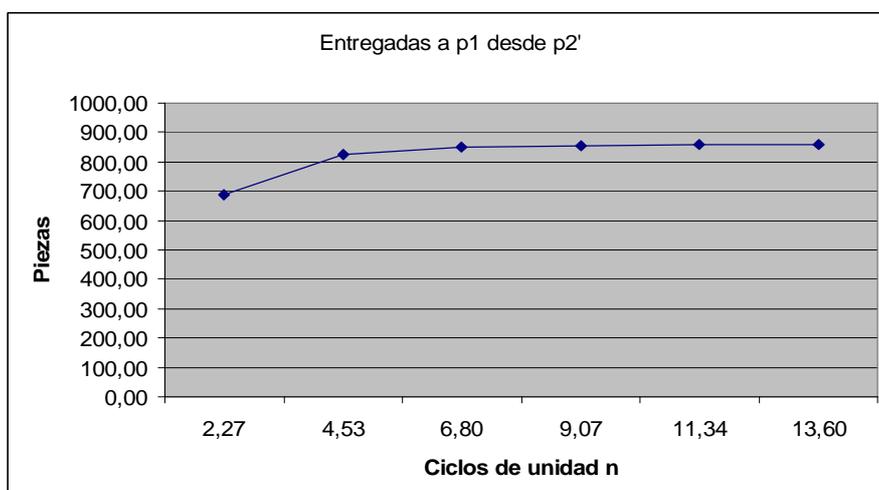
Gráfico 3.4: Gráfico flujo según rotaciones desde ciclo paralelo



En ciclos elementales del proceso será:

Rotaciones 2'	AR	Rotas	Buenas	Buenas/Q	Entregadas a p1 desde p2'	Ciclos de unidad n
1	196,06	98,03	686,22	0,70	686,22	2,27
2	39,21	19,61	137,24	0,14	823,46	4,53
3	7,84	3,92	27,45	0,03	850,91	6,80
4	1,57	0,78	5,49	0,01	856,40	9,07
5	0,31	0,16	1,10	0,00	857,50	11,34
6	0,06	0,03	0,22	0,00	857,72	13,60

Gráfico 3.5: Gráfico flujo según ciclos elementales ciclo paralelo



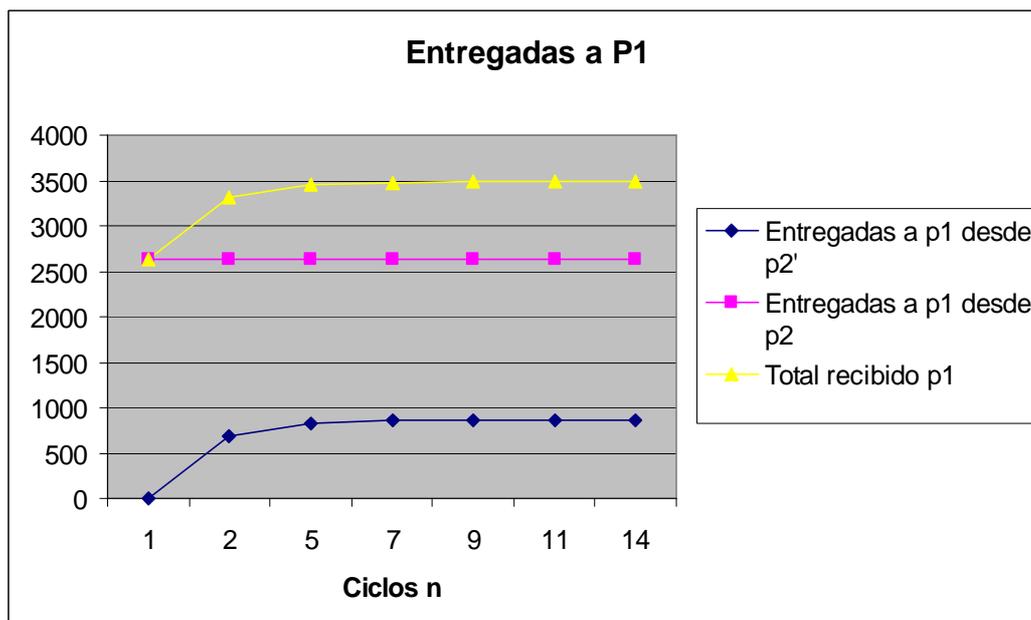
Si además se incluyen las piezas que salen del taller p2

$$p^{1desde2} = P^m - \sum_{j=3}^m P^j - AR2 - d2$$

Para referenciar los datos de la tabla al taller 2', observar que las entregas desde el taller 2, en esta tabla son las entregas en 2,27 periodos de tiempo. Del ejemplo: $2,27 \times 51889 \times (1-0.25-0.08)/30 = 2627$.

Ciclos de unidad n	Entregadas a p1 desde p2'	Entregadas a p1 desde p2	Total recibido p1
1	0	2627	2627
2	686	2627	3313
5	823	2627	3451
7	851	2627	3478
9	856	2627	3484
11	858	2627	3485
14	858	2627	3485

Gráfico 3.6: Ejemplo flujo de entregas de la línea serie paralelo por ciclos.



CAPITULO 4: DEFINICIÓN DE OTRAS VARIABLES

4.1.- DEFINICIÓN DE OTRAS VARIABLES

Se asume una periodicidad temporal en la cual el tiempo es dividido en segmentos. A cada segmento se le denomina n .

Capacidad: Para todo $i=1\dots M$ en espacio tiempo n , se define B_n^i como la cantidad de piezas netas que el taller i puede producir en el periodo n .

Esteban Fernández Sánchez, Lucía Avella Camarero, y Marta Fernández Barcala, (2006) [10], definen capacidad de una instalación como “la cantidad de producto que ésta puede obtener por unidad de tiempo con los recursos o activos disponibles y en condiciones de funcionamiento normales”.

Órdenes recibidas: se define D_n^i como el número de órdenes recibidas al taller i en el tiempo n .

Inventario: se define I_n^i , $i=1, \dots, M$ como el inventario a la salida de cada taller al principio del tiempo n . Con las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} i=2, \dots, M & \quad I_n^i \geq 0 \\ i=1 & \quad \text{si } I_n^i \geq 0 \text{ inventario positivo} \\ & \quad -I_n^i \text{ retrasos o pendientes} \end{aligned}$$

Producción: se define como producción P_n^i , $i=1, \dots, M$ como la producción del taller i en el periodo n . Esta producción ha sido definida por una política que ha tenido en cuenta la capacidad B_n^i y el inventario I_n^{i+1} .

El proceso funcionaría de la siguiente manera:

Al principio del tiempo $n+1$ el inventario en 1 es:

$$I_{n+1}^1 = I_n^1 - D_n^1 + P_n^1$$

La producción P_n^1 es vista como demanda para el taller 2, el cual genera demanda para el taller 3. Así la totalidad del proceso es determinada por la demanda externa.

La demanda $\{D_n^1, n \in Z\}$ y el proceso $\{B_n^i, n \in Z\}$ son independientes, estocásticos y con posibilidad de autocorrelación.

Además $E\{D_n^1\} < \min\{B_n^i\}; i = 1, \dots, M$

El objetivo del presente documento será diseñar las herramientas que minimicen los costes de inventario y que la probabilidad de que $I_n^1 \leq 0$, en cualquier n sea mínimo.

4.2.- TIEMPO TOTAL DE PROCESO O LEAD TIME

Definición de variables:

LT_t : Tiempo total de proceso de la planta

LT_i : Tiempo de proceso del taller i

n : periodo considerado

R_t : rotación total del proceso o factoría

R_i : rotación del inventario del taller i

ρ_i : Rendimiento del taller i

P^1 : Producción neta que sale del proceso en el periodo n

Además se conocen las siguientes fórmulas básicas:

$$LT = \frac{\text{Periodo}}{\text{Rotación}} = \frac{n}{R}$$

$$\text{Rotación} = \frac{\text{Producción}}{\text{Inventario}} = \frac{P}{I}$$

El tiempo total del proceso será la suma de los tiempos de proceso de cada uno de los subprocesos:

$$LT_t = LT_m + LT_{m-1} + LT_{m-2} + \dots + LT_1 =$$

$$n \left(\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_{m-1}} + \frac{1}{R_{m-2}} + \dots + \frac{1}{R_1} \right) =$$

$$n \left(\frac{I^m}{P^m} + \frac{I^{m-1}}{P^{m-1}} + \frac{I^{m-2}}{P^{m-2}} + \dots + \frac{I^1}{P^1} \right) =$$

$$n \left(\frac{I^m}{P^m} + \frac{I^{m-1}}{P^m \rho_m} + \frac{I^{m-2}}{P^m \rho_m \rho_{m-1}} + \dots + \frac{I^1}{P^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'}} \right) =$$

Se toma como denominador común $P^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'}$ y simplificando:

$$LT_t = n \frac{I^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'} + I^{m-1} \rho_{m-1} \rho_{m-2} \dots \rho_{2+2'} + I^{m-2} \rho_{m-2} \dots \rho_{2+2'} + I^1}{P^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'}}$$

Se sabe que las piezas que salen al almacén de productos terminados son:

$$P^1 = P^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'}$$

$$LT_t = n \frac{I^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_{2+2'} + I^{m-1} \rho_{m-1} \rho_{m-2} \dots \rho_{2+2'} + I^{m-2} \rho_{m-2} \dots \rho_{2+2'} + I^1}{P^1}$$

Además:

4.3.- DEFINICIÓN DE INVENTARIO AJUSTADO

Se define inventario ajustado como el inventario de la sección disminuido por las pérdidas aguas abajo en función del rendimiento. Es decir, la contribución de este inventario en un futuro a ser piezas disponibles para el cliente final.

$$Ia^i = I^i \rho_i \rho_{i-1} \dots \rho_{2+2'}$$

Por lo tanto:

$$I^m \rho_m \rho_{m-1} \dots \rho_2 + I^{m-1} \rho_{m-1} \rho_{m-2} \dots \rho_2 + I^{m-2} \rho_{m-2} + \dots + I^1 =$$

$$Ia^m + Ia^{m-1} + Ia^{m-2} + \dots + I^1$$

Luego:

$$LT_t = LT_m + LT_{m-1} + LT_{m-2} + \dots + LT_1;$$

$$LT_t = n \frac{I_a^m + I_a^{m-1} + I_a^{m-2} + \dots + I^1}{P^1}$$

Pero:

$$LT_t = \frac{n}{R_t}$$

$$R_t = \frac{P^1}{I_a^m + I_a^{m-1} + I_a^{m-2} + \dots + I^1}$$

4.4.- ROTACIÓN SISTEMAS CON DESECHO Y REPROCESO

La rotación en un sistema de producción por etapas, con desecho y reproceso, será: Las piezas producidas, divididas, por el sumatorio de los inventarios ajustados en curso.

Se define inventario total ajustado como:

$$\sum_{i=1}^m I_a^i = I_a$$
$$LT_t = \frac{n}{R_t} = \frac{n I_a}{P^1}$$

4.5.- TIEMPO TOTAL DE PROCESO

El tiempo total de proceso será el periodo considerado por inventario total ajustado dividido por la producción neta del periodo.

Si el periodo fuera la unidad:

El tiempo total de proceso será el inventario total ajustado dividido por la producción neta.

$$LT_t = \frac{1}{R_t} = \frac{I_a}{P^1}$$

Observar que, estando en un régimen permanente, conocido el tiempo de proceso y las piezas que han salido al almacén podrá conocerse el inventario ajustado.

El inventario ajustado será la producción neta por unidad de tiempo por el tiempo de proceso.

$$I_a = \frac{P^1}{n} LT_t$$

4.6.- CONSTANCIA INVENTARIO AJUSTADO POR ROTACIÓN

Observar que el inventario ajustado por la rotación en cualquier taller será igual a las piezas buenas que salen del almacén.

$$I_a^i R_i = \frac{I^i \rho_i \rho_{i-1} \cdot \cdot \cdot \rho_{2+2} P^i}{I^i} = \rho_i \rho_{i-1} \cdot \cdot \cdot \rho_{2+2} P^i = P^1$$

De esta forma, conocida la rotación, será posible monitorizar en cada uno de los procesos las posibles desviaciones para conseguir el objetivo marcado teniendo la oportunidad, si la gestión de inventarios intermedios es buena, de realimentar el proceso únicamente conociendo inventarios parciales.

4.7.- CASO DESARROLLO APLICACIÓN INVENTARIO AJUSTADO

Taller M		
Piezas procesadas	p^m	56309
Desecho	dm	0,05
Rendimiento	ρ_m	0,95
Inventario medio	I^m	7576
Inventario ajustado	I_a^m	6205
Rotación	P^m/I^m	7,433
Inventario ajustado*Rotación = P^1		46117
Periodo	n	30
Periodos en inventario	$n/P^m/I^m$	4,036

Taller M-1		
Piezas procesadas	$P^m(1-dm) = P^m - P^m * dm$	53494
Desecho	$d(m-1)$	0,03
Rendimiento	ρ_{m-1}	0,97
Inventario medio	$I^{(m-1)}$	2430
Inventario ajustado		2095
Rotación	$P^{(m)}(1-dm)/I^{(m-1)}$	22,014
Inventario ajustado*Rotación = P^1		46117
Periodo	n	30
Periodos en inventario	$n/P^m(1-dm)/I^{(m-1)} =$ $n * I^{(m-1)}/P^m(1-dm)$	1,363
Taller M-2		
Piezas procesadas	$P^m(1-dm) - P^{(m-1)}d(m-1) =$ $P^m(1-dm) - P^m(1-dm)d(m-1)$	
Desecho	$d(m-2)$	
Rendimiento		
Inventario medio	$I^{(m-2)}$	
Rotación	$(P^m(1-dm) - P^{(m-1)}d(m-1))/I^{(m-2)}$	
Periodo	n	
Periodos en inventario	$n/(P^m(1-dm) - P^{(m-1)}d(m-1))/I^{(m-2)}$ $nI^{(m-2)}/(P^m(1-dm) - P^{(m-1)}d(m-1))$	
Taller M-i, i>2		
Piezas procesadas	$P^{(m-i)} =$ $P^m - \text{Sumat}_{j=0, 1, 2, i-1} P^{(m-j)} * (d(m-j))$	
Inventario medio	$I^{(m-i)}$	
Rotación	$(P^m - \text{Sumat}_{j=0, 1, 2, i-1} P^{(m-j)} * (d(m-j)))/I^{(m-i)}$	
Periodo	n	
Periodos en inventario	$n/(P^m - \text{Sumat}_{j=0, 1, 2, i-1} P^{(m-j)} * (d(m-j)))/I^{(m-i)}$ $n I^{(m-i)}/(P^m - \text{Sumat}_{j=0, 1, 2, i-1} P^{(m-j)} * (d(m-j)))$	

j=0 hasta j=i-1		
Taller 2		
Piezas procesadas	$P^m - \sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot (dj)$	51889
Desecho	d_2	0,08
Rendimiento	ρ_2	0,92
Reproceso	ar_2	0,25
Inventario medio	I	1906
Inventario ajustado	I	1694
Rotación	$P^m - \sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot (dj) / I^2$	27,22
Inventario ajustado * Rotación = P1		46117
Periodo	n	30
Periodos en inventario	$n / (P^m - \sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot (dj)) / I^2 =$ $nI^2 / (P^m - \sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot (dj)) =$ j=0 hasta j=i-1	1,102
Taller 2'		
Piezas procesadas	$(P^m - (\sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot dj)) \cdot ar_2 \cdot (1 + \sum_{z=1,2,\dots,\infty} ar_2^z)$	16210
Desecho	d_2'	0,1
Rendimiento	ρ_2'	0,9
Reproceso	AR_2'	0,2
Inventario medio	I_2'	1225
Rotación	$(P^m - (\sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot dj)) \cdot ar_2 \cdot (1 + \sum_{z=1,2,\dots,\infty} ar_2^z) / I_2'^2$	13,233
Periodo	n	30
Periodos en inventario	$n / ((P^m - (\sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot dj)) \cdot ar_2 \cdot (1 + \sum_{z=1,2,\dots,\infty} ar_2^z)) / I_2'^2 =$ $nI_2'^2 / ((P^m - (\sum_{j=3,4,\dots,m} P^j \cdot dj)) \cdot ar_2 \cdot (1 + \sum_{z=1,2,\dots,\infty} ar_2^z)) =$	2,267
Taller 2+2'		
Desecho	$d_2 + 2' = (d_2 + ar_2 \cdot d_2' \cdot (1 + \sum_{z=0,1,2,\dots,\infty} ar_2^z))$	0,111

Rendimiento 2+2'	$\rho_{2+2'}$	0,889
Taller 1		
Piezas procesadas	$P^m - (\sum P^j * dj) - (P^m - (\sum P^h * dh)) (ar2 * d2' * (1 + \sum ar2'^z))$ j=2,3...m h=3,4,...m z= 0, 1, 2, . . . ∞	46117
También procesadas en el taller 2 por el rend del taller 2+2'		46117
Stock medio	I^1	681
Inventario ajustado		681
Rotación	$P^m - (\sum P^j * dj) - (P^m - (\sum P^h * dh)) (ar2 * d2' * (1 + \sum ar2'^z)) / I^1$	67,72
Inventario ajustado*Rotación		46117
Periodo	n	30
Periodos en inventario		0,443
Total periodos en inventario		6,944
Total inventario ajustado		10675
Rotación	Total stock ajustado/P¹	4,320
Inventario ajustado*Rotación		46117
Periodo	n	30
Total periodos en proceso=	Total stock ajustado*n/producción neta	6,944

Obsérvese que el inventario ajustado del taller 2+2' se determina en función del inventario del taller 2, puesto que el taller 2' solo produce un retraso en la función de salida (observable en el siguiente apartado). Sin embargo, sí se tiene en cuenta el efecto del taller de reproceso sobre el inventario ajustado, puesto que se considera las pérdidas aguas abajo de los dos talleres, al tener en cuenta el desperdicio de ambos $\rho_{2+2'}$.

Así pues, en los procesos con desperdicio, el planificador tendrá que utilizar el inventario ajustado, en vez del inventario real, para el cálculo de piezas pendientes de entregar al almacén de productos terminados.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

5.1.- INTRODUCCIÓN

En una gran mayoría de sistemas productivos, la capacidad está determinada por una serie de condicionantes que hay que prever con suficiente antelación: disponibilidad de personal, disponibilidad de horas máquina, compra de materiales, vida de moldes, etc.

Sin embargo, todas estas circunstancias que intentaremos plasmar, son solo modelos o abstracciones simplificadas de una realidad futura, y que por ser compleja, existirá una discrepancia entre lo observado y lo previsto.

Estos acontecimientos determinan o acotan un periodo de planificación o un horizonte temporal dentro del cual se han de realizar las previsiones de fabricación.

El momento en el que realizamos la planificación lo definimos como “t”.

En estos momentos tenemos:

- Stock de almacén de productos terminados, que puede ser considerado un valor fijo.
- Stock en curso: compuesto de varios sub-inventarios, puesto que solo nos interesan las piezas que van a llegar al almacén, los ajustamos a las expectativas de piezas equivalentes almacén, como se ha visto.
- Capacidad planificada u orden de fabricación para el periodo: éste es el verdadero valor que tenemos que calcular, puesto que el resto ya está fijado de antemano.

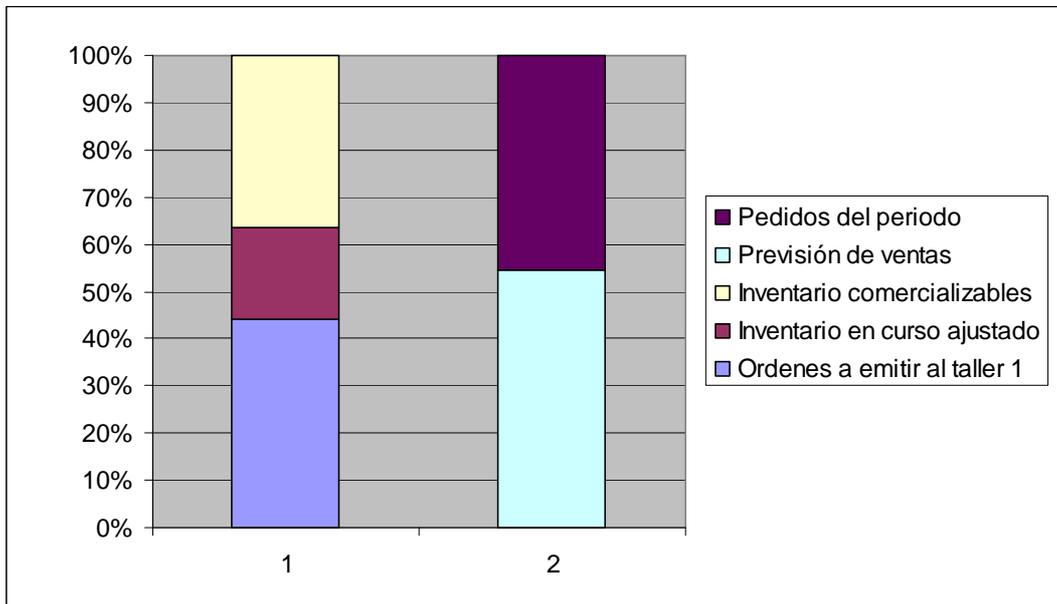
Puesto que son piezas a fabricar y tienen que pasar todo el proceso de fabricación tendrá que hablarse de expectativas de fabricación.

¿Qué deberá producirse?: la diferencia entre lo que se tiene y la suma de los pedidos del periodo considerado más la previsión de ventas dentro del periodo considerado.

5.1.1.- CASO PLANIFICACIÓN

Debe	
Pedidos	25000
Previsiones ventas	30000
Total	55000
Haber	
Inventario comercializables	20000
Inventario en curso ajustado	10675
Total	30675
Ordenes a emitir al taller 1	24325
Rendimiento del proceso	0,82
Ordenes a emitir al taller M	29702

Gráfico 5.1: Balance pedidos-inventarios,órdenes



Donde será posible observar que para un periodo considerado la columna de la izquierda y de la derecha tendrían que ser iguales.

5.2.- ANÁLISIS CAUSAL CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO

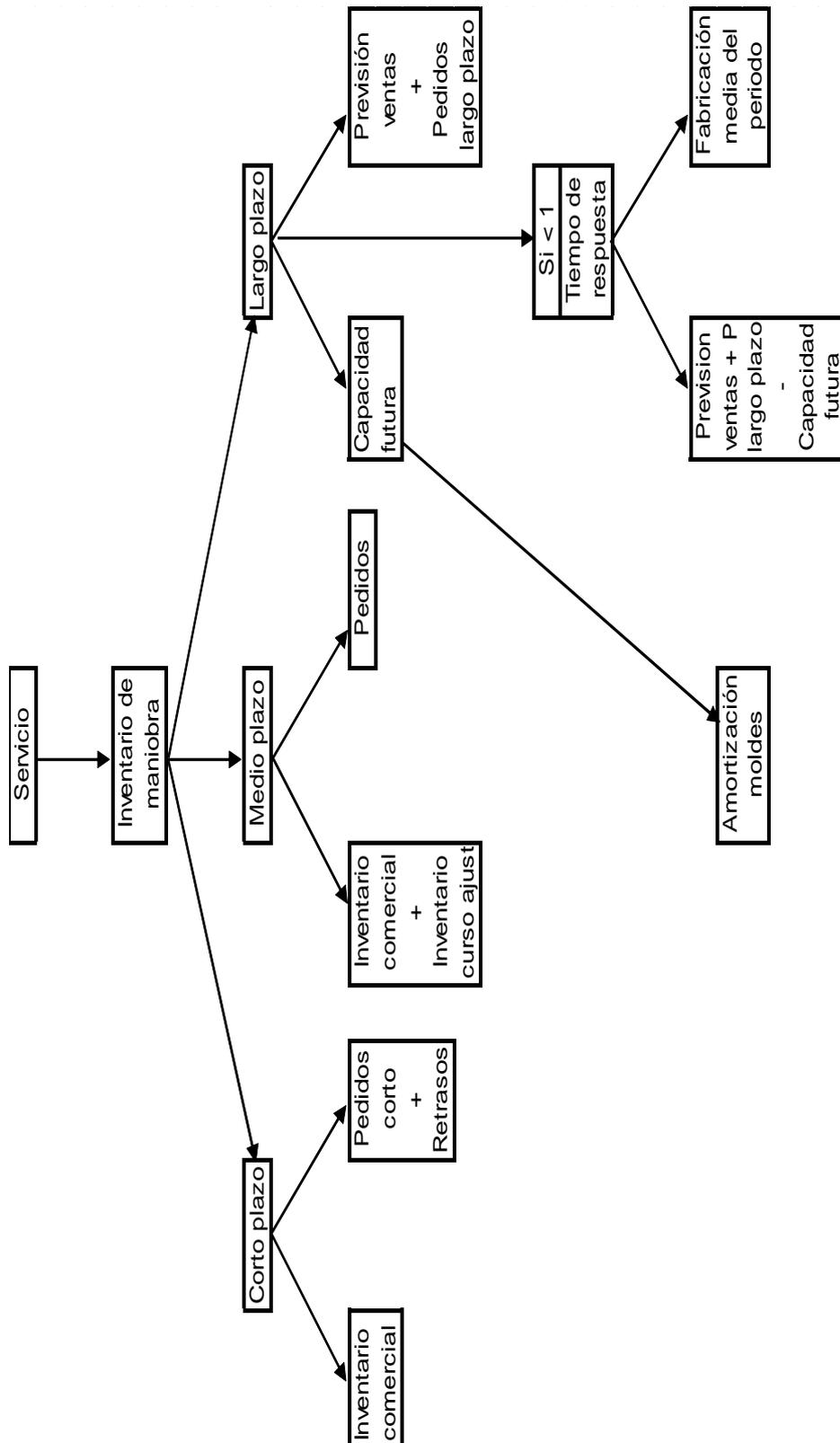
Para estar seguros de que las piezas lleguen al cliente final a lo largo del tiempo, se ha realizado un esquema casual, teniendo tres tipos de visiones; a corto, medio y largo plazo.

Este tipo de análisis está determinado por el tiempo de proceso, o tiempo de respuesta del sistema a las variaciones, así como el tipo de política comercial que tenga la empresa.

En este caso se ha supuesto que los pedidos a corto plazo o inmediatos y retrasos se cubren con el inventario de almacén o de productos comerciales; en los de medio plazo se incluyen además, el inventario que existe dentro de la línea de producción y en el largo plazo, los pedidos a largo plazo y previsiones de ventas, junto con la capacidad futura de producción que estará determinada, además de otras variables, por el número de moldes colocados, máquinas dedicadas,... su vida útil y su posible sustitución aumentando o disminuyendo los mismos.

A cada uno de ellos han sido asociados inventarios y pedidos, en la misma lógica temporal, obteniendo el siguiente diagrama.

Figura 5.1: Análisis causal



5.3.- MÉTRICAS PARA EL PLANIFICADOR

Realmente, cada vez que se efectúa un análisis de la situación de stock y pedidos se hace un balance de la situación en el instante de tiempo que hemos definido, considerando además un periodo de tiempo determinado.

Los financieros llevan años estudiando el equilibrio entre ambas partes de una igualdad, creándose toda una serie de indicadores que les sirve de referencia en el análisis. Estos indicadores, son referencias de control, fácilmente interpretables y susceptibles de servir como base de informes y de definición objetivos.

Según Carlos Javier Sanz Santolaria, (2002) los ratios constituyen la forma más tradicional de análisis de estados contables. Equivale a razón, índice, cociente o relación existente entre dos cuentas, masas o magnitudes determinadas.

Lógicamente, los elementos que son objeto de comparación han de tener alguna relación económica entre sí, porque en caso contrario el ratio no tendría ninguna significación. En nuestro caso la relación sería entre número de piezas.

Básicamente, el análisis contable pretende los siguientes objetivos:

- 1.- Conocer la situación patrimonial, económica y financiera de la empresa.
- 2.- Determinar las causas que han provocado la situación actual.
- 3.-Aconsejar líneas de actuación de cara a una posible situación de desequilibrio.
- 4.-Predecir, dentro de unos límites razonables, la evolución futura de la empresa.

Veamos la similitud con un análisis financiero:

5.3.1.- BALANCE DE INVENTARIOS

Un balance financiero tendría la siguiente forma:

Figura 5.2: Balance financiero, Fuente: Hernando Zapata

Activo (lo que tiene)	Pasivo (lo que debe)	
Inmovilizado	Capitales permanentes	Fondos propios
Existencias		Deuda a largo
Realizable Disponible	Deuda a corto	

El activo, lado izquierda de la figura, tiene que ser igual al pasivo, pues lo que se tiene debe ser igual a lo que se debe.

Existe un amplio número de ratios financieros, perfectamente documentados y utilizados en la práctica diaria del mundo empresarial, como ejemplo y recordatorio del concepto se citan a continuación tres de ellos:

1.- Financiación del inmovilizado:

$$\frac{\textit{Capitales permanentes}}{\textit{Inmovilizado}}$$

Según la bibliografía se consideran valores típicos entre 1,15 y 1,6.

2.- Ratio de liquidez, tesorería:

$$\frac{\textit{Realizable+Disponible}}{\textit{Deuda a corto}}$$

Un buen dato sería 1.

3.- Solvencia:

$$\frac{\textit{Existencias + Realizable + disponible}}{\textit{Deuda a corto}}$$

Generalmente 1,1 – 1,5.

Buscando la similitud podríamos hacer un análisis de la situación, en el momento de decidir las órdenes de fabricación:

Figura 5.3: Balance inventarios – pedidos. Fuente propia

Inventario comercializable	Pedidos	Pedidos corto plazo y retrasos
Inventario en curso ajustado		Pedidos medio
Capacidad futura Disponible	Previsión de ventas y pedidos largo plazo	

Donde a través del análisis de las distintas cuantificaciones de número de piezas, el planificador podría:

- 1.- Conocer la situación de inventarios de la fábrica, su nivel de pedidos y de previsiones de ventas.
- 2.- Determinar las causas que han conducido a la situación actual como podrían ser exceso de inventario, o fallo en las entregas.
- 3.- Investigar o estudiar líneas de actuación para buscar una futura situación de equilibrio.
- 4.- Predecir, la evolución de la situación dentro de un plazo razonable.

5.3.2.- RATIOS

Siguiendo el diagrama causal realizado en el apartado anterior vamos a construir nuestros propios ratios:

1.- Corto plazo:

$$\frac{\text{Inventario comercializable}}{\text{Pedidos corto} + \text{retrasos}}$$

2.- Medio plazo:

$$\frac{\text{Inventario comercializable} + \text{Inventario en curso ajustado}}{\text{Pedidos}}$$

Nos indica la distancia a la rotura de stock.

3.- Largo plazo:

$$\frac{\text{Capacidad futura disponible}}{\text{Previsión de ventas} + \text{pedidos largo plazo}}$$

4.- Periodos de respuesta:

$$\frac{\text{Previsión de ventas} - \text{capacidad}}{\text{Fabricación media del periodo}}$$

Nota:

$$\frac{\frac{\text{Piezas}}{\text{Piezas}}}{\text{Periodo}} = \text{Periodo}$$

Será el número de periodos que se tardará en realizar los pedidos a los que no se podría hacer frente actualmente.

5.3.3.- CUENTA DE INVENTARIOS

Para actualizar nuestro balance de inventarios y pedidos, se podría construir en cada periodo una “cuenta de resultados”.

Desde el punto de vista financiero:

Debe	Haber
-------------	--------------

Compras	Ventas
---------	--------

Gastos	
--------	--

Beneficio	
-----------	--

Desde el punto de vista de la planificación, podríamos escribir:

Debe	Haber
Pedidos	Stocks
	Órdenes de fabricación (se apuntan aunque no se sirva en el periodo)

Ejemplo:

Debe	Haber
Pedidos 80 (gastos 80)	Stock + órdenes = 100 (ingresos 100)

Incremento stock: 20 (beneficios 20)

Debe	Haber
Pedidos 100(gastos 100)	Stock + órdenes= 80 (ingresos 80)

Backlog o retraso: 20 sin servir (Perdidas 20)

Continuando con la similitud podría decirse que:

$$\text{Balance en } t + \text{Cuenta de resultados} = \text{Balance en } t+1$$

$$\text{Planificación en } t + \text{Cuenta de pedidos} = \text{Planificación en } t+1$$

5.3.4.- CAPACIDAD FUTURA Y AMORTIZACIÓN

Como es posible intuir, la capacidad de suministro en un periodo determinado será la suma de inventarios ajustados más la capacidad de producir nuevas piezas ajustadas a las expectativas o piezas ajustadas.

Desde un punto de vista financiero la amortización:

Aparece en el debe de la cuenta de resultados

Aparece en el activo del balance (lo que tiene)

Para explicar el concepto lo más indicado es apoyarse en un ejemplo: supongamos que tenemos unos moldes instalados en el taller m, este número de moldes multiplicado por la vida útil de cada molde nos determina la capacidad futura disponible. (Por ejemplo en la industria del sanitario la vida de algunos moldes está limitada a 100 piezas).

Cada vez que se cuele una pieza, disminuye la capacidad futura de producción, pues el molde se gasta. Es decir, se amortiza el molde. Este factor deberá tenerse en cuenta, pues aunque se suponga que los moldes serán repuestos automáticamente, tendrán que proveerse las órdenes oportunas de fabricación de moldes y tener en cuenta el tiempo de parada para el cambio de los mismos que en algunos casos puede ser de varios días.

5.3.4.1.- CUENTA DE RESULTADOS

Debe	Haber
Compras	Ventas
Gastos	
Amortización 10	

Beneficio	

5.3.4.2.- BALANCE

Activo	Pasivo
Inmovilizado 100	Capitales permanentes
(Amortización acumulada 10)	
Inmovilizado 90	

Existencias	

Realizable disponible	Deuda a corto

TOTAL ACTIVO

TOTAL PASIVO

Desde el punto de vista del planificador:

Balance en t:

Supongamos que tenemos 8 moldes que llevan 70 coladas, luego la capacidad futura disponible en el taller m es: 100 coladas final de vida – 70 coladas realizadas hasta ahora = 30 coladas disponibles. Como tenemos 8 moldes: 240 de capacidad futura disponible.

Figura 5.4: Ejemplo Balance inventario, capacidad – Pedidos, Fuente propia.

Inventario comercializable	Pedidos	Pedidos corto plazo y retrasos
Inventario en curso ajustado		Pedidos medio
Capacidad futura Disponible 240 piezas	Previsión de ventas y pedidos largo plazo	

Cuenta de resultados en t+1

Debe	Haber
Pedidos	Stocks
Coladas 10	Órdenes de fabricación (se apuntan aunque no se sirva en el periodo)

Observar que “coladas 10” significa que para mantener la capacidad futura, se deberán suministrar en el momento correcto los correspondientes moldes, es decir para mantener la capacidad, debemos esas coladas.

En este caso se restarán 8 moldes por 10 coladas: 80 piezas, por lo tanto quedarán 160 piezas.

Figura 5.5: Ejemplo Balance en t+1 inventario, capacidad – Pedidos, Fuente propia

Inventario comercializable	Pedidos	Pedidos corto plazo y retrasos
Inventario en curso ajustado		Pedidos medio
Capacidad futura Disponible 160 piezas	Previsión de ventas y pedidos largo plazo	

El planificador en función del balance, tendrá que decidir si aumenta el número de moldes, agota la vida de los mismos o los renueva si llegan al final de su vida útil, teniendo en cuenta el tiempo de cambio de moldes.

Durante la obtención de beneficios, la inversión se recupera vía amortización.

En los periodos en los que se tengan ventas se necesitan más moldes, los moldes se recuperan, los moldes se convierten en piezas para los clientes.

5.3.5.- INVENTARIO DE MANIOBRA

Desde el punto de vista financiero, podría definirse como el valor que nos revela la capacidad que tiene una empresa para continuar con el normal desarrollo de sus actividades en el corto plazo.

Definido como: Fondo de maniobra = Capitales permanentes – Inmovilizado.

Figura 5.6: Fondo de maniobra financiero. Fuente: Hernando Zapata

Inmovilizado	Capitales permanentes	Fondos propios
<i>Fondo de maniobra</i>		Deuda a largo
Existencias	Deuda a corto	
Realizable Disponible		

Para el planificador: Inventario de maniobra = Inventario comercializable – pedidos. En este esquema es negativo.

Figura 5.6: Inventario de maniobra. Fuente propia

Inventario comercializable	Pedidos	Pedidos corto plazo y retrasos
<i>Inventario de maniobra</i>		Pedidos medio
Inventario en curso ajustado	Previsión de ventas y pedidos largo plazo	
Capacidad futura Disponible		

Aquí también podrá definirse como sigue:

- Aquella parte de los pedidos que está cubierta por el stock en curso.
- Inventario en curso ajustado + Capacidad futura disponible – previsión de ventas.

5.4.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIACIÓN DEMANDA

5.4.1.- DESARROLLO

Se supondrá que en el periodo t+1 hay una variación en la demanda y que tenemos que variar el nivel de producción. Dos supuestos:

1.- No se incrementa el nivel de inventario de productos comercializable:

Variables:

D_{t+1}^1 Demanda para el periodo t+1

P_t^1 Piezas entregadas en el periodo t

P_{t+1}^1 Producción solicitada para el periodo t+1

Y Variación porcentual demanda respecto producción periodo anterior

Al variar la demanda, varía el número de piezas a producir en el periodo de tiempo asignado, por lo que aumenta el flujo de éstas, luego tendrán que fabricarse:

- Las piezas para el nuevo periodo D_{t+1}^1

- Las piezas para la variación del stock en curso, que lo calcularemos del inventario ajustado y que como hemos deducido es:

$$I_{a(t+1)} = \frac{P_{(t+1)}^1}{R_t}$$

Luego la variación de inventario ajustado será:

$$I_{at} - I_{a(t+1)} = \Delta I_a = \frac{P_{(t+1)}^1 - P_t^1}{R_t}$$

En este supuesto, como no hay variación del inventario de producto comercializable, la demanda D_{t+1}^1 y la producción del taller P1, en el periodo (t+1) coinciden. Luego las piezas a fabricar equivalentes en P1 en el periodo t+1, será la suma:

$$P_{t+1}^1 = D_{t+1}^1 + \frac{D_{t+1}^1 - P_t^1}{R_t}$$

$$P_{t+1}^1 = \frac{D_{t+1}^1(R_t + 1) - P_t^1}{R_t}$$

$$\frac{P_{t+1}^1}{P_t^1} = \frac{D_{t+1}^1(R_t + 1)}{P_t^1 R_t} - 1$$

$$\frac{P_{t+1}^1}{P_t^1} = \frac{Y(R_t + 1)}{R_t} - 1$$

$$\frac{P_{t+1}^1}{P_t^1} = Y + \frac{Y}{R_t} - \frac{1}{R_t} = Y + \frac{Y - 1}{R_t}$$

Si la rotación es tendida a infinito la variación de las órdenes de producción dependen exclusivamente de la variación de la demanda. Es decir a mayor rotación menor es la distorsión del sistema de producción a las variaciones de la demanda.

2.- Se incrementa o se disminuye el inventario de productos comercializable: En este caso incrementamos la demanda en el número de unidades requeridas por el almacén de productos terminados.

5.4.1.1.- CASO ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Suponiendo estar en una situación estable de pedidos de 46.117 piezas, que como ya se ha visto, suponen fabricar 56.309 piezas en el taller M. Para el siguiente periodo de planificación se deberán entregar al almacén 70.000 piezas.

Periodo	t		
Pedidos		46117	
Incremento comercializables		0	
Producción a entregar apt		46117	
Incremento ajustado en curso		0	<i>Inventario ajustado en curso</i> 10675
Total piezas equivalentes P1		46117	
Rendimiento		0,819	
Total ordenes generadas a m		56309	
Periodo	t+1		
Pedidos	Dt+1	70000	<i>Incremento</i> 51,79%
Incremento comercializables		0	
Producción a entregar apt		70000	
Incremento ajustado en curso		5528	<i>Inventario ajustado en curso</i> 16203
Total piezas equivalentes P1		75528	
Rendimiento		0,819	
Total ordenes generadas a m		92221	<i>Incremento</i> 63,78%

En el ejemplo es posible observar que un incremento de la demanda de un 51.79% supone un aumento de la producción del 63.78%.

Se procederá a efectuar una simulación, suponiendo diferentes rotaciones y diferentes variaciones de la demanda. P1 = 75528 unidades.

Rotación: 1,44

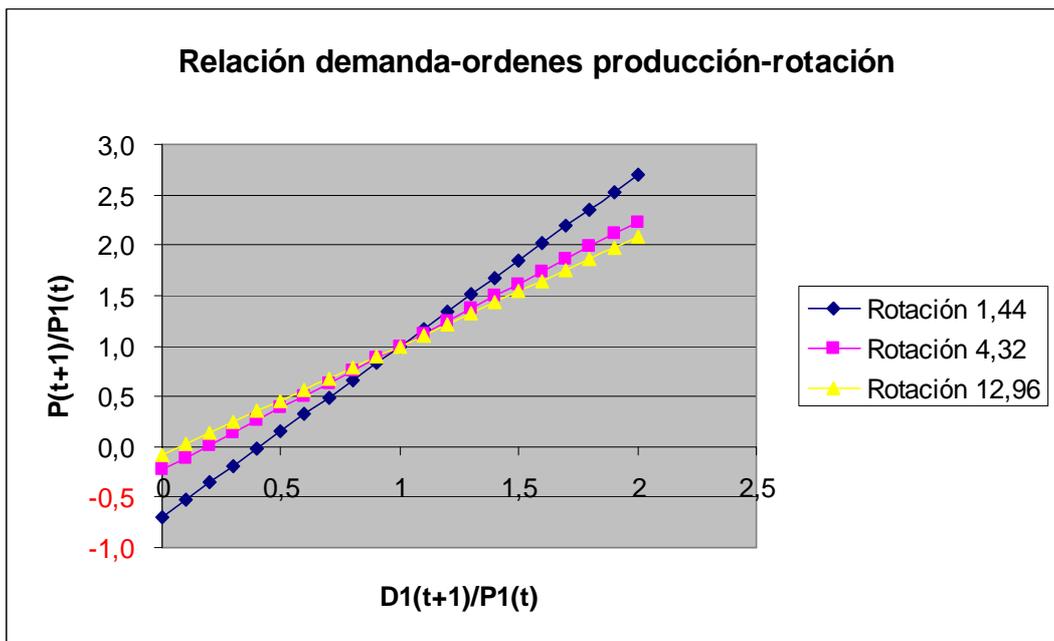
Rotación: 4,32

Rotación: 12,96

R =	1,44	4,32	12,96	1,44	4,32	12,96	
X=D1(t+1)/P1	P(t+1)/P1t	P(t+1)/P1t	P(t+1)/P1t	P(t+1)	P(t+1)	P(t+1)	
	2	2,7	2,2	2,1	203504	168539	156884
	1,9	2,5	2,1	2,0	190706	159238	148748
	1,8	2,4	2,0	1,9	177909	149937	140613
	1,7	2,2	1,9	1,8	165111	140636	132477
	1,6	2,0	1,7	1,6	152314	131335	124342
	1,5	1,8	1,6	1,5	139516	122034	116206
	1,4	1,7	1,5	1,4	126718	112733	108071
	1,3	1,5	1,4	1,3	113921	103431	99935
	1,2	1,3	1,2	1,2	101123	94130	91799
	1,1	1,2	1,1	1,1	88326	84829	83664
	1	1,0	1,0	1,0	75528	75528	75528
	0,9	0,8	0,9	0,9	62731	66227	67393
	0,8	0,7	0,8	0,8	49933	56926	59257
	0,7	0,5	0,6	0,7	37136	47625	51122
	0,6	0,3	0,5	0,6	24338	38324	42986
	0,5	0,2	0,4	0,5	11540	29023	34850
	0,4	-0,0	0,3	0,4	-1257	19722	26715
	0,3	-0,2	0,1	0,2	-14055	10421	18579
	0,2	-0,4	0,0	0,1	-26852	1120	10444
	0,1	-0,5	-0,1	0,0	-39650	-8181	2308
	0	-0,7	-0,2	-0,1	-52447	-17482	-5827

Los valores negativos, indican ausencia de órdenes de producción al sistema, volcando piezas al almacén de productos terminados como consecuencia de piezas sobrantes de los inventarios en curso.

Gráfico 5.2: Relación demanda – órdenes producción-rotación



En la figura puede observarse que a menor rotación (más inventario en curso) mayor en la inercia del sistema.

5.5. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TRADICIONAL

5.5.1.- INTRODUCCIÓN

Una vez que el planificador ha hecho balance de la situación, auxiliándose de las herramientas o indicadores que se han descrito anteriormente, lanza las órdenes de fabricación a los diferentes talleres.

Sin embargo, y puesto que estamos en procesos estocásticos, se encuentra con un nuevo reto: ¿Hasta qué punto las órdenes de producción se convertirán en piezas disponibles para el cliente final?

Muchas de las decisiones tomadas están influenciadas por diferentes factores, individuales o colectivas, que en la cascada de gerentes puede modificar el supuesto valor de los parámetros de decisión de la planificación.

Roger G. (1992) dice: “son pocas las organizaciones que producen en forma rutinaria los pronósticos de probabilidades (...), esto se debe a que no se reconoce la incertidumbre que existe y a que realmente no se ataca el problema (...). Las tendencias y la desviación son dos tipos de errores muy comunes. Se deben observar ambos errores rutinariamente para controlar la exactitud de los pronósticos”.

Son muchos los métodos factibles para evaluar los errores de evaluación de los sistemas de planificación. Se observarán en este documento dos de fácil implantación: estimación por intervalos de confianza y cálculo de líneas de tendencia; ambas fácilmente aplicables mediante la utilización de hojas de cálculo.

Para evaluar el grado de confianza del sistema lo mejor será analizar las series históricas de cumplimiento de la demanda solicitada comparándola con el real realizado.

Para ello nos basaremos en el Teorema central límite que Antonio Carrillo Espartero (2002) en una de sus lecturas define: “ Si una variable aleatoria toma valores como consecuencia de una gran cantidad de causas independientes, que actúan sumando

sus efectos, siendo cada efecto individual de escasa importancia frente al resto, es de esperar que tales valores sigan una distribución normal”.

El teorema demuestra que aunque una variable aleatoria X no se ajuste a una distribución normal, si las muestras son de suficiente tamaño ($n > 30$), las medias muestrales son normales $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$, donde μ es la media de la población, σ la varianza y n el tamaño de la muestra.

Gosset, trabajando con muestras pequeñas en la fábrica de cervezas Guinness propone que para muestras pequeñas, menor de 30 elementos, las medias muestrales se ajustan a la distribución de Student que él mismo definió.

5.5.2.- ESTIMACIÓN POR INTERVALOS DE CONFIANZA

Desde el punto de vista estadístico, se supondrá que el planificador estará trabajando con muestras, puesto que el flujo de piezas al almacén de productos terminados se considera continuo, y, sin embargo, los datos los toma en cada uno de los intervalos definidos “ t ”. Puesto que hay abundante bibliografía sobre este apartado, sería tedioso concentrarse en demostraciones teóricas, por lo que se verá la utilidad del sistema mediante un caso:

Variables:

n : tamaño de la muestra o periodos considerados.

G_m : gap o desviación media de la muestra

O_i : órdenes fabricación solicitadas al taller $P1$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$P1_i$: material real fabricado en cada periodo i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

σ : desviación típica muestra distribución normal

S : cuasidesviación típica muestral, Student

Sea O_i , una serie de órdenes solicitadas al taller $P1$, que generará las correspondientes órdenes de fabricación al resto de los talleres, y $P1_i$ la serie de producciones realmente

realizadas. Definiremos como desviación o gap G_i a la diferencia entre lo planificado y lo realizado:

$$G_i = P_i - O_i$$

De la serie histórica podrá obtenerse la media de la desviación G_m , y su desviación σ así para dar aproximadamente $100(1-\alpha)$ % de confianza.

Si la muestra es suficientemente grande, justificado por el Teorema Central del Límite el valor crítico $z_\alpha = \Phi^{-1}(1 - \alpha)$, es la inversa de la distribución normal estándar. Donde por ejemplo para $\alpha = 5\%$, $z_\alpha \approx 1,64$ y para $\alpha = 1\%$, $z_\alpha \approx 2,33$.

$$G_m - z_\alpha \sigma / \sqrt{n} ; G_m + z_\alpha \sigma / \sqrt{n}$$

Igualmente para la distribución de Student.

$$G_m - t_\alpha S / \sqrt{n} ; G_m + t_\alpha S / \sqrt{n}$$

Observar que al aumentar el tamaño de la muestra disminuye la incertidumbre.

5.5.2.1.- CASO

Sea la serie histórica de datos de los últimos doce meses:

Meses	Ordenes	P1	Diferencia	Dif-media	Cuadrado
1	4000	3500	-500	-823	678074
2	4000	3800	-200	-523	274002
3	4000	4000	0	-323	104621
4	4000	3800	-200	-523	274002
5	2600	4000	1400	1077	1158955
6	3000	3800	800	477	227098
7	3000	4000	1000	677	457717
8	300	250	-50	-373	139467
9	3200	3400	200	-123	15241
10	3600	4000	400	77	5860
11	2831	3800	969	646	417286
12	1938	2000	62	-261	68357
Medias	3039	3363	323		
Suma (Dif-media) ²					3820679
Varianza = Suma (Dif-media) ² (n*(n-1))					28945
Desviación típica					170

Puesto que el tamaño es de 12, menor de 30, será una distribución de Student con 11 grados de libertad y al 95% de confianza de tablas: $t_{\alpha=0,05}(n-1 = 11 \text{ g.l.}) = 1,796$.

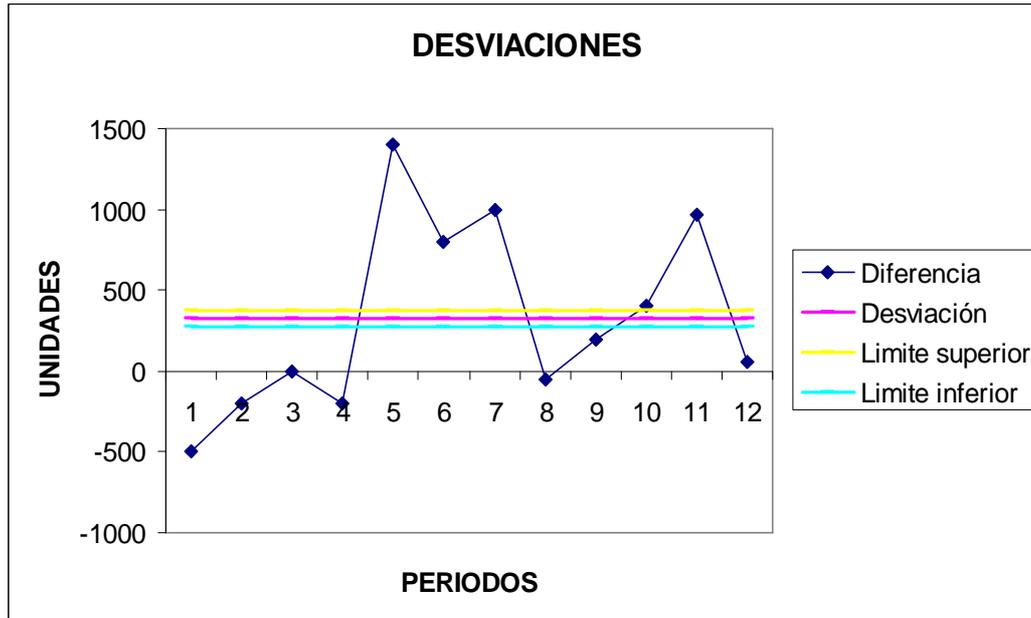
Desviación media: 323 unidades

Y al 95% de probabilidades:

$$\text{Límite superior: } Gm + t_{\alpha=0,05} S/\sqrt{n} = 411$$

$$\text{Límite inferior: } Gm - t_{\alpha=0,05} S/\sqrt{n} = 235$$

Gráfico 5.3: Ejemplo desviaciones

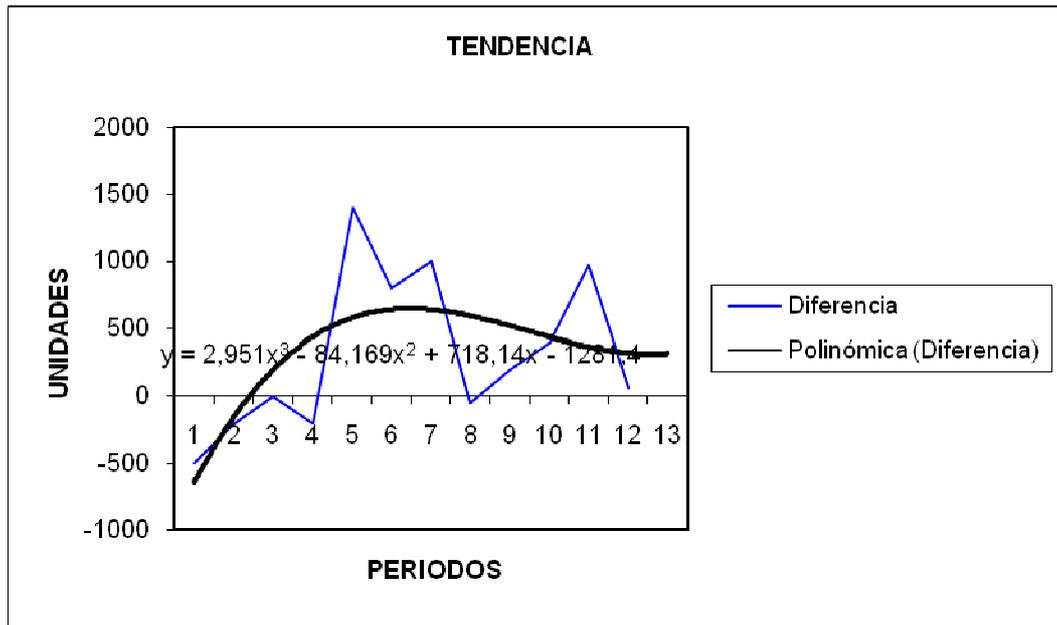


La interpretación sería la que sigue: esta fábrica, con esta pieza y con estos volúmenes de producción en concreto, en un 95% de probabilidades produce entre 235 y 411 piezas más de lo solicitado.

5.5.3.- LÍNEA DE TENDENCIA

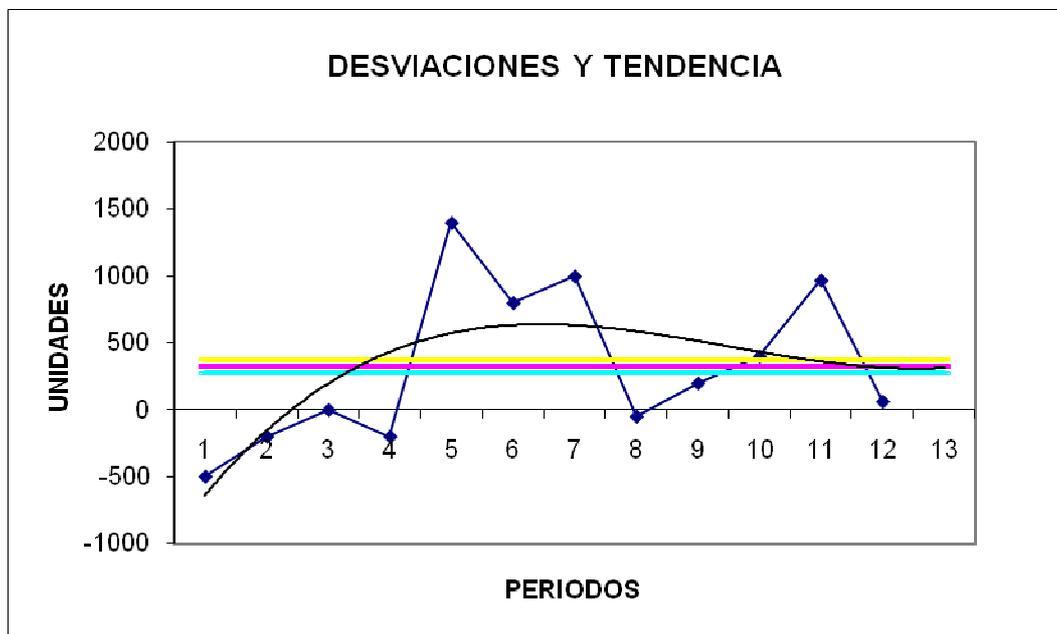
Con la ayuda de la informática es muy fácil mostrar una línea de tendencia⁶ de los datos para analizar los problemas de predicción. En este caso se continúa con el ejemplo y Excel ha calculado el periodo siguiente de la serie histórica, calculando una línea de tendencia de grado tres.

Gráfico 5.4: Caso línea de tendencia.



Superponiendo los dos sistemas seleccionados en el mismo gráfico, se observa que los resultados coinciden:

Gráfico 5.5: Ejemplo línea de desviaciones y línea de tendencia.



⁶ <http://office.microsoft.com/es-es/excel-help/agregar-una-linea-de-tendencia-a-un-grafico-HP005198462.aspx>

CAPÍTULO 6: PLANIFICACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

6.1.- DEFINICIÓN CAPACIDAD FUTURA DISPONIBLE

Los inventarios son piezas físicas en un determinado momento.

Los pedidos son expectativas que convertirán en piezas en un futuro.

La capacidad son expectativas que se convertirán en piezas en un futuro

Puesto que son expectativas es preciso un horizonte temporal donde definir la cuantía del inventario futuro.

La capacidad futura disponible ajustada, para el periodo considerado, depende del número de moldes que tenemos instalados en el taller de colado, de la vida disponible de los mismos y del número de coladas que seamos capaces de hacer en el periodo y del rendimiento de la pieza aguas abajo.

Figura 6.1: Capacidad futura disponible, fuente propia.

Inventario comercializable	Pedidos	Pedidos corto plazo y retrasos
Inventario en curso ajustado		Pedidos medio
Capacidad futura Disponible	Previsión de ventas y pedidos largo plazo	

Lo que va a considerarse realmente es un INVENTARIO de moldes ajustados, de tal modo que la capacidad futura en un periodo de tiempo t, serán los moldes ajustados por la producción por unidad de tiempo de los mismos.

Es decir el número de moldes instalados por el rendimiento de la factoría para ese modelo por el número de coladas disponibles en el periodo considerado.

Sin embargo, el rendimiento varía con el tiempo, de una forma estocástica, de tal forma que para el planificador es realmente difícil decidir el número de moldes que tiene que

poner a trabajar para optimizar los resultados de sus decisiones, puesto que tiene que tener en cuenta, junto con otros factores:

- .- Capacidad disponible
- .- Piezas necesarias al final del proceso
- .- Precio de venta
- .- Penalización no servicio
- .- Precio de almacenaje
- .- Costes de fabricación
- .- Rendimiento del proceso

En las siguientes líneas se estudiará la influencia del rendimiento en los resultados finales y la provisión de las herramientas necesarias para encontrar la solución óptima a pesar de la variabilidad del proceso.

6.2.- GRÁFICA DE RENDIMIENTOS

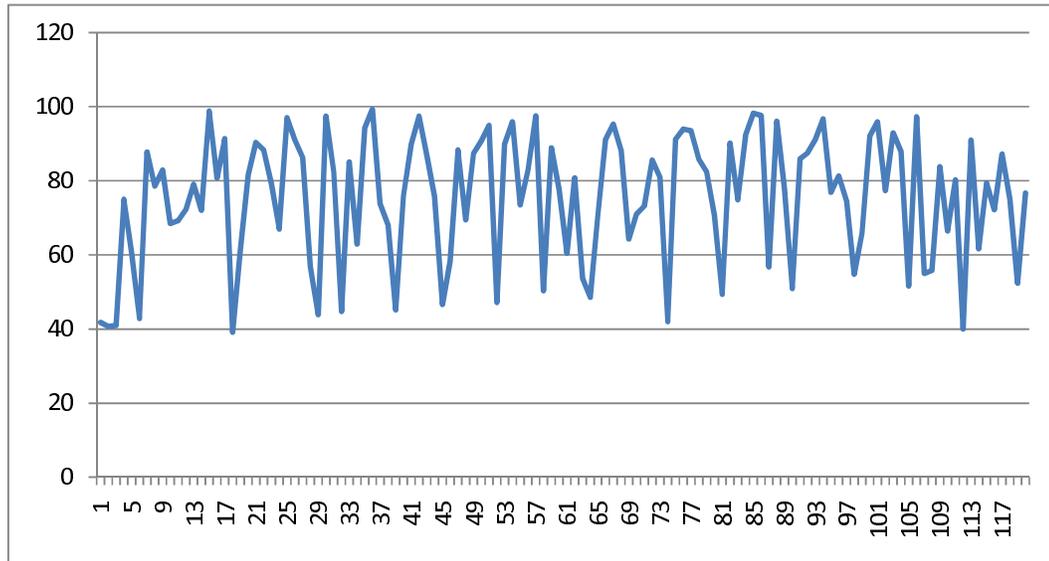
Para intentar definir el rendimiento futuro de un determinado modelo será necesario basarse en sus rendimientos históricos ya que, excepto si tenemos un cambio radical en el proceso, convenientemente tratados es la mejor forma de poder hacer proyecciones futuras.

Cada uno de los datos rendimientos ρ_i es tomado como media de un periodo elemental de duración t .

La suma de todos los periodos elementales t , es el periodo T de estudio que nos dará los datos para las proyecciones futuras.

En la figura se observa el rendimiento de una pieza dividido en periodos, en este caso 120 periodos. Como se percibe, prácticamente tenemos tantos resultados como periodos, es decir, basándonos en la serie histórica existirían 120 escenarios o resultados posibles, es decir 120 capacidades posibles.

Gráfico 6.1: Caso temporal de rendimientos, fuente propia



Por razones obvias de tratamiento de la información, como capacidad de computación, deberá disminuirse el número de escenarios.

Una forma de facilitar la interpretación y gestión de los mismos es ordenarlos de mayor a menor.

6.2.1.- GRÁFICA DE RENDIMIENTOS MONÓTONOS

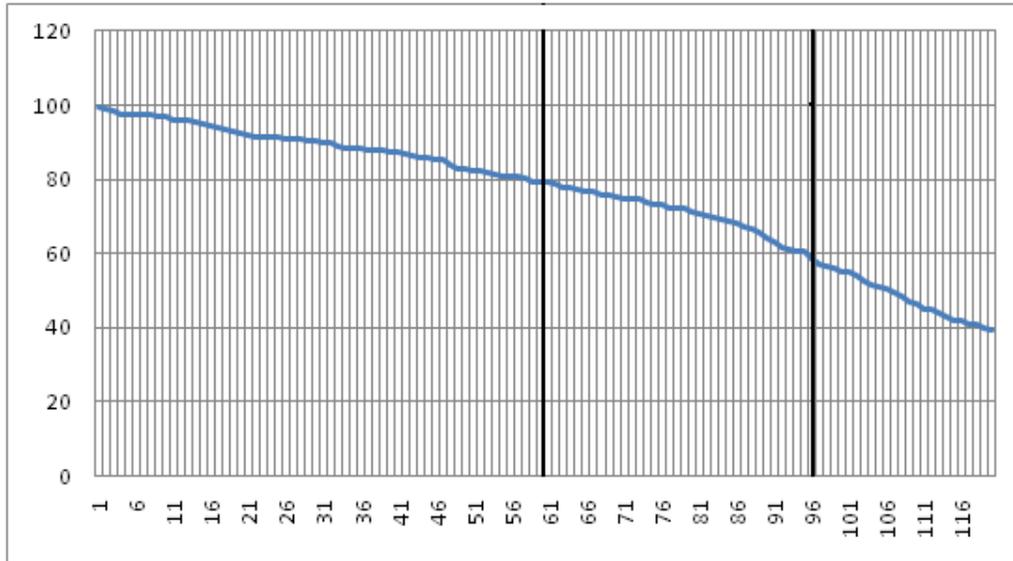
Una vez ordenados todos los datos de forma creciente o decreciente, se divide el periodo T en sub-periodos $T_1, T_2, (\dots)$ cada uno compuesto de varios periodos elementales “ t ” de los que extraeremos unos parámetros que representarán a cada uno de estos subconjuntos de valores.

Al conjunto de valores de cada sub-periodo serán representados mediante su media.

Se forma un gráfico de rendimientos monótonos⁷:

⁷ Gráfico de rendimientos monótonos: Hay un excelente trabajo editado en la obra Optimización bajo incertidumbre 2008. Andres Ramos A. Pagés, de: N. Nabona, D. Eager. Re TOBI 2008. U.P. Comillas, Capitulo 15 Modelado de la Generación eólica en la planificación de la generación a medio plazo en un mercado liberalizado Páginas 329-357. Donde aplica de este concepto con claridad de exposición.

Gráfica 6.2: Caso de rendimientos monótonos



La relación $T1/T$ representa la probabilidad de ocurrencia del escenario 1 que denominaremos PR_{s1} .

De esta forma podrán agruparse fácilmente los datos. En nuestro ejemplo, podrían agruparse de forma sencilla los datos en tres tipos de escenarios, optimista, medio y pesimista. En la figura, un rendimiento medio de 90% para 60 periodos, otro tramo de 36 periodos con 70% y los 24 periodos restantes con un rendimiento medio del 30%. Es decir, una probabilidad de 0.5 de tener un rendimiento del 90%, una probabilidad del 0.3 de tener un rendimiento del 70% y 0.2 de probabilidad para un rendimiento del 48 %.

6.3.- DEFINICIÓN DE VARIABLES

Definición de variables:

PR_{sc} : Probabilidad del escenario sc

i : Tipo de molde que identifica el modelo

k : Fila o filas de moldes o máquinas que son susceptibles de montar moldes de tipo i

n : número máximo de moldes susceptibles de montarse del tipo k en nuestras instalaciones.

t : Periodo considerado

ρ : Rendimiento de la pieza

π_t^{ik} : Proporción de moldes del producto i en la máquina k en el periodo t . Asumiremos $\pi_t^{ik} = 1$ a menos que establezcamos otra cosa.

C_t^{ik} es la máxima rotación o número de piezas suministradas del molde i que puede ser producido en la máquina k en el periodo t .

L_t^k es la máxima capacidad de la máquina k en el periodo t .

a_t^{ik} es la capacidad necesaria por unidad del molde i de la máquina k en el periodo t . Es el tanto por uno de utilización del molde en función de las necesidades.

b_t^{ik} es la pérdida de capacidad de la máquina k si es ajustada para colocar el molde i en el periodo t .

$y_t^{ik} = 1$, si la máquina k está disponible para producir la pieza i en t , igual a cero en caso contrario.

x_t^{ik} es la producción del molde i en la máquina k en el periodo t .

s_t^i es el inventario en el almacén del producto i , al final del periodo t .

i_t^i es el inventario en curso ajustado del producto i , al final del periodo t .

d_t^i : que corresponde a retrasos, pedidos a corto y medio plazo del producto i en el momento t

p_t^i : que corresponde a pedidos largo plazo y previsiones de ventas en el periodo t .

6.4.- MODELO

Las limitaciones mínimas en la que varios moldes están colocados en varias máquinas, es decir, que uno o varios productos son producidos en una o varias máquinas durante un periodo de tiempo son:

1.- El inventario comercializable más el inventario ajustado en curso más la capacidad ajustada disponible (suma de la producción ajustada de todas las máquinas que producen la pieza i), tiene que ser igual a la demanda más las previsiones de venta en el periodo considerado.

$$s_{t-1}^i + i_{t-1}^i + \sum_k \rho_t^{ik} x_t^{ik} = d_t^i + p_t^i$$

Para todo i,t

2.- La producción del producto i en la máquina k in el tiempo t será menor o igual a la máxima cantidad de producto i que puede ser producido en la máquina k en el periodo t, si la máquina está disponible.

$$x_t^{ik} \leq C_t^{ik} y_t^{ik}$$

\forall i, k, t.

3.- La capacidad necesaria por unidad de molde por la producción del molde i más la pérdida de capacidad como consecuencia de un cambio y ajuste de moldes debe ser igual a la capacidad máxima de la máquina.

$$\sum_i a_t^{ik} x_t^{ik} + \sum_i b_t^{ik} y_t^{ik} \leq L_t^k$$

Para todo k,t

$x,s,r \geq 0$, $y \in \{0, 1\}$

4.- La suma de los diferentes moldes instalados en la máquina k debe ser inferior a su capacidad de moldes.

$$\sum_{i=1}^M m_t^{ik} \leq M_t^{ik}$$

Cuando se realiza un cambio de moldes, en el periodo considerado, deberá tenerse en cuenta el costo o tiempo de cambio de moldes y ajuste de la máquina.

6.5.- REPARTO CAPACIDAD EN EL PROCESO INICIAL

6.5.1.- FUNCIÓN OBJETIVO

Si el objetivo supuesto es optimizar el reparto o mix de producción para obtener el mayor beneficio posible, la función objetivo a minimizar será:

Gastos menos ingresos

c_i : costes de fabricación del modelo i

x_t^{ik} es la producción del molde i en la máquina k en el periodo t.

n: número máximo de moldes susceptibles de montarse del tipo k en nuestras instalaciones.

PR_{is} : Probabilidad del escenario s, de la pieza i

S : número máximo de escenarios

p_i : penalización no servicio pieza i

x_{nis} : piezas no servidas del modelo i en el escenario s

x_{ais} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

a_i : coste de almacenamiento del modelo i

p_{vi} : precio de venta del modelo i

x_{vis} : piezas vendidas del modelo i en el escenario s :

$$\sum_{i=1}^n c_i x_t^{ik} + \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^n PR_{is} (p_i x_{nis} + a_i x_{ais} - p_v x_{vis})$$

La suma del valor de cada pieza por el número de ellas producidas más la suma de la probabilidades de cada escenario por la penalización de piezas no servidas en cada escenario por el número de ellas, más el precio de almacenaje por el número de piezas almacenadas en cada escenario menos el precio de venta por el número de piezas vendidas, en cada escenario.

6.5.2.- RESTRICCIONES

1.- La capacidad necesaria por unidad de molde por la producción del molde x más la pérdida de capacidad como consecuencia de un cambio y ajuste de moldes debe ser igual a la capacidad máxima de la máquina.

$$\sum_i a_t^{ik} x_t^{ik} + \sum_i b_t^{ik} y_t^{ik} \leq L_t^k$$

Para todo k, t

$$x, x, r \geq 0, \text{ y } \in \{0, 1\}$$

2.- Para cada uno de los modelos, el rendimiento en cada escenario por el número de moldes colocados, (común para todos los escenarios) más el número de piezas no servidas será mayor o igual al número de las piezas necesarias.

p_{is} : Rendimiento de la pieza i en el escenario s

x_{nis} : piezas no servidas del modelo i , en el escenario s

p_{ni} : piezas necesarias del modelo i .

$$\rho_{is}x_t^{ik} + x_{nis} \geq p_{ni}$$

Para todo i,s .

3.- Para cada uno de los modelos, las piezas vendidas más las almacenadas menos el rendimiento en cada uno de los escenarios por el número de moldes colocados, (común para todos los escenarios) tiene que ser cero.

x_{vis} : piezas vendidas del modelo i en el escenario s

x_{ais} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

$$x_{vsi} + x_{ais} - \rho_{is}x_t^{ik} = 0$$

Para todo i,s .

4.- Las piezas vendidas en cada uno de los escenarios serán menores o iguales a las necesarias.

$$x_{vsi} \leq p_{ni}$$

5.- Todas las variables serán mayores que cero.

$$x_t^{ik}, x_{nis}, x_{vis}, x_{ais} \geq 0$$

6.6.- SOFTWARE

Como herramientas de computación se ha utilizado el programa Solver, asociado a una hoja de cálculo Excel de Microsoft, por su facilidad de implantación, utilización y gratuidad de implantación para su versiones más básicas, aunque suficientes en la mayoría de las aplicaciones, si se tiene la licencia de Excel Microsoft.

De los programas de amplia utilización científica, Victor Zverovich (2009), XPRESS, AIMMS, y GAMS, se ha seleccionado este último, casi un estándar utilizado en este tipo de problemas a nivel de investigación como ASEPUMA (Asociación Española de profesores Universitarios de matemáticas para la economía y la empresa) y la Universidad de Comillas, referencia en este tipo de estudios en España.

En las secciones dedicadas a simulación mediante Monte Carlo y minimización del error en la elección de escenarios se ha utilizado Risk Solver Platform, programa no gratuito pero utilizado en modalidad de prueba para la ejecución de los casos.

Por razones de ahorro de espacio no se acompaña en el anexo los listados la totalidad de los programas, aunque si los casos más representativos.

6.7.- CASO

Para demostrar la bondad del sistema de optimización bajo incertidumbre, se desarrolla a continuación el modelo acompañado de un caso:

Suponiendo tener una demanda de tres modelos determinados, cuyos rendimientos se desarrollan bajo tres escenarios distintos. Por simplicidad se supondrá que el número de moldes o capacidad coincide con el número de piezas realizadas en el taller M.

Siguiendo con el ejemplo, se supone que deberán fabricarse 3 modelos, x_1 , x_2 , y x_3 . De los cuales existe una demanda d_1 , d_2 , d_3 , los costes de producción de cada modelo son c_1 , c_2 , c_3 , los costes de almacenamiento serán: a_1 , a_2 , a_3 y los costes de penalización en caso de incumplimiento de pedidos serán p_1 , p_2 , p_3 .

6.7.1.- OPTIMIZACIÓN PROGRAMACIÓN LINEAL

Siguiendo la terminología definida en el apartado anterior y mediante programación lineal utilizando las herramientas definidas se dispone de:

6.7.1.1.- ESCENARIO 1

Moldes totales	1200					
	Piezas neces	Precio venta	Penalización no servicio	Precio almacenaje	Rendimiento	Costes fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,75	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,5	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,65	18

Utilizando el software Solver:

Figura 6.2: Parámetros Solver.

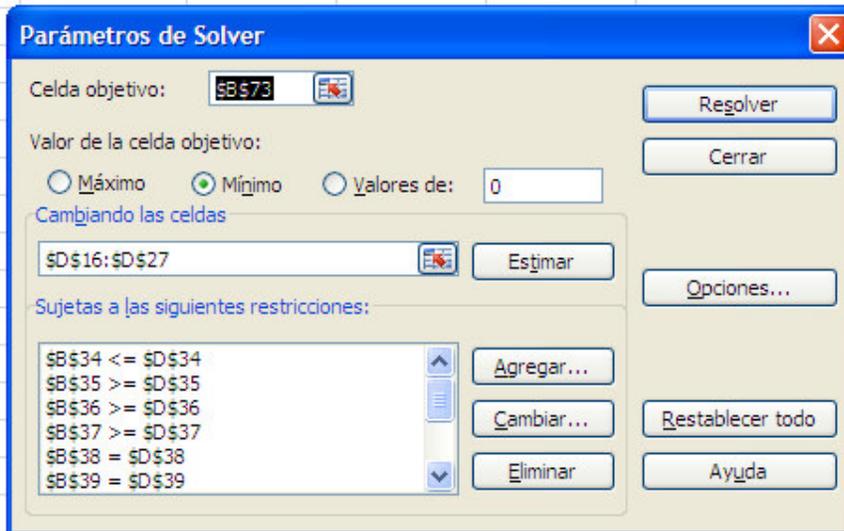
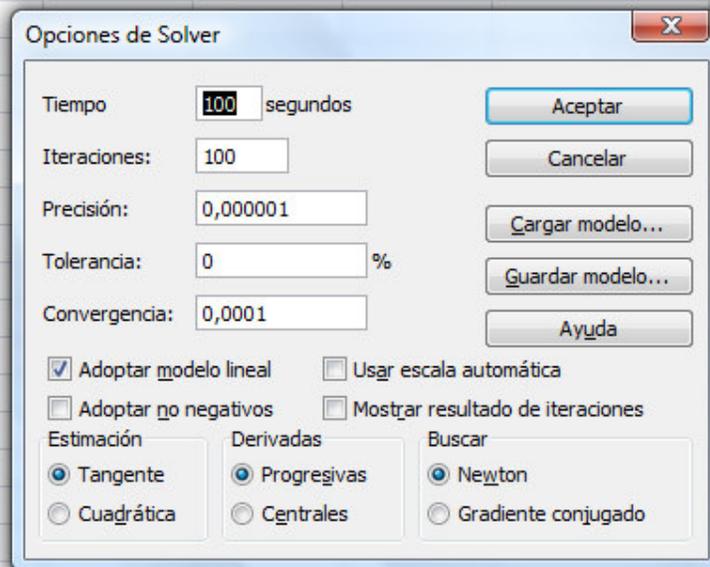


Figura 6.3: Opciones de Solver



Variables			
Número moldes	Pieza tipo 1	x1	266,6666667
Número moldes	Pieza tipo 2	x2	480
Número moldes	Pieza tipo 3	x3	453,3333333
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y1	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y2	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y3	205,3333333
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w1	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w2	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w3	294,6666667
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z1	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z2	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z3	0

Restricciones:			
x1+x2+x3	1200 <=	1200	Producción taller M modelos tipo k <= capacidad
	200 >=	200	Rendimiento1 x moldes 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1
	240 >=	240	Rendimiento2 x moldes 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2
	500 >=	500	Rendimiento3 x moldes 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3
	0 =	0	piezas vendidas 1 + almacenadas 1 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0
	200 <=	200	piezas vendidas 1 <= piezas necesarias tipo 1
	240 <=	240	piezas vendidas 2 <= piezas necesarias tipo 2
	295 <=	500	Piezas vendidas 3 <= piezas necesarias tipo 3
x1	267 >=	0	
x2	480 >=	0	
x3	453 >=	0	
y1	0 >=	0	
y2	0 >=	0	
y3	205 >=	0	
w1	200 >=	0	
w11	0 >=	0	
w2	240 >=	0	
w22	0 >=	0	
w3	295 >=	0	
w33	0 >=	0	

La función objetivo a minimizar se define como:

$$\begin{aligned}
 & \text{Gastos - ingresos} = \\
 & + \text{Costes fabricación pieza 1 x moldes 1} \\
 & + \text{Costes fabricación pieza 2 x moldes 2} \\
 & + \text{Costes fabricación pieza 3 x moldes 3} \\
 & + \text{Penalización pieza1 x piezas1 no servidas} \\
 & + \text{Penalización pieza2 x piezas2 no servidas} \\
 & + \text{Penalización pieza3 x piezas3 no servidas}
 \end{aligned}$$

- + Piezas 1 almacenadas x precio almacenaje piezas 1
- + Piezas 2 almacenadas x precio almacenaje piezas 2
- + Piezas 3 almacenadas x precio almacenaje piezas 3
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas

Resultado: -7568

Puesto que está minimizándose la función, son costes mínimos, es decir sus opuestos beneficios máximos, en este caso concreto: 7568 unidades monetarias de beneficio.

El resumen del caso estudiado en el presente documento sería:

Escenario 1	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	267	200
Piezas tipo 2	240	480	240
Piezas tipo 3	500	453	295
suma	940	1200	735
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	200	0	0
Piezas tipo 2	240	0	0
Piezas tipo 3	295	205	0
suma	735	205	0
Beneficio	7568		

El resultado del programa de optimización en GAMS sería:

Resultado:

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows

08/17/10 12:38:31 Page 5

PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA

Solution Report SOLVE Escenario Using LP From line 65

S O L V E S U M M A R Y

**** OBJECTIVE VALUE -7568.0000

Necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	200.000	200.000	+INF
modelox2	240.000	240.000	+INF
modelox3	500.000	500.000	+INF

Almacenadas

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	.	.	.
modelox2	.	.	.
modelox3	.	.	.

---- VAR modeloxc moldes a colar

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	.	266.667	+INF
modelox2	.	480.000	+INF
modelox3	.	453.333	+INF

---- VAR PVEN piezas vendidas

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	.	200.000	+INF
modelox2	.	240.000	+INF
modelox3	.	294.667	+INF

---- VAR PNS piezas no servidas

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	.	.	+INF
modelox2	.	.	+INF
modelox3	.	205.333	+INF

---- VAR PS piezas almacenadas

	LOWER	LEVEL	UPPER
modelox1	.	.	+INF
modelox2	.	.	+INF

modelox3 . . +INF

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
 Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

El cual da los mismos resultados que la aplicación Excel.

6.7.1.2.- ESCENARIO 2

Supongamos ahora que tenemos un aumento de rendimiento de un 10%.

RENDIMIENTO	+10%					
Moldes totales	1200					
	Piezas neces	Precio venta	Penalización no servicio	Precio almacenaje	Rendimiento	Costes fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,83	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,55	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,715	18

Variables			
moldes	Pieza tipo 1	x1	242
moldes	Pieza tipo 2	x2	436
moldes	Pieza tipo 3	x3	521
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y1	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y2	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y3	127
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w1	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w2	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w3	373
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z1	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z2	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z3	0

Restricciones:								
x1+x2+x3	1200	<=	1200	Producción taller M modelos tipo k <= capacidad				
	200	>=	200	Rendimiento1 x moldes 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1				
	240	>=	240	Rendimiento2 x moldes 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2				
	500	>=	500	Rendimiento3 x moldes 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3				
	0	=	0	piezas vendidas 1 + almacenadas 1 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0				
	0	=	0	piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0				
	0	=	0	piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0				
	200	<=	200	piezas vendidas 1 <= piezas necesarias tipo 1				
	240	<=	240	piezas vendidas 2 <= piezas necesarias tipo 2				
	373	<=	500	Piezas vendidas 3 <= piezas necesarias tipo 3				
x1	242	>=	0					
x2	436	>=	0					
x3	521	>=	0					
y1	0	>=	0					
y2	0	>=	0					
y3	127	>=	0					
w1	200	>=	0					
w11	0	>=	0					
w2	240	>=	0					
w22	0	>=	0					
w3	373	>=	0					
w33	0	>=	0					

Teniendo la misma formulación que la función objetivo que el escenario anterior el cuadro resumen sería:

Escenario 2	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	242	200
Piezas tipo 2	240	436	240
Piezas tipo 3	500	521	373
suma	940	1200	813
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	200	0	0
Piezas tipo 2	240	0	0
Piezas tipo 3	373	127	0
suma	813	127	0
Beneficio	17971		

Observar que al aumentar el rendimiento, el beneficio aumenta.

Un desarrollo del programa en GAMS está en el ANEXO.

6.7.1.3.- Escenario 3

El rendimiento empeora un 10%, respecto el escenario 1:

RENDIMIENTO	-10%					
Moldes totales	1200					
			Penalización	Precio		Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	68%	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,45	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,585	18

Variables			
moldes	Pieza tipo 1	x1	296
moldes	Pieza tipo 2	x2	533
moldes	Pieza tipo 3	x3	370
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y1	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y2	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y3	283
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w1	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w2	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w3	217
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z1	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z2	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z3	0

Restricciones:			
x1+x2+x3	1200 <=	1200	Producción taller M modelos tipo k <= capacidad
	200 >=	200	Rendimiento1 x moldes 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1
	240 >=	240	Rendimiento2 x moldes 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2
	500 >=	500	Rendimiento3 x moldes 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3
	0 =	0	piezas vendidas 1 + almacenadas 1 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0
	200 <=	200	piezas vendidas 1 <= piezas necesarias tipo 1
	240 <=	240	piezas vendidas 2 <= piezas necesarias tipo 2
	217 <=	500	Piezas vendidas 3 <= piezas necesarias tipo 3
x1	296 >=	0	
x2	533 >=	0	
x3	370 >=	0	
y1	0 >=	0	
y2	0 >=	0	
y3	283 >=	0	
w1	200 >=	0	
w11	0 >=	0	
w2	240 >=	0	
w22	0 >=	0	
w3	217 >=	0	
w33	0 >=	0	

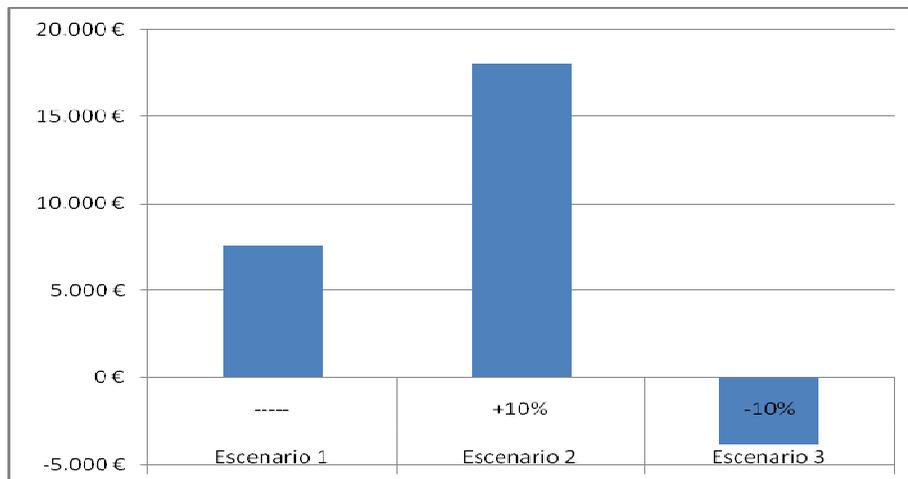
Escenario 3	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	296	200
Piezas tipo 2	240	533	240
Piezas tipo 3	500	370	217
suma	940	1200	657
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	200	0	0
Piezas tipo 2	240	0	0
Piezas tipo 3	217	283	0
suma	657	283	0
Beneficio	-3830		

En este caso al disminuir el rendimiento se incurre en pérdidas.

Realizando una tabla con los resultados de optimización mediante programación lineal se observa que la solución óptima es muy sensible a cambios en los rendimientos.

Beneficios Optimización lineal		
Rendimientos		
Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
-----	+10%	-10%
7.568 €	17.971 €	-3.830 €

Gráfico 6.3: Resultados escenarios programación lineal.



Es imposible tomar una decisión “perfecta” que sea la mejor en cualquiera de los tres posibles escenarios.

6.7.2.- OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA

Decidir el número de moldes que van a ponerse a trabajar es una decisión que debemos tomar ahora, sin embargo las piezas suministradas o vendidas, el número de piezas almacenadas y las piezas no servidas dependerán del rendimiento del proceso.

Como el rendimiento es variable se consideran tres escenarios posibles, cada uno con distintas probabilidades.

Se buscará una solución en la que los moldes empleados sean optimizados bajo los tres escenarios posibles teniendo en cuenta los rendimientos y sus probabilidades bajo cada escenario.

Las variables que definen el número de moldes o coladas realizadas se denominan variables de primera etapa o implantables, al resto variables de segunda etapa o no implantables.

Siguiendo con el caso propuesto:

ESTOCASTICO									
Coladas disponibles	1200								
					Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3		
					<i>Probabilidad 11</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Probabilidad</i>		
			Penalización	Precio	0,600	0,300	0,100	Costes	
Pieza tipo 1	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento 11	Rendimiento12	Rendimiento 13	fabricación	
	200	200	300	10	0,750	0,825	0,675	100	
					<i>Probabilidad 21</i>	<i>Probabilidad 22</i>	<i>Probabilidad 23</i>		
					0,600	0,300	0,100		
Pieza tipo 2	240	150	210	10	Rendimiento 21	Rendimiento22	Rendimiento 23		
					0,500	0,550	0,450	75	
					<i>Probabilidad 31</i>	<i>Probabilidad 32</i>	<i>Probabilidad 33</i>		
					0,600	0,300	0,100		
Pieza tipo 3	500	36	40	10	Rendimiento 31	Rendimiento32	Rendimiento 33		
					0,650	0,715	0,585	18	

Variables			
Coladas molde	Pieza tipo 1	x1	267
Coladas molde	Pieza tipo 2	x2	480
Coladas molde	Pieza tipo 3	x3	453
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y11	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y21	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y31	205
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y12	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y22	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y32	176
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y13	20
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y23	24
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y33	235
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w11	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w21	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w31	295
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w12	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w22	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w32	324
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w13	180
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w23	216
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w33	265
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z11	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z21	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z31	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z12	20
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z22	24
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z32	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z13	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z23	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z33	0

+ Probabilidad escenario 1 x -47037
(+ Penalización pieza1 x piezas1 no servidas escenario 1
+ Penalización pieza2 x piezas2 no servidas escenario 1
+ Penalización pieza3 x piezas3 no servidas escenario 1
+ Piezas 1 almacenadas escenario 1 x precio almacenaje piezas 1
+ Piezas 2 almacenadas escenario 1x precio almacenaje piezas 2
+ Piezas 3 almacenadas escenario 1x precio almacenaje piezas 3
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas escenario 1
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas escenario 1
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas escenario 1)
+ Probabilidad escenario 2 x -24058
(+ Penalización pieza1 x piezas1 no servidas escenario 2
+ Penalización pieza2 x piezas2 no servidas escenario 2
+ Penalización pieza3 x piezas3 no servidas escenario 2
+ Piezas 1 almacenadas escenario 2x precio almacenaje piezas 1
+ Piezas 2 almacenadas escenario 2x precio almacenaje piezas 2
+ Piezas 3 almacenadas escenario 2x precio almacenaje piezas 3
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas escenario 2
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas escenario 2
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas escenario 2)
+ Probabilidad escenario 3 x -5752
(+ Penalización pieza1 x piezas1 no servidas escenario 3
+ Penalización pieza2 x piezas2 no servidas escenario 3
+ Penalización pieza3 x piezas3 no servidas escenario 3
+ Piezas 1 almacenadas escenario 3x precio almacenaje piezas 1
+ Piezas 2 almacenadas escenario 3 x precio almacenaje piezas 2
+ Piezas 3 almacenadas escenario 3x precio almacenaje piezas 3
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas escenario 3

- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas escenario 3
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas escenario 3)

TOTAL: -6020

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Piezas realizadas taller M			
Pieza tipo 1	267	267	267
Pieza tipo 2	480	480	480
Pieza tipo 3	453	453	453
suma	1200	1200	1200
Piezas fabricadas			
Piezas tipo 1	200	220	180
Piezas tipo 2	240	264	216
Piezas tipo 3	295	324	265
suma	735	808	661
Piezas vendidas			
Piezas tipo 1	200	200	180
Piezas tipo 2	240	240	216
Piezas tipo 3	295	324	265
suma	735	764	661
Piezas no servidas			
Piezas tipo 1	0	0	20
Piezas tipo 2	0	0	24
Piezas tipo 3	205	176	235
suma	205	176	279
Piezas almacenadas			
Piezas tipo 1	0	20	0
Piezas tipo 2	0	24	0
Piezas tipo 3	0	0	0
suma	0	44	0

Beneficio	6019,89
-----------	---------

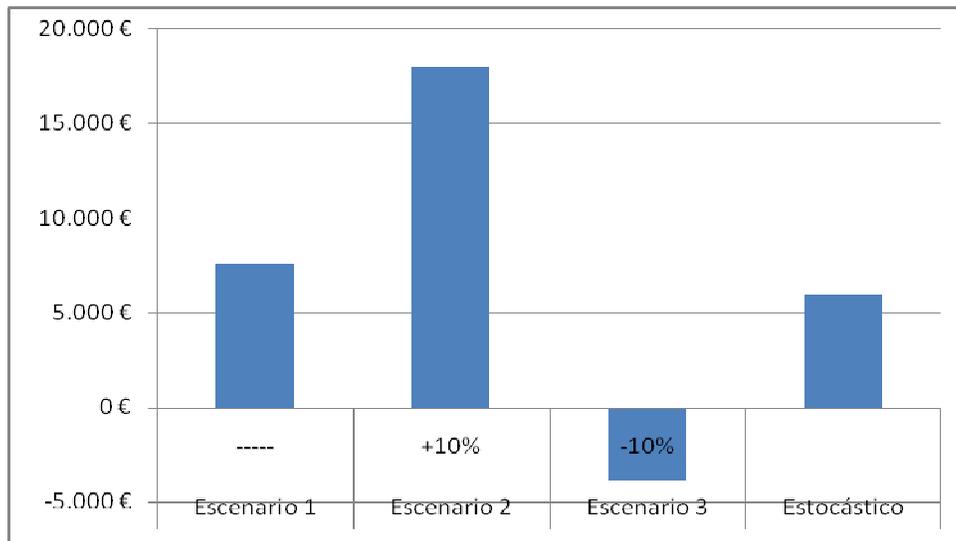
Esta sería la solución óptima, que en la bibliografía de optimización bajo incertidumbre se denomina RP.

Observar que como resultado de la optimización, el escenario dos está dando piezas almacenadas, aunque hay piezas no servidas. Esto es como consecuencia de fijar el número de piezas realizadas en M para que sea óptimo para los tres escenarios posibles,

demostrando que es imposible bajo incertidumbre encontrar una solución que sea ideal bajo todas las circunstancias.

Beneficios Optimización lineal			Estocástico
Rendimientos			
Escenario 1 -----	Escenario 2 +10%	Escenario 3 -10%	Estocástico
7.568 €	17.971 €	-3.830 €	6.020 €

Gráfico 6.4: Resultados escenarios programación lineal – estocástica.



6.7.2.1.- VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA

Valor esperado de la información perfecta o arrepentimiento esperado, (*Expected value of perfect information* (EVPI) Andres Ramos (2008 p.37)): “mide la cantidad esperada máxima que un decisor estaría dispuesto a pagar por conocer de antemano una completa y precisa descripción de lo que va a suceder en el futuro”. Andrés Ramos y Santiago Cerisola (2009, pag.10) “Suma ponderada de la diferencia entre la solución del problema estocástico en cada escenario y la solución con información perfecta en dicho escenario”. Siempre positivo para optimización.

WS, valor esperado de la solución óptima, (*wait and see*) “espera y observa”, en la bibliografía también denominado EVWPI, “valor esperado con información perfecta” (*Expected value with perfect information*). Es la suma ponderada para cada escenario de

la función objetivo total sabiendo que dicho escenario va a ocurrir con certeza. Es decir, se calcula un modelo determinista por cada caso pero ponderados por su probabilidad de ocurrencia. Para minimización siempre menor o igual que la función objetivo del problema estocástico.

RP: problema estocástico con recurso (Recourse Problem) que tiene una solución óptima.

Entonces, por definición, el valor esperado de la información perfecta es la diferencia entre la solución aquí y ahora, RP, y la solución espera y observa, WS:

$$EVPI = RP - WS$$

Cuanto mayor sea la diferencia entre RP y WS más importante es el valor de la incertidumbre.

En nuestro caso:

WS = probabilidad escenario 1 x resultado óptimo del escenario 1 +
Probabilidad escenario 2 x resultado óptimo del escenario 2 +
Probabilidad escenario 3 x resultado óptimo del escenario 3 =

$$WS = PR_1 * (-Z_{PL1}) + PR_2 * (-Z_{PL2}) + PR_3 * (-Z_{PL3}) =$$

$$WS = 0.6 \times 7568 + 0.3 \times 17971 + 0.1 \times 3829 = 9549$$

$$RP = -Z_{RP} = 6019,89$$

$$EVPI = WS - RP = 3529,29$$

Este sería el valor que se estaría dispuesto a pagar por conocer de antemano el rendimiento que se obtendría. Indica el valor que juega la incertidumbre en el problema.

Observar el cambio de signo de WS y RP, respecto de la definición inicial al trabajar con beneficios en vez de con el resultado de la minimización.

6.7.2.2.- RENDIMIENTOS MEDIOS

Otra forma de enfocar el problema sería tener en cuenta el rendimiento de los rendimientos posibles, es decir, los rendimientos medios.

El vector de rendimiento medio sería, la suma ponderada de los rendimientos de cada pieza por su probabilidad correspondiente:

Probabilidad escenario 1 x (rendimiento 11, rendimiento 21, rendimiento 31)
 +Probabilidad escenario 2 x (rendimiento 12, rendimiento 22, rendimiento 32)
 +Probabilidad escenario 3 x (rendimiento 13, rendimiento 23, rendimiento 33) =

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	
0,600	0,300	0,100	
Rendimiento 11	Rendimiento12	Rendimiento 13	
0,750	0,825	0,675	
PR1 x ρ 11	PR2 x ρ 12	PR3 x ρ 13	suma
0,45	0,2475	0,0675	0,765

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	
0,600	0,300	0,100	
Rendimiento 21	Rendimiento22	Rendimiento 23	
0,500	0,550	0,450	
PR1 x ρ 21	PR2 x ρ 22	PR3 x ρ 23	suma
0,3	0,165	0,045	0,51

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	
0,600	0,300	0,100	
Rendimiento 31	Rendimiento32	Rendimiento 33	
0,650	0,715	0,585	
PR1 x ρ 31	PR2 x ρ 32	PR3 x ρ 33	suma
0,39	0,2145	0,0585	0,663

$$\rho_m = PR_1 \times (\rho_{11}, \rho_{21}, \rho_{31}) + PR_2 \times (\rho_{12}, \rho_{22}, \rho_{32}) + PR_3 \times (\rho_{13}, \rho_{23}, \rho_{33}) = (0.765, 0.51, 0.66).$$

RENDIMIENTO	EV					
Moldes totales	1200					
			Penalización	Precio		Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,76	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,51	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,66	18

Variables			
Coladas molde	Pieza tipo 1	x1	261
Coladas molde	Pieza tipo 2	x2	471
Coladas molde	Pieza tipo 3	x3	468
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y1	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y2	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y3	190
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w1	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w2	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w3	310
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z1	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z2	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z3	0

Restriciones:			
$x1+x2+x3$	$1200 \leq$		1200 Producción taller M modelos tipo k \leq capacidad
	$200 \geq$		200 Rendimiento1 x moldes 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1
	$240 \geq$		240 Rendimiento2 x moldes 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2
	$500 \geq$		500 Rendimiento3 x moldes 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3
	$0 =$		0 piezas vendidas 1 + almacenadas 1 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0
	$0 =$		0 piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0
	$0 =$		0 piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0
	$200 \leq$		200 piezas vendidas 1 \leq piezas necesarias tipo 1
	$240 \leq$		240 piezas vendidas 2 \leq piezas necesarias tipo 2
	$310 \leq$		500 Piezas vendidas 3 \leq piezas necesarias tipo 3
x1	$261 \geq$		0
x2	$471 \geq$		0
x3	$468 \geq$		0
y1	$0 \geq$		0
y2	$0 \geq$		0
y3	$190 \geq$		0
w1	$200 \geq$		0
w11	$0 \geq$		0
w2	$240 \geq$		0
w22	$0 \geq$		0
w3	$310 \geq$		0
w33	$0 \geq$		0

Escenario EV	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	261	200
Piezas tipo 2	240	471	240
Piezas tipo 3	500	468	310
suma	940	1200	750
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	200	0	0
Piezas tipo 2	240	0	0
Piezas tipo 3	310	190	0
suma	750	190	0
Beneficio	9719		

Una vez resuelto, solución EV, se observa que el beneficio es superior al obtenido en el modelo estocástico pero si se decide con este modelo y las condiciones cambian, se obtendrán resultados erróneos.

El valor esperado de esta solución EEV no cumple con las expectativas generadas, para valorar este impacto se resolverá un problema lineal por cada escenario con los valores de decisión generados en la solución EV.

En nuestro caso:

Coladas Pieza tipo 1 $x_1 = 261$

Moldes Pieza tipo 2 $x_2 = 471$

Moldes Pieza tipo 3 $x_3 = 468$

Escenario 1	EEV1					
Moldes totales	1200					
	Piezas neces	Precio venta	Penalización no servicio	Precio almacenaje	Rendimiento	Costes fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,75	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,5	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,65	18

Variables			
Coladas molde	Pieza tipo 1	x1	261
Coladas molde	Pieza tipo 2	x2	471
Coladas molde	Pieza tipo 3	x3	468
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y1	4
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y2	5
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y3	196
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w1	196
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w2	235
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w3	304
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z1	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z2	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z3	0

Restriciones:			
x1+x2+x3	1200 <=	1200	Producción taller M modelos tipo k <= capacidad
	200 >=	200	Rendimiento1 x moldes 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1
	240 >=	240	Rendimiento2 x moldes 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2
	500 >=	500	Rendimiento3 x moldes 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3
	0 =	0	piezas vendidas 1 + almacenadas 1 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0
	0 =	0	piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0
	196 <=	200	piezas vendidas 1 <= piezas necesarias tipo 1
	235 <=	240	piezas vendidas 2 <= piezas necesarias tipo 2
	304 <=	500	Piezas vendidas 3 <= piezas necesarias tipo 3
x1	261 =	261	
x2	471 =	471	
x3	468 =	468	
y1	4 >=	0	
y2	5 >=	0	
y3	196 >=	0	
w1	196 >=	0	
w11	0 >=	0	
w2	235 >=	0	
w22	0 >=	0	
w3	304 >=	0	
w33	0 >=	0	

Escenario EEV1	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	261	196
Piezas tipo 2	240	471	235
Piezas tipo 3	500	468	304
suma	940	1200	736
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	196	4	0
Piezas tipo 2	235	5	0
Piezas tipo 3	304	196	0
suma	736	204	0
Beneficio	5602		

Simulando en el escenario 2 y volviendo a fijar el mismo número de coladas:

RENDIMIENTO	10%	EEV2				
Moldes totales	1200					
			Penalización	Precio		Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,83	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,55	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,72	18

Escenario EVV2	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	261	216
Piezas tipo 2	240	471	259
Piezas tipo 3	500	468	335
suma	940	1200	809
	vendidas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	200	0	16
Piezas tipo 2	240	0	19
Piezas tipo 3	335	165	0
suma	775	165	35
Beneficio	11223		

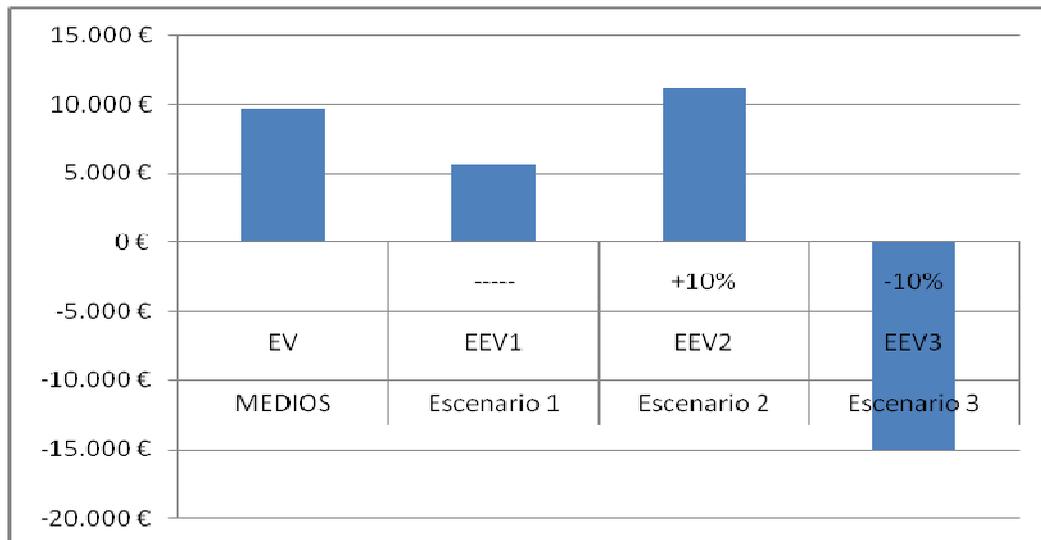
Y en el escenario 3, fijando nuevamente el número de coladas realizadas.

RENDIMIENTO	-10%	EEV3				
Moldes totales	1200					
			Penalización	Precio		Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,68	100
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,45	75
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,59	18

Escenario EVV3	Necesarias	Coladas	fabricadas
Piezas tipo 1	200	261	176
Piezas tipo 2	240	471	212
Piezas tipo 3	500	468	274
suma	940	1200	662
	ventas	no servidas	almacenadas
Piezas tipo 1	176	24	0
Piezas tipo 2	212	28	0
Piezas tipo 3	274	226	0
suma	662	278	0
Beneficio	-14985		

BENEFICIOS			
RENDIMIENTOS MEDIOS EV	PIEZAS A FABRICAR EN TALLER M CON REDIMIENTO MEDIOS EV		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	EEV1	EEV2	EEV3
	-----	+10%	-10%
9.719 €	5.602 €	11.223 €	-14.985 €

Gráfico 6.5: Rendimientos medios.



Así pues una vez resuelto, EEV1, EEV2 y EEV3, el valor esperado de poner en práctica el escenario promedio será:

$$EEV = PR_1 * (-Z_{EEV1}) + PR_2 * (-Z_{EEV2}) + PR_3 * (-Z_{EEV3})$$

$$EEV = 0,6 \times 5602 + 0,3 \times 11223 + 0,1 \times (-14985) = 5229$$

6.7.2.3.- VALOR DE LA SOLUCIÓN ESTOCÁSTICA

Valor de la solución estocástica (*Value of the stochastic solution* (VSS): “Diferencia entre la función objetivo del valor esperado de la solución del valor medio de los parámetros estocásticos EEV y del problema estocástico RP.”

Como se ha citado anteriormente, una mala práctica consiste en resolver el problema de reemplazar el valor de los parámetros aleatorios por sus valores esperados, a este le denominamos “problema del valor esperado” o “problema determinista del valor medio” (*expected value problema EV*).

El valor de la solución estocástica (*value of stochastic solution VSS*) es la diferencia entre la función objetivo del valor esperado de la solución del valor medio de los parámetros estocásticos EEV y del problema estocástico.

$$VSS = EEV - RP$$

El valor de la solución estocástica VSS es la diferencia:

$$VSS = RP - EEV = 6020 - 5229 = 790$$

Indicando la importancia del modelo estocástico frente a la solución del modelo promedio o rendimientos medios.

6.7.3.- CASO DOS

Como último ejercicio se va a efectuar una optimización, más cercana a la realidad, en la que cada una de las piezas tiene una probabilidad y un rendimiento distinto en cada uno de los escenarios.

6.7.3.1.- PROGRAMACIÓN EN SOLVER

ESTOCASTICO								
Coladas disponibles	1200							
					Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
					Probabilidad 11	Probabilidad	Probabilidad	
			Penalización	Precio	0,6	0,1	0,3	Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento 11	Rendimiento12	Rendimiento 13	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	0,75	0,30	0,68	100
					Probabilidad 21	Probabilidad 22	Probabilidad 23	
					0,5	0,2	0,3	
					Rendimiento 21	Rendimiento22	Rendimiento 23	
Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,5	0,55	0,45	75
					Probabilidad 31	Probabilidad 32	Probabilidad 33	
					0,7	0,1	0,2	
					Rendimiento 31	Rendimiento32	Rendimiento 33	
Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,65	0,715	0,585	18

Variables			
Coladas molde	Pieza tipo 1	x1	267
Coladas molde	Pieza tipo 2	x2	480
Coladas molde	Pieza tipo 3	x3	453
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y11	0
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y21	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y31	92
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y12	120
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y22	0
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y32	176
piezas no servidas	Pieza tipo 1	y13	20
piezas no servidas	Pieza tipo 2	y23	24
piezas no servidas	Pieza tipo 3	y33	235
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w11	200
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w21	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w31	408
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w12	80
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w22	240
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w32	324
piezas vendidas	Pieza tipo 1	w13	180
piezas vendidas	Pieza tipo 2	w23	216
piezas vendidas	Pieza tipo 3	w33	265
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z11	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z21	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z31	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z12	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z22	24
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z32	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 1	z13	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 2	z23	0
piezas almacenadas	Pieza tipo 3	z33	0

Restricciones			
$\sum_i a_t^{ik} x_t^{ik} + \sum_i b_t^{ik} y_t^{ik} \leq L_t^k$			
Producción taller M modelos tipo k <= capacidad	1200 <=		1200
$\rho_{is} x_t^{ik} + x_{nis} \geq p_{ni}$			
Rendimiento11 x moldes x1 + no servidas y11 > piezas necesarias tipo 1	200 >=		200
Rendimiento21 x moldes x2 + no servidas y21 > piezas necesarias tipo 2	240 >=		240
Rendimiento31 x moldes x3 + no servidas y31 > piezas necesarias tipo 3	500 >=		500
Rendimiento12 x moldes x1 + no servidas y12 > piezas necesarias tipo 1	200 >=		200
Rendimiento22 x moldes x2 + no servidas y22 > piezas necesarias tipo 2	264 >=		240
Rendimiento32 x moldes x3 + no servidas y32 > piezas necesarias tipo 3	500 >=		500
Rendimiento13 x moldes x1 + no servidas y13 > piezas necesarias tipo 1	200 >=		200
Rendimiento23 x moldes x2 + no servidas y23 > piezas necesarias tipo 2	240 >=		240
Rendimiento33 x moldes x3 + no servidas y33 > piezas necesarias tipo 3	500 >=		500
$x_{vsi} + x_{ais} - \rho_{is} x_t^{ik} = 0$			
piezas vendidas w11 + almacenadas z11 - rendimiento11 x número moldes 1 = 0	0 =		0
piezas vendidas w21 + almacenadas z21 - rendimiento21 x número moldes 2 = 0	0 =		0
piezas vendidas w31 + almacenadas z31 - rendimiento31 x número moldes 3 = 0	0 =		0
piezas vendidas w12 + almacenadas z12 - rendimiento12 x número moldes 1 = 0	0 =		0
piezas vendidas w22 + almacenadas z22 - rendimiento22 x número moldes 2 = 0	0 =		0
piezas vendidas w32 + almacenadas z32 - rendimiento32 x número moldes 3 = 0	0 =		0
piezas vendidas w13 + almacenadas z13 - rendimiento13 x número moldes 1 = 0	0 =		0
piezas vendidas w23 + almacenadas z23 - rendimiento23 x número moldes 2 = 0	0 =		0
piezas vendidas w33 + almacenadas z33 - rendimiento33 x número moldes 3 = 0	0 =		0
$x_{vsi} \leq p_{ni}$			
piezas vendidas w11 <= piezas necesarias tipo 1	200 <=		200
piezas vendidas w21 <= piezas necesarias tipo 2	240 <=		240
piezas vendidas w31 <= piezas necesarias tipo 3	295 <=		500
piezas vendidas w12 <= piezas necesarias tipo 1	80 <=		200
piezas vendidas w22 <= piezas necesarias tipo 2	240 <=		240
piezas vendidas w32 <= piezas necesarias tipo 3	324 <=		500
piezas vendidas w13 <= piezas necesarias tipo 1	180 <=		200
piezas vendidas w23 <= piezas necesarias tipo 2	216 <=		240
piezas vendidas w33 <= piezas necesarias tipo 3	0 <=		500

$x_t^{ik}, x_{nis}, x_{vis}, x_{ais} > 0$				
x_t^{ik} es la producción del molde i en la máquina k en el periodo t.				
	$x1 \geq 0$	267	\geq	0
	$x2 \geq 0$	480	\geq	0
	$x3 \geq 0$	453	\geq	0
x_{nis} : piezas no servidas del modelo i, en el escenario s				
	$y11 \geq 0$	0	\geq	0
	$y21 \geq 0$	0	\geq	0
	$y31 \geq 0$	205	\geq	0
	$y12 \geq 0$	120	\geq	0
	$y22 \geq 0$	0	\geq	0
	$y32 \geq 0$	176	\geq	0
	$y13 \geq 0$	20	\geq	0
	$y23 \geq 0$	24	\geq	0
	$y33 \geq 0$	235	\geq	0
x_{vis} : piezas vendidas del modelo i en el escenario s				
	$w11 \geq 0$	200	\geq	0
	$w21 \geq 0$	240	\geq	0
	$w31 \geq 0$	295	\geq	0
	$w12 \geq 0$	80	\geq	0
	$w22 \geq 0$	240	\geq	0
	$w32 \geq 0$	324	\geq	0
	$w13 \geq 0$	180	\geq	0
	$w23 \geq 0$	216	\geq	0
	$w33 \geq 0$	265	\geq	0
x_{ais} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s				
	$z12 \geq 0$	0	\geq	0
	$z22 \geq 0$	24	\geq	0
	$z32 \geq 0$	0	\geq	0
	$z13 \geq 0$	0	\geq	0
	$z23 \geq 0$	0	\geq	0
	$z33 \geq 0$	0	\geq	0
	$z11 \geq 0$	0	\geq	0
	$z21 \geq 0$	0	\geq	0
	$z31 \geq 0$	0	\geq	0

Siguiendo la nomenclatura definida anteriormente la función objetivo a minimizar sería:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_t^{ik} + \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^n PR_{is} (p_i x_{nis} + a_i x_{ais} - p_v x_{vis})$$

Gastos - ingresos			
+ Costes fabricación pieza 1 x moldes 1			70827
+ costes fabricación pieza 2 x moldes 2			
+ costes fabricación pieza 3 x moldes 3			
+ probabilidad escenario 11 x			
(+ penalización pieza1 x piezas1 no servidas			-43676
+ piezas 1 almacenadas x precio almacenaje piezas 1			
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)			
+ probabilidad escenario 21 x			
('+ penalización pieza2 x piezas2 no servidas			
+ piezas 2 almacenadas x precio almacenaje piezas 2			
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)			
+ probabilidad escenario 31 x			
+ penalización pieza3 x piezas3 no servidas			
+ piezas 3 almacenadas x precio almacenaje piezas 3			
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)			
+ probabilidad escenario 12 x			-5615
(+ penalización pieza1 x piezas1 no servidas			
+ piezas 1 almacenadas x precio almacenaje piezas 1			
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)			
+probabilidad escenario 22 x			
(+ penalización pieza2 x piezas2 no servidas			
+ piezas 2 almacenadas x precio almacenaje piezas 2			
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)			
+probabilidad escenario 32 x			
(+ penalización pieza3 x piezas3 no servidas			
+ piezas 3 almacenadas x precio almacenaje piezas 3			
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)			
+ probabilidad escenario 13 x			-17239
(+ penalización pieza1 x piezas1 no servidas			
+ piezas 1 almacenadas x precio almacenaje piezas 1			
- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)			
+probabilidad escenario 23 x			
(+ penalización pieza2 x piezas2 no servidas			
+ piezas 2 almacenadas x precio almacenaje piezas 2			
- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)			
+probabilidad escenario 33 x			
(+ penalización pieza3 x piezas3 no servidas			
+ piezas 3 almacenadas x precio almacenaje piezas 3			
- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)			
		Suma	4296

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	Coladas realizadas		
Pieza tipo 1	267	267	267
Pieza tipo 2	480	480	480
Pieza tipo 3	453	453	453
suma	1200	1200	1200
	Piezas fabricadas		
Piezas tipo 1	200	80	180
Piezas tipo 2	240	264	216
Piezas tipo 3	295	324	265
suma	735	668	661
	Piezas vendidas		
Piezas tipo 1	200	80	180
Piezas tipo 2	240	240	216
Piezas tipo 3	295	324	265
suma	735	644	661
	Piezas no servidas		
Piezas tipo 1	0	120	20
Piezas tipo 2	0	0	24
Piezas tipo 3	205	176	235
suma	205	296	279
	Piezas almacenadas		
Piezas tipo 1	0	0	0
Piezas tipo 2	0	24	0
Piezas tipo 3	0	0	0
suma	0	24	0

Beneficio	-4296
-----------	-------

6.7.3.2.- PROGRAMACIÓN EN GAMS

\$TITLE PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA

Sets

i modelox / modelox1*modelox3 /
s escenarios rendim / esc1*esc3/ ;

PARAMETERS

PV(i) precio de venta del modelo i [€]

/ Modelox1 200

Modelox2 150

Modelox3 36 /

P(i) penalización no servicio modelo i [€]

/ Modelox1 300

Modelox2 210

Modelox3 40 /

A(i) coste de almacenamiento modelo i [€]

/ Modelox1 10

Modelox2 10

Modelox3 10 /

C(i) Coste de fabricación del modelo i [€]

/ Modelox1 100

Modelox2 75

Modelox3 18 / ;

TABLE PR(i,s) Probabilidad por pieza [p.u.]

	esc1	esc2	esc3
Modelox1	0.6	0.1	0.3
Modelox2	0.5	0.2	0.3
Modelox3	0.7	0.1	0.2

TABLE R(i,s) rendimiento por pieza y escenario [p.u.]

	esc1	esc2	esc3
Modelox1	0.75	0.30	0.675
Modelox2	0.5	0.55	0.45
Modelox3	0.65	0.715	0.585

TABLE DEM(i,s) piezas necesarias [u.]

	esc1	esc2	esc3
--	------	------	------

Modelox1	200	200	200
Modelox2	240	240	240
Modelox3	500	500	500

SCALARS

L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /

VARIABLES

modeloxc(i) moldes a colar

z BENEFICIO

XV(i,s) piezas vendidas

XN(i,s) piezas no servidas

XA(i,s) piezas almacenadas

XF(i,s) piezas fabricadas ;

POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),xv(i,s),xn(i,s),xa(i,s),xf(i,s) ;

EQUATIONS

BENEFICIO función objetivo

restri1 limita el número de coladas a realizar

restri2(i,s) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

restri3(i,s) equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos
rendimiento por numero de moldes igual a cero

restri4(i,s) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

piezasf (i,s) piezas fabricadas en el taller P1 ;

BENEFICIO.. $z = e = \text{sum}(i,$
 $C(i)*\text{modeloxc}(i))+\text{sum}((s,i),PR(i,s)*(p(i)*XN(i,s)+a(i)*XA(i,s)-PV(i)*XV(i,s)));$

restr1.. $\text{sum}(i, \text{modeloxc}(i)) = e = L ;$

restr2(i,s).. $R(i,s)*\text{modeloxc}(i)+XN(i,s) = g = DEM(i,s);$

restr3(i,s).. $XV(i,s)+XA(i,s)-R(i,s)*\text{modeloxc}(i) = e = 0;$

restr4(i,s).. $XV(i,s) = l = DEM(i,s);$

piezasf(i,s).. $XF(i,s) = e = R(i,s)*\text{modeloxc}(i);$

Model Escenario /all/ ;

solve escenario using lp minimizing z ;

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	Escenario	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	77

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 4295.9467

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.015 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 17 2000000000

IBM ILOG CPLEX Aug 18, 2010 23.5.2 WIN 19143.19383 VS8 x86/MS Windows

Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

LP status(1): optimal

Optimal solution found.

Objective : 4295.946667

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU BENEFICIO	.	.	.	1.000
---- EQU restri1	1200.000	1200.000	1200.000	-30.906

BENEFICIO función objetivo

restri1 limita el número de coladas a realizar

---- EQU restri2 rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	200.000	200.000	+INF	25.541
modelox1.esc2	200.000	200.000	+INF	30.000
modelox1.esc3	200.000	200.000	+INF	90.000
modelox2.esc1	240.000	240.000	+INF	105.000
modelox2.esc2	240.000	264.000	+INF	.
modelox2.esc3	240.000	240.000	+INF	63.000
modelox3.esc1	500.000	500.000	+INF	28.000
modelox3.esc2	500.000	500.000	+INF	4.000
modelox3.esc3	500.000	500.000	+INF	8.000

---- EQU restri3 equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos
 rendimiento por numero de moldes igual a cero

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	.	.	6.000
modelox1.esc2	.	.	.	-20.000
modelox1.esc3	.	.	.	-60.000
modelox2.esc1	.	.	.	-11.812
modelox2.esc2	.	.	.	2.000
modelox2.esc3	.	.	.	-45.000
modelox3.esc1	.	.	.	-25.200
modelox3.esc2	.	.	.	-3.600
modelox3.esc3	.	.	.	-7.200

---- EQU restri4 piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	-INF	200.000	200.000	-126.000
modelox1.esc2	-INF	80.000	200.000	.
modelox1.esc3	-INF	180.000	200.000	.
modelox2.esc1	-INF	240.000	240.000	-63.188
modelox2.esc2	-INF	240.000	240.000	-32.000
modelox2.esc3	-INF	216.000	240.000	.
modelox3.esc1	-INF	294.667	500.000	.
modelox3.esc2	-INF	324.133	500.000	.
modelox3.esc3	-INF	265.200	500.000	.

---- EQU piezasf piezas fabricadas en el taller P1

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	266.667	+INF	.
modelox2	.	480.000	+INF	.
modelox3	.	453.333	+INF	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z		-INF 4295.947	+INF	.

z BENEFICIO

---- VAR XV piezas vendidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	200.000	+INF	.
modelox1.esc2	.	80.000	+INF	.
modelox1.esc3	.	180.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc2	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	216.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	294.667	+INF	.
modelox3.esc2	.	324.133	+INF	.
modelox3.esc3	.	265.200	+INF	.

---- VAR XN piezas no servidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	.	+INF	154.459
modelox1.esc2	.	120.000	+INF	.
modelox1.esc3	.	20.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	.	+INF	.
modelox2.esc2	.	.	+INF	42.000
modelox2.esc3	.	24.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	205.333	+INF	.
modelox3.esc2	.	175.867	+INF	.
modelox3.esc3	.	234.800	+INF	.

---- VAR XA piezas almacenadas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	.	+INF	.
modelox1.esc2	.	.	+INF	21.000
modelox1.esc3	.	.	+INF	63.000
modelox2.esc1	.	.	+INF	16.812
modelox2.esc2	.	24.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	.	+INF	48.000
modelox3.esc1	.	.	+INF	32.200
modelox3.esc2	.	.	+INF	4.600
modelox3.esc3	.	.	+INF	9.200

---- VAR XF piezas fabricadas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	200.000	+INF	.
modelox1.esc2	.	80.000	+INF	.
modelox1.esc3	.	180.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc2	.	264.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	216.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	294.667	+INF	.
modelox3.esc2	.	324.133	+INF	.
modelox3.esc3	.	265.200	+INF	.

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2 Mb WIN235-235 Aug 17, 2010

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

6.7.3.3.- ÁRBOL

Como ya se ha visto previamente, una forma de representar el conjunto de escenarios es mediante un árbol, A. Alonso-Ayudo y otros, (2008 pp. 22-24), Andres Ramos, (2008

p.17) donde en cada etapa hay tantos nodos como parámetros inciertos, y en la primera etapa hay un único nodo, llamado nodo raíz.

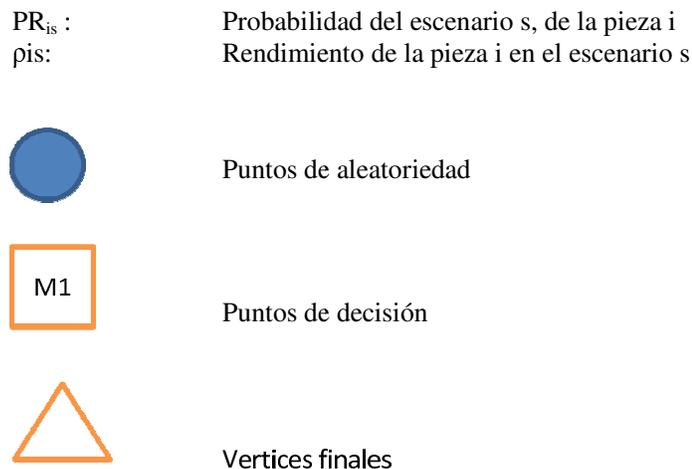
Un escenario será cualquier trayectoria que va desde la raíz hasta las hojas de tal forma que los escenarios que comparten una misma información también comparten esa parte del árbol.

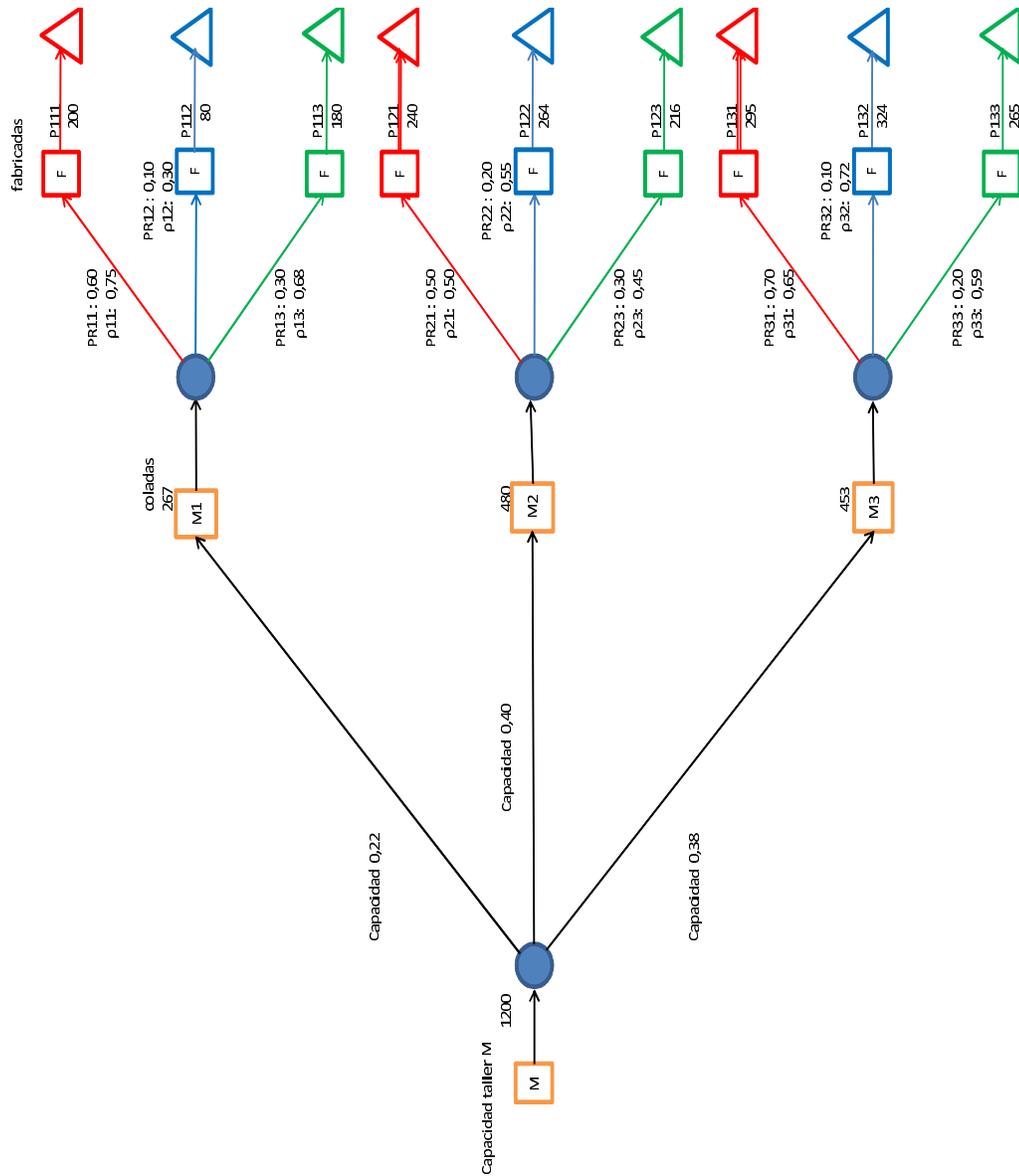
Este sistema de representación explica de una forma clara las decisiones no anticipadas.

Cada trayectoria representa un escenario que corresponde a la realización de un conjunto de parámetros recogiendo la secuencia temporal de la realización de los mismos.

En este caso determinado, las decisiones de la primera etapa, la raíz se comparten, las decisiones de la segunda etapa son múltiples ya que dependen de los distintos escenarios.

Figura 6.4: Árbol de escenarios





6.7.3.4.- MATRIZ

Otra forma de ver la relación entre las distintas variables sería mediante una matriz
 Andres Ramos, (2008 p.28):

Figura 6.5: Matriz de escenarios

M	M1	M2	M3	P111	P112	P113	P121	P122	P123	P131	P132	P133
X	X											
X		X										
X			X									
X	X			X								
X	X				X							
X	X					X						
X		X					X					
X		X						X				
X			X						X			
X			X							X		
X			X								X	
X			X									X

La cual una vez resuelta la podemos convertir en una matriz de probabilidades.

Figura 6.6: Matriz de probabilidades

M	M1	M2	M3	P111	P112	P113	P121	P122	P123	P131	P132	P133
1	0,22											
		0,40										
			0,38									
0,133				0,60								
0,022	0,22				0,10							
0,067						0,30						
0,200							0,50					
0,080		0,40						0,20				
0,120									0,30			
0,264										0,70		
0,038			0,38								0,10	
0,076												0,20

Como puede observarse en la matriz, la suma de probabilidades en cada punto de aleatoriedad agujas arriba es siempre uno.

Observar que la suma de probabilidades en cada cuadro de la matriz es siempre uno.

6.7.3.5.- MODIFICACIÓN DE RENDIMIENTO

Se modificará el rendimiento de una pieza en un solo escenario para ver su influencia sobre el resultado final.

ESTOCASTICO								
Coladas disponibles		1200						
					Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
					Probabilidad 11	Probabilidad 12	Probabilidad 13	
					0,6	0,1	0,3	
					Rendimiento 11	Rendimiento 12	Rendimiento 13	
					0,75	0,30	0,68	
					Probabilidad 21	Probabilidad 22	Probabilidad 23	
					0,5	0,2	0,3	
					Rendimiento 21	Rendimiento 22	Rendimiento 23	
					0,5	0,55	0,45	
					Probabilidad 31	Probabilidad 32	Probabilidad 33	
					0,7	0,1	0,2	
					Rendimiento 31	Rendimiento 32	Rendimiento 33	
					0,85	0,715	0,585	
Pieza tipo 1	Piezas neces	Precio venta	Penalización no servicio	Precio almacenaje				Costes fabricación
	200	200	300	10				100
Pieza tipo 2	240	150	210	10				75
Pieza tipo 3	500	36	40	10				18

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Coladas realizadas			
Pieza tipo 1	267	267	267
Pieza tipo 2	480	480	480
Pieza tipo 3	453	453	453
suma	1200	1200	1200
Piezas fabricadas			
Piezas tipo 1	200	80	180
Piezas tipo 2	240	264	216
Piezas tipo 3	385	324	265
suma	825	668	661
Piezas vendidas			
Piezas tipo 1	200	80	180
Piezas tipo 2	240	240	216
Piezas tipo 3	385	324	265
suma	825	644	661
Piezas no servidas			
Piezas tipo 1	0	120	20
Piezas tipo 2	0	0	24
Piezas tipo 3	115	176	235
suma	115	296	279
Piezas almacenadas			
Piezas tipo 1	0	0	0
Piezas tipo 2	0	24	0
Piezas tipo 3	0	0	0
suma	0	24	0
	Beneficio	528	

Nótese que modificando únicamente el rendimiento de una pieza en un escenario de 0.65 a 0.85 se ha pasado de tener unas pérdidas económicas de 4296 unidades monetarias a un beneficio de 528 unidades monetarias, ratificando de esta forma la complejidad de las decisiones por métodos no matemáticos.

6.8.- PLANIFICACIÓN SIN SERIES HISTÓRICAS, MÉTODO DE MONTE CARLO

En algunos casos, cuando una pieza no ha sido fabricada antes, si tiene un cambio tecnológico en su proceso o cualquier otra circunstancia que varíe las circunstancias históricas de fabricación se llega a la situación de que no existe una serie histórica para aplicar el procedimiento descrito.

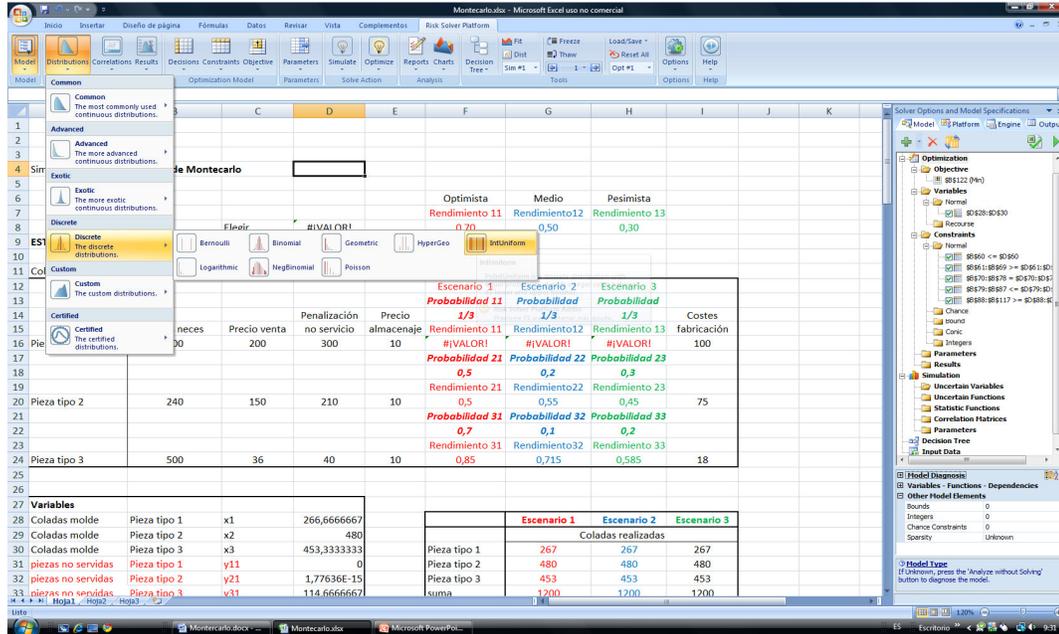
Para solucionar el problema, se utilizará la experiencia o la opinión de expertos para generar tres escenarios ficticios posibles, para posteriormente hacer una simulación mediante el método de Monte Carlo.

6.8.1.- DESARROLLO MEDIANTE RISK SOLVER PLATFORM

En el ejemplo se presentan tres escenarios posibles: optimista, medio y pesimista, para luego crear una variable de incertidumbre que genere entre esas tres posibilidades.

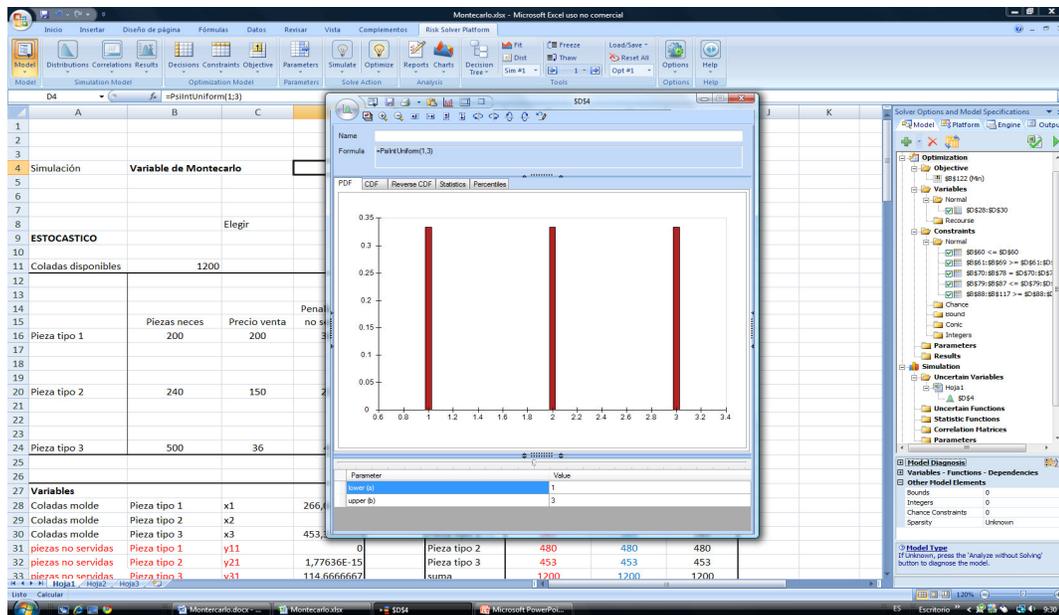
Se ha seleccionado como programa “Risk Solver Platform” el cual está fácilmente integrado dentro de nuestra hoja de cálculo. Para ello se utiliza una distribución de probabilidad uniforme como puede observarse en las figuras siguientes. Se genera la distribución de probabilidad uniforme en la celda D4.

Figura 6.9: Ejemplo distribución de probabilidades uniforme 1.



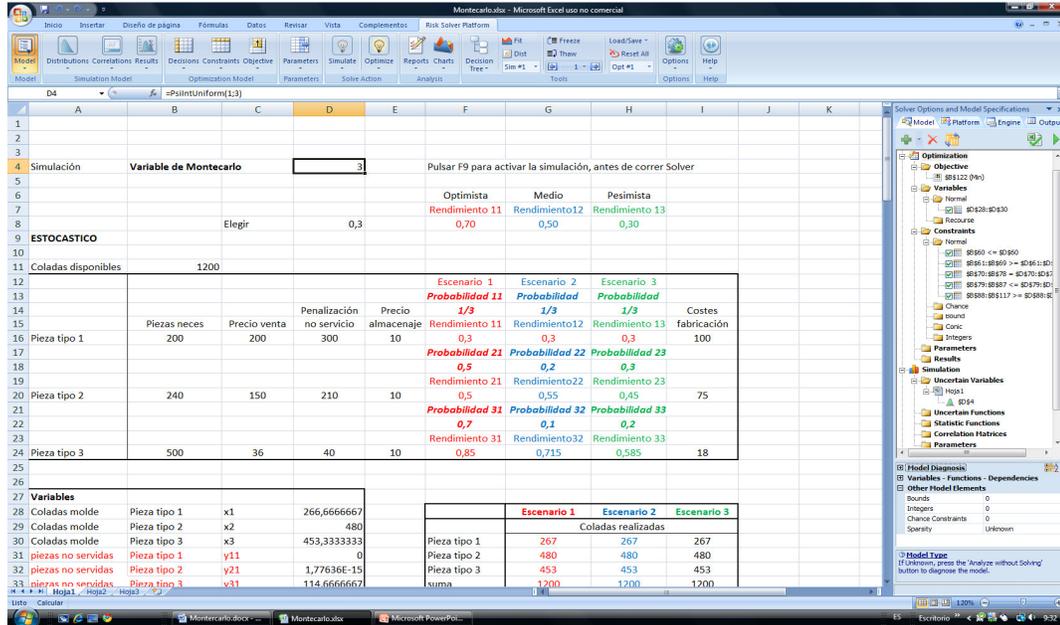
Se cambian los parámetros para que en cada intento, genere un número de esta distribución que será 1, 2 o 3.

Figura 6.10: Ejemplo distribución de probabilidades uniforme 2.



Cada vez que se hace correr la simulación se generarán mil diferentes valores o escenarios de esta variable para la celda seleccionada.

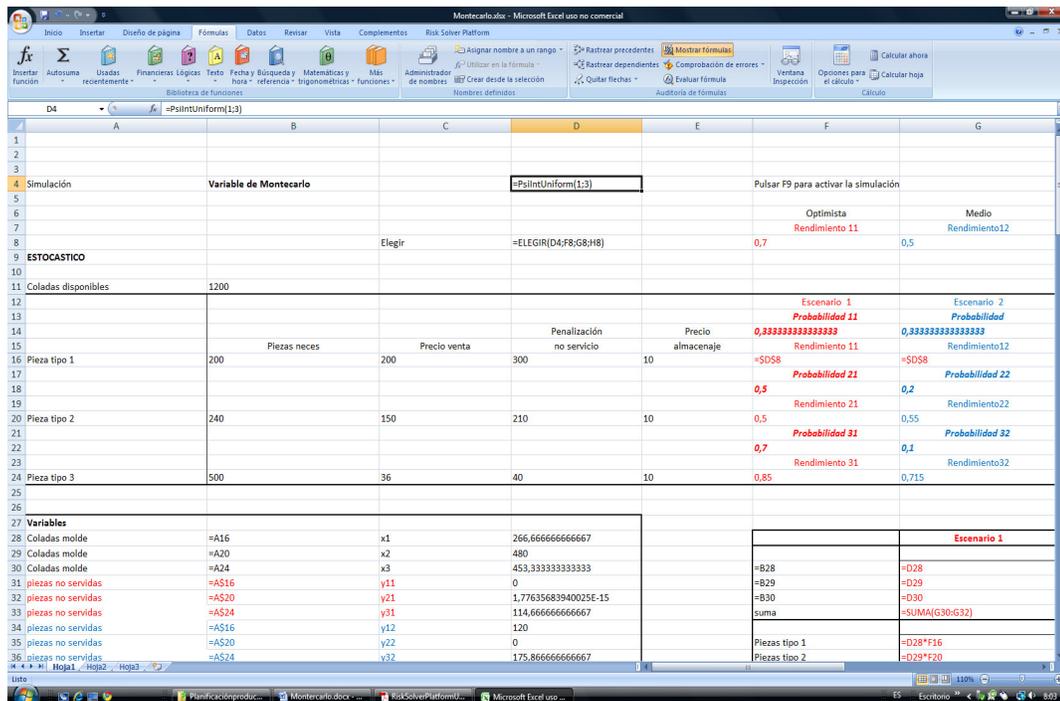
Figura 6.11: Generación de escenarios de Monte Carlo 1



Mediante las fórmulas correspondientes, en este caso ELEGIR(D4;F8;G8;H8), la hoja seleccionará el escenario aleatorio generado.

En la siguiente figura pueden verse el resto de las fórmulas empleadas en este proceso.

Figura 6.12: Generación de escenarios de Monte Carlo 2.



Una vez aquí, el planteamiento y formulación del problema es igual que los ejemplos desarrollados anteriormente, dando los resultados correspondientes a las nuevas variables generadas.

Coladas disponibles	1200							
					Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
			Penalización	Precio	Probabilidad 11	Probabilidad12	Probabilidad13	Costes
	Piezas neces	Precio venta	no servicio	almacenaje	Rendimiento 11	Rendimiento12	Rendimiento 13	fabricación
Pieza tipo 1	200	200	300	10	1/3	1/3	1/3	100
					0,5	0,5	0,5	
					Probabilidad 21	Probabilidad 22	Probabilidad 23	
					0,5	0,2	0,3	
Pieza tipo 2	240	150	210	10	Rendimiento 21	Rendimiento22	Rendimiento 23	75
					0,5	0,55	0,45	
					Probabilidad 31	Probabilidad 32	Probabilidad 33	
					0,7	0,1	0,2	
Pieza tipo 3	500	36	40	10	Rendimiento 31	Rendimiento32	Rendimiento 33	18
					0,85	0,715	0,585	

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Piezas realizadas taller M			
Pieza tipo 1	400	400	400
Pieza tipo 2	480	480	480
Pieza tipo 3	320	320	320
suma	1200	1200	1200
Piezas fabricadas P1			
Piezas tipo 1	200	200	200
Piezas tipo 2	240	264	216
Piezas tipo 3	272	229	187
suma	712	693	603
Piezas vendidas			
Piezas tipo 1	200	200	200
Piezas tipo 2	240	240	216
Piezas tipo 3	272	229	187
suma	712	669	603
Piezas no servidas			
Piezas tipo 1	0	0	0
Piezas tipo 2	0	0	24
Piezas tipo 3	228	271	313
suma	228	271	337
Piezas almacenadas			
Piezas tipo 1	0	0	0
Piezas tipo 2	0	24	0
Piezas tipo 3	0	0	0
suma	0	24	0
	Beneficio	-9345	

CAPÍTULO 7: ERROR DE ESTIMACIÓN

7.1.- INTRODUCCIÓN

Como se ha podido observar a lo largo del documento, para poder desarrollar parte del trabajo se ha utilizado una serie numérica.

Cada uno de los ρ_i datos es tomado como media de un periodo elemental de duración t .

La suma de todos los periodos elementales t , es el periodo T de estudio que proporcionará los datos para las proyecciones futuras.

Una vez ordenados todos los datos de forma creciente o decreciente, el periodo T es dividido en subperiodos T_1, T_2, \dots de los que se extraen unos parámetros que representarán a cada uno de los subconjuntos de valores para poder realizar los cálculos correspondientes.

La relación T_1/T representa la probabilidad de ocurrencia del escenario 1 que será denominada PR_{s1} .

Para el desarrollo de este análisis particular se utilizan las siguientes variables:

t_s : número total de escenarios.

PR_s : probabilidad de ocurrencia del escenario s .

s : denominación de escenario.

n : número de elementos de la serie o tabla

n_{ss} : número de elementos del escenario s

n_i : número de orden en la serie de la pieza i

ρ_i : Rendimiento de la pieza i en un periodo elemental t

ρ_s : Rendimiento medio

$$\rho_s = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$$

ρ_{mis} : Rendimiento medio de la pieza i en el escenario s

Sin embargo, al sustituir un conjunto de valores, por necesidades de capacidad de cálculo, por su media se comete un error que puede definirse como:

$$error = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|\rho_i - \rho_s|}{\rho_i}}{n} \times 100$$

Para un determinado escenario:

$$errors = \frac{\sum_{i=1}^{ns} \frac{|\rho_i - \rho_{mis}|}{\rho_i}}{ns} \times 100$$

7.2.- MINIMIZACIÓN DEL ERROR DE ESTIMACIÓN

7.2.1.- FUNCIÓN OBJETIVO Y RESTRICCIONES

Una vez más el objetivo a perseguir debe ser minimizar este error, para lo cual una vez elegido el número de escenarios con los que se trabajará, el objetivo será minimizar el error de la siguiente función:

$$Error = \sum_{s=1}^{ts} PRs * errors$$

El error total será el sumatorio de la probabilidad de cada escenario por el error asociado al mismo.

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{s=1}^{s=ts} n_{ss} = n$$

La suma de los elementos de todos los escenarios será los elementos totales.

n_{ss} ha de ser entero.

n ha de ser entero.

$n_{ss} > 0$

$n > 0$

El conjunto de valores de cada sub periodo es representado mediante su media, que será:

$$\rho_{mn_S} = \frac{\sum_{i=1}^{n_S} \rho_i}{n_{ss}}$$

Puesto que el objetivo es hacer conjuntos de rendimientos o, lo que es lo mismo, conjuntos de periodos correlativos que coincidan con el número de escenarios y minimicen el error total, será necesario definir alguna variable que asocie datos y escenario.

El problema se plantea mediante una serie de selectores (tantos como escenarios deseemos) que el programa variará para minimizar la función objetivo.

Para cada uno de los escenarios se utilizan dos tipos de variables binarias (0,1):

ESCENARIO (S,i): variable binaria que vale 1 si el valor con número de orden i , pertenece al escenario S . En caso contrario toma el valor 0.

Selector(s,i): variable auxiliar que tomará el valor uno si el número de orden i de la tabla ordenada es menor o igual que el número de elementos del escenario s más el número de elementos de todos los escenarios precedentes. Si no es así tomara el valor cero.

$$\text{Selector}(s,i): \text{Si } n_i \leq \sum_{j=1}^s n_{sj}, \text{ entonces } 1, \text{ en caso contrario } 0$$

$$\forall i = 1 \dots n$$

$$ESCENARIO(S, i): \sum_{j=1}^s selector(j, i) = 1, entonces 1, en caso contrario 0$$

$$\forall i = 1 \dots n$$

El número de elementos pertenecientes al escenario s será:

$$n_{ss} = \sum_{i=1}^n ESCENARIO(S, i)$$

Que coincidiera con el número de veces en que la variable toma el valor 1.

Para calcular el rendimiento medio que tiene la pieza i en el escenario s .

$$\rho_{mis} = \frac{\sum_i^n \rho_i \times ESCENARIO(S, i)}{n_{ss}}$$

El error cometido en el escenario S ,

$$errors = \frac{\sum_{i=1}^n (SI \text{ tabla } ESCENARIO(S, i) = 1; \frac{|\rho_i - \rho_{mis}|}{\rho_i}; 0)}{n_{ss}} \times 100$$

$$\forall i = 1 \dots n$$

La probabilidad del escenario S será:

$$PR_s = \frac{n_{ss}}{n}$$

7.3.- CASO: DESARROLLO MEDIANTE RISK SOLVER PLATFORM

Para resolver este problema de minimización, se ha cargado en la hoja Excel el programa Risk Solver Platform

En este caso el desarrollo concreto se realiza sobre tres escenarios compuestos por n_1 , n_2 , n_3 elementos cada uno.

En primer lugar, se desarrollará la función a minimizar y por último, las variables binarias necesarias para el cálculo de los valores empleados en ésta.

La función a minimizar será:

$$Error = \sum_{s=1}^{ts} PR_s * errors =$$

$$Error = PR_1 \times Error_{s1} + PR_2 \times Error_{s2} + PR_3 \times Error_{s3}$$

Donde las probabilidades unitarias de cada escenario serán:

$$PR_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{52}{120} = 0.4333$$

$$PR_2 = \frac{n_2}{n} = \frac{41}{120} = 0.3417$$

$$PR_3 = \frac{n_3}{n} = \frac{27}{120} = 0.2250$$

Y los errores serán:

$$Error_{s1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_1}|}{\rho_i}}{n_1} = \frac{2.2827}{52} = 0.0438$$

Donde la media de la serie de n_1 elementos es:

$$\rho_{mn_1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \rho_i}{n_1} = \frac{4734.219}{52} = 91.042$$

Para el escenario 2, suponiendo que tiene n_2 elementos:

$$Error_{s2} = \frac{\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_2}|}{\rho_i}}{n_2} = \frac{2.6990}{41} = 0.0658$$

$$\rho_{mn_2} = \frac{\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \rho_i}{n_2} = 73.488$$

⁷ Nota: En nuestro caso el programa de optimización empleado para el ejemplo tiene una función que puede simplificar el desarrollo para el cálculo de la media:

PROMEDIO.SI(rango;criterio;rango_promedio)

Que aplicado a este caso:

$\rho_{mis} = \text{PROMEDIO.SI}(\text{tabla ESCENARIO}(S,i);1;\text{tabla rendimiento ordenado } \rho_i)$

Para el escenario 3, suponiendo que tiene n_3 elementos:

$$\rho_{mn_3} = \frac{\sum_{i=n_2+1}^n \rho_i}{n_3} = 49.258$$

$$Error_{s3} = \frac{\sum_{i=n_2+1}^n \frac{|\rho_i - \rho_{mn_3}|}{\rho_i}}{n_3} = \frac{3.1926}{27} = 0.1182$$

El error total será:

$$\begin{aligned} Error &= PR_1 \times Error_{s1} + PR_2 \times Error_{s2} + PR_3 \times Error_{s3} \\ &= 0.4333 \times 0.0438 + 0.3417 \times 0.0658 + 0.2250 \times 0.1182 \\ &= 0.06811 \end{aligned}$$

Operando, el error total también lo podrá expresarse como:

$$\begin{aligned} Error &= PR_1 \times \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_1}|}{\rho_i}}{n_1} + PR_2 \frac{\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_2}|}{\rho_i}}{n_2} + PR_3 \\ &\quad \times \frac{\sum_{i=n_2+1}^n \frac{|\rho_i - \rho_{mn_3}|}{\rho_i}}{n_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Error &= \frac{n_1}{n} \times \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_1}|}{\rho_i}}{n_1} + \frac{n_2}{n} \times \frac{\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_2}|}{\rho_i}}{n_2} + \frac{n_3}{n} \\ &\quad \times \frac{\sum_{i=n_2+1}^n \frac{|\rho_i - \rho_{mn_3}|}{\rho_i}}{n_3} \end{aligned}$$

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_1}|}{\rho_i}}{n} + \frac{\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_2}|}{\rho_i}}{n} + \frac{\sum_{i=n_2+1}^n \frac{|\rho_i - \rho_{mn_3}|}{\rho_i}}{n}$$

$$Error = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{n_1} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_1}|}{\rho_i} + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{|\rho_i - \rho_{mn_2}|}{\rho_i} + \sum_{i=n_2+1}^n \frac{|\rho_i - \rho_{mn_3}|}{\rho_i} \right)$$

$$= \frac{1}{120} (2.2827 + 2.6990 + 3.1926) = 0.06811$$

Variables binarias: Por simplicidad es obviado el segundo índice de las variables binarias definidas precedentemente ya que éste coincide con el número de orden de la lista ordenada de la hoja de cálculo.

El selector 1, será 1 si su número de orden asignado es menor o igual que el número total de elementos asignados al escenario número 1. Cero en caso contrario.

Selector 1: Si número de orden \leq número de elementos escenario 1, entonces 1, en caso contrario 0.

El selector 2, será 1 si su número de orden asignado es menor o igual que el número total de elementos asignados al escenario número 1 más el número de elementos asignados al escenario 2. Cero en caso contrario.

Selector 2: Si número de orden \leq número de elementos escenario 1+ escenario 2, entonces 1, en caso contrario 0.

El selector 3, será 1 si su número de orden asignado es menor o igual que el número total de elementos asignados al escenario número 1 más el número de elementos asignados al escenario 2 más el número de elementos asignado al escenario 3. Cero en caso contrario.

Selector 3: Si número de orden \leq número de elementos escenario 1+ escenario 2+ escenario 3, entonces 1, en caso contrario 0.

Figura 7.1: Programación minimización error, variable binaria selector

	A	B	C	D	E
	Rendimiento	Orden	selector 1	selector 2	selector 3
3	99,268	1	=SI(B3<=B\$125;1;0)	=SI(B3<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B3<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
4	98,851	2	=SI(B4<=B\$125;1;0)	=SI(B4<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B4<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
5	98,261	3	=SI(B5<=B\$125;1;0)	=SI(B5<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B5<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
6	97,6	4	=SI(B6<=B\$125;1;0)	=SI(B6<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B6<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
7	97,5	5	=SI(B7<=B\$125;1;0)	=SI(B7<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B7<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
8	97,441	6	=SI(B8<=B\$125;1;0)	=SI(B8<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B8<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
9	97,421	7	=SI(B9<=B\$125;1;0)	=SI(B9<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B9<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
10	97,297	8	=SI(B10<=B\$125;1;0)	=SI(B10<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B10<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
11	97,076	9	=SI(B11<=B\$125;1;0)	=SI(B11<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B11<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
12	96,679	10	=SI(B12<=B\$125;1;0)	=SI(B12<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B12<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
13	96,039	11	=SI(B13<=B\$125;1;0)	=SI(B13<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B13<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
14	95,918	12	=SI(B14<=B\$125;1;0)	=SI(B14<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B14<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
15	95,918	13	=SI(B15<=B\$125;1;0)	=SI(B15<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B15<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
16	95,238	14	=SI(B16<=B\$125;1;0)	=SI(B16<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B16<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
17	94,943	15	=SI(B17<=B\$125;1;0)	=SI(B17<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B17<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
18	94,418	16	=SI(B18<=B\$125;1;0)	=SI(B18<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B18<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
19	93,967	17	=SI(B19<=B\$125;1;0)	=SI(B19<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B19<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
20	93,478	18	=SI(B20<=B\$125;1;0)	=SI(B20<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B20<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
21	92,91	19	=SI(B21<=B\$125;1;0)	=SI(B21<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B21<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
22	92,275	20	=SI(B22<=B\$125;1;0)	=SI(B22<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B22<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
23	92	21	=SI(B23<=B\$125;1;0)	=SI(B23<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B23<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
24	91,363	22	=SI(B24<=B\$125;1;0)	=SI(B24<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B24<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
25	91,313	23	=SI(B25<=B\$125;1;0)	=SI(B25<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B25<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
26	91,245	24	=SI(B26<=B\$125;1;0)	=SI(B26<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B26<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
27	91,131	25	=SI(B27<=B\$125;1;0)	=SI(B27<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B27<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
28	90,979	26	=SI(B28<=B\$125;1;0)	=SI(B28<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B28<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
29	90,96	27	=SI(B29<=B\$125;1;0)	=SI(B29<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B29<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)
30	90,713	28	=SI(B30<=B\$125;1;0)	=SI(B30<=B\$126+B\$125;1;0)	=SI(B30<=(B\$125+B\$126+B\$127);1;0)

La variable binaria ESCENARIO 1 coincide con la variable selector 1

ESCENARIO 1 = selector 1

La variable binaria ESCENARIO 2 será 1 si la suma del selector 1 y selector 2 es uno, cero en caso contrario.

ESCENARIO 2: Si (selector 1 + selector 2) = 1, entonces 1, en caso contrario 0.

La variable binaria ESCENARIO 3 será 1 si la suma del selector 1 y selector 2 es uno, cero en caso contrario.

ESCENARIO 3: Si (selector 1 + selector 2+ selector3) = 1, entonces 1, en caso contrario 0

El número de elementos pertenecientes al escenario s será:

$$n_s = \sum_{i=1}^n ESCENARIO(S, i)$$

Que coincidiera con el número de veces en que la variable toma el valor 1.

$$n_{s1} = \sum_{i=1}^{120} ESCENARIO(1, i) = 52$$

$$n_{s2} = \sum_{i=1}^{120} ESCENARIO(2, i) = 41$$

$$n_{s3} = \sum_{i=1}^{120} ESCENARIO(3, i) = 27$$

Figura 7.2: Minimización error, variable binaria escenario y rendimiento

	F	G	H	I	J	K	L
1	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	Rendimiento medio de la pieza i en el ESCENARIO1, pmi	Rendimiento medio de la pieza i en el ESCENARIO1, pmi	Absoluto	Absoluto/pi
2					=PROMEDIO.SI(F3:F122;I:A3:A122)	=SI(F3=1;(ABS(A3-J3)))	=K3/A3
3	=C3	=SI((C3+D3=1);1;0)	=SI((C3+D3+E3=1);1;0)	=A3*F3		=SI(F4=1;(ABS(A4-J3)))	=K4/A4
4	=C4	=SI((C4+D4=1);1;0)	=SI((C4+D4+E4=1);1;0)	=A4*F4		=SI(F5=1;(ABS(A5-J3)))	=K5/A5
5	=C5	=SI((C5+D5=1);1;0)	=SI((C5+D5+E5=1);1;0)	=A5*F5		=SI(F6=1;(ABS(A6-J3)))	=K6/A6
6	=C6	=SI((C6+D6=1);1;0)	=SI((C6+D6+E6=1);1;0)	=A6*F6		=SI(F7=1;(ABS(A7-J3)))	=K7/A7
7	=C7	=SI((C7+D7=1);1;0)	=SI((C7+D7+E7=1);1;0)	=A7*F7		=SI(F8=1;(ABS(A8-J3)))	=K8/A8
8	=C8	=SI((C8+D8=1);1;0)	=SI((C8+D8+E8=1);1;0)	=A8*F8		=SI(F9=1;(ABS(A9-J3)))	=K9/A9
9	=C9	=SI((C9+D9=1);1;0)	=SI((C9+D9+E9=1);1;0)	=A9*F9		=SI(F10=1;(ABS(A10-J3)))	=K10/A10
10	=C10	=SI((C10+D10=1);1;0)	=SI((C10+D10+E10=1);1;0)	=A10*F10		=SI(F11=1;(ABS(A11-J3)))	=K11/A11
11	=C11	=SI((C11+D11=1);1;0)	=SI((C11+D11+E11=1);1;0)	=A11*F11		=SI(F12=1;(ABS(A12-J3)))	=K12/A12
12	=C12	=SI((C12+D12=1);1;0)	=SI((C12+D12+E12=1);1;0)	=A12*F12		=SI(F13=1;(ABS(A13-J3)))	=K13/A13
13	=C13	=SI((C13+D13=1);1;0)	=SI((C13+D13+E13=1);1;0)	=A13*F13		=SI(F14=1;(ABS(A14-J3)))	=K14/A14
14	=C14	=SI((C14+D14=1);1;0)	=SI((C14+D14+E14=1);1;0)	=A14*F14		=SI(F15=1;(ABS(A15-J3)))	=K15/A15
15	=C15	=SI((C15+D15=1);1;0)	=SI((C15+D15+E15=1);1;0)	=A15*F15		=SI(F16=1;(ABS(A16-J3)))	=K16/A16
16	=C16	=SI((C16+D16=1);1;0)	=SI((C16+D16+E16=1);1;0)	=A16*F16		=SI(F17=1;(ABS(A17-J3)))	=K17/A17
17	=C17	=SI((C17+D17=1);1;0)	=SI((C17+D17+E17=1);1;0)	=A17*F17		=SI(F18=1;(ABS(A18-J3)))	=K18/A18
18	=C18	=SI((C18+D18=1);1;0)	=SI((C18+D18+E18=1);1;0)	=A18*F18		=SI(F19=1;(ABS(A19-J3)))	=K19/A19
19	=C19	=SI((C19+D19=1);1;0)	=SI((C19+D19+E19=1);1;0)	=A19*F19		=SI(F20=1;(ABS(A20-J3)))	=K20/A20
20	=C20	=SI((C20+D20=1);1;0)	=SI((C20+D20+E20=1);1;0)	=A20*F20		=SI(F21=1;(ABS(A21-J3)))	=K21/A21
21	=C21	=SI((C21+D21=1);1;0)	=SI((C21+D21+E21=1);1;0)	=A21*F21		=SI(F22=1;(ABS(A22-J3)))	=K22/A22
22	=C22	=SI((C22+D22=1);1;0)	=SI((C22+D22+E22=1);1;0)	=A22*F22		=SI(F23=1;(ABS(A23-J3)))	=K23/A23
23	=C23	=SI((C23+D23=1);1;0)	=SI((C23+D23+E23=1);1;0)	=A23*F23		=SI(F24=1;(ABS(A24-J3)))	=K24/A24
24	=C24	=SI((C24+D24=1);1;0)	=SI((C24+D24+E24=1);1;0)	=A24*F24		=SI(F25=1;(ABS(A25-J3)))	=K25/A25
25	=C25	=SI((C25+D25=1);1;0)	=SI((C25+D25+E25=1);1;0)	=A25*F25		=SI(F26=1;(ABS(A26-J3)))	=K26/A26
26	=C26	=SI((C26+D26=1);1;0)	=SI((C26+D26+E26=1);1;0)	=A26*F26		=SI(F27=1;(ABS(A27-J3)))	=K27/A27
27	=C27	=SI((C27+D27=1);1;0)	=SI((C27+D27+E27=1);1;0)	=A27*F27		=SI(F28=1;(ABS(A28-J3)))	=K28/A28
28	=C28	=SI((C28+D28=1);1;0)	=SI((C28+D28+E28=1);1;0)	=A28*F28		=SI(F29=1;(ABS(A29-J3)))	=K29/A29
29	=C29	=SI((C29+D29=1);1;0)	=SI((C29+D29+E29=1);1;0)	=A29*F29		=SI(F30=1;(ABS(A30-J3)))	=K30/A30
30	=C30	=SI((C30+D30=1);1;0)	=SI((C30+D30+E30=1);1;0)	=A30*F30		=SI(F31=1;(ABS(A31-J3)))	=K31/A31
31	=C31	=SI((C31+D31=1);1;0)	=SI((C31+D31+E31=1);1;0)	=A31*F31		=SI(F32=1;(ABS(A32-J3)))	=K32/A32
32	=C32	=SI((C32+D32=1);1;0)	=SI((C32+D32+E32=1);1;0)	=A32*F32		=SI(F33=1;(ABS(A33-J3)))	=K33/A33
33	=C33	=SI((C33+D33=1);1;0)	=SI((C33+D33+E33=1);1;0)	=A33*F33		=SI(F34=1;(ABS(A34-J3)))	=K34/A34
34	=C34	=SI((C34+D34=1);1;0)	=SI((C34+D34+E34=1);1;0)	=A34*F34		=SI(F35=1;(ABS(A35-J3)))	=K35/A35
35	=C35	=SI((C35+D35=1);1;0)	=SI((C35+D35+E35=1);1;0)	=A35*F35		=SI(F36=1;(ABS(A36-J3)))	=K36/A36
36	=C36	=SI((C36+D36=1);1;0)	=SI((C36+D36+E36=1);1;0)	=A36*F36		=SI(F37=1;(ABS(A37-J3)))	=K37/A37
37	=C37	=SI((C37+D37=1);1;0)	=SI((C37+D37+E37=1);1;0)	=A37*F37		=SI(F38=1;(ABS(A38-J3)))	=K38/A38
38	=C38	=SI((C38+D38=1);1;0)	=SI((C38+D38+E38=1);1;0)	=A38*F38		=SI(F39=1;(ABS(A39-J3)))	=K39/A39
39	=C39	=SI((C39+D39=1);1;0)	=SI((C39+D39+E39=1);1;0)	=A39*F39		=SI(F40=1;(ABS(A40-J3)))	=K40/A40
40	=C40	=SI((C40+D40=1);1;0)	=SI((C40+D40+E40=1);1;0)	=A40*F40			

Figura 7.3: Programación minimización error, formulación error por escenario

	I	J	K	L	M	N
1	Rendimiento medio de la	Rendimiento medio de la	Absoluto	Absoluto/pi	Promedio	Absoluto
2	pieza i en el ESCENARIO1, pmi1	pieza i en el ESCENARIO1, pmi1	pi-pmi1		pmi2	pi-pmi2
93	=A93*F93		=S((F93=1;(ABS(A93-J53));0)	=K93/A93		=S((G93=1;(ABS
94	=A94*F94		=S((F94=1;(ABS(A94-J53));0)	=K94/A94		=S((G94=1;(ABS
95	=A95*F95		=S((F95=1;(ABS(A95-J53));0)	=K95/A95		=S((G95=1;(ABS
96	=A96*F96		=S((F96=1;(ABS(A96-J53));0)	=K96/A96		=S((G96=1;(ABS
97	=A97*F97		=S((F97=1;(ABS(A97-J53));0)	=K97/A97		=S((G97=1;(ABS
98	=A98*F98		=S((F98=1;(ABS(A98-J53));0)	=K98/A98		=S((G98=1;(ABS
99	=A99*F99		=S((F99=1;(ABS(A99-J53));0)	=K99/A99		=S((G99=1;(ABS
100	=A100*F100		=S((F100=1;(ABS(A100-J53));0)	=K100/A100		=S((G100=1;(AB
101	=A101*F101		=S((F101=1;(ABS(A101-J53));0)	=K101/A101		=S((G101=1;(AB
102	=A102*F102		=S((F102=1;(ABS(A102-J53));0)	=K102/A102		=S((G102=1;(AB
103	=A103*F103		=S((F103=1;(ABS(A103-J53));0)	=K103/A103		=S((G103=1;(AB
104	=A104*F104		=S((F104=1;(ABS(A104-J53));0)	=K104/A104		=S((G104=1;(AB
105	=A105*F105		=S((F105=1;(ABS(A105-J53));0)	=K105/A105		=S((G105=1;(AB
106	=A106*F106		=S((F106=1;(ABS(A106-J53));0)	=K106/A106		=S((G106=1;(AB
107	=A107*F107		=S((F107=1;(ABS(A107-J53));0)	=K107/A107		=S((G107=1;(AB
108	=A108*F108		=S((F108=1;(ABS(A108-J53));0)	=K108/A108		=S((G108=1;(AB
109	=A109*F109		=S((F109=1;(ABS(A109-J53));0)	=K109/A109		=S((G109=1;(AB
110	=A110*F110		=S((F110=1;(ABS(A110-J53));0)	=K110/A110		=S((G110=1;(AB
111	=A111*F111		=S((F111=1;(ABS(A111-J53));0)	=K111/A111		=S((G111=1;(AB
112	=A112*F112		=S((F112=1;(ABS(A112-J53));0)	=K112/A112		=S((G112=1;(AB
113	=A113*F113		=S((F113=1;(ABS(A113-J53));0)	=K113/A113		=S((G113=1;(AB
114	=A114*F114		=S((F114=1;(ABS(A114-J53));0)	=K114/A114		=S((G114=1;(AB
115	=A115*F115		=S((F115=1;(ABS(A115-J53));0)	=K115/A115		=S((G115=1;(AB
116	=A116*F116		=S((F116=1;(ABS(A116-J53));0)	=K116/A116		=S((G116=1;(AB
117	=A117*F117		=S((F117=1;(ABS(A117-J53));0)	=K117/A117		=S((G117=1;(AB
118	=A118*F118		=S((F118=1;(ABS(A118-J53));0)	=K118/A118		=S((G118=1;(AB
119	=A119*F119		=S((F119=1;(ABS(A119-J53));0)	=K119/A119		=S((G119=1;(AB
120	=A120*F120		=S((F120=1;(ABS(A120-J53));0)	=K120/A120		=S((G120=1;(AB
121	=A121*F121		=S((F121=1;(ABS(A121-J53));0)	=K121/A121		=S((G121=1;(AB
122	=A122*F122		=S((F122=1;(ABS(A122-J53));0)	=K122/A122		=S((G122=1;(AB
123	=A123*F123		suma	=SUMA(L3:L122)		
124	=SUMA(I3:I123)	suma	error 1	=L123/B125	error2	
125	=I124/B125	promedio				
126						

El resultado en nuestro caso de la programación minimización error, de las variables binarias selector y escenario sería:

Rendimiento ordenado pi	Orden	selector 1	selector 2	selector 3	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
99,268	1	1	1	1	1	0	0
98,851	2	1	1	1	1	0	0
98,261	3	1	1	1	1	0	0
97,6	4	1	1	1	1	0	0
97,5	5	1	1	1	1	0	0
97,441	6	1	1	1	1	0	0
97,421	7	1	1	1	1	0	0
97,297	8	1	1	1	1	0	0
97,076	9	1	1	1	1	0	0
96,679	10	1	1	1	1	0	0
96,039	11	1	1	1	1	0	0
95,918	12	1	1	1	1	0	0
95,918	13	1	1	1	1	0	0
95,238	14	1	1	1	1	0	0
94,943	15	1	1	1	1	0	0
94,418	16	1	1	1	1	0	0
93,967	17	1	1	1	1	0	0
93,478	18	1	1	1	1	0	0
92,91	19	1	1	1	1	0	0
92,275	20	1	1	1	1	0	0
92	21	1	1	1	1	0	0
91,363	22	1	1	1	1	0	0
91,313	23	1	1	1	1	0	0
91,245	24	1	1	1	1	0	0
91,131	25	1	1	1	1	0	0
90,979	26	1	1	1	1	0	0
90,96	27	1	1	1	1	0	0
90,713	28	1	1	1	1	0	0
90,353	29	1	1	1	1	0	0
90,177	30	1	1	1	1	0	0
90	31	1	1	1	1	0	0
89,917	32	1	1	1	1	0	0
88,889	33	1	1	1	1	0	0
88,365	34	1	1	1	1	0	0
88,304	35	1	1	1	1	0	0
88,302	36	1	1	1	1	0	0
87,973	37	1	1	1	1	0	0
87,738	38	1	1	1	1	0	0
87,592	39	1	1	1	1	0	0
87,379	40	1	1	1	1	0	0
87,201	41	1	1	1	1	0	0
86,777	42	1	1	1	1	0	0
86,333	43	1	1	1	1	0	0
85,907	44	1	1	1	1	0	0
85,743	45	1	1	1	1	0	0
85,563	46	1	1	1	1	0	0
85,095	47	1	1	1	1	0	0
83,81	48	1	1	1	1	0	0
82,938	49	1	1	1	1	0	0
82,821	50	1	1	1	1	0	0
82,421	51	1	1	1	1	0	0
82,419	52	1	1	1	1	0	0
81,639	53	0	1	1	0	1	0
81,322	54	0	1	1	0	1	0
80,971	55	0	1	1	0	1	0
80,851	56	0	1	1	0	1	0
80,769	57	0	1	1	0	1	0
80,271	58	0	1	1	0	1	0
79,412	59	0	1	1	0	1	0
79,138	60	0	1	1	0	1	0

79,038	61	0	1	1	0	1	0
78,571	62	0	1	1	0	1	0
77,84	63	0	1	1	0	1	0
77,778	64	0	1	1	0	1	0
77,342	65	0	1	1	0	1	0
76,855	66	0	1	1	0	1	0
76,719	67	0	1	1	0	1	0
75,957	68	0	1	1	0	1	0
75,835	69	0	1	1	0	1	0
75	70	0	1	1	0	1	0
74,916	71	0	1	1	0	1	0
74,833	72	0	1	1	0	1	0
74,681	73	0	1	1	0	1	0
73,717	74	0	1	1	0	1	0
73,439	75	0	1	1	0	1	0
73,26	76	0	1	1	0	1	0
72,28	77	0	1	1	0	1	0
72,188	78	0	1	1	0	1	0
71,99	79	0	1	1	0	1	0
71,06	80	0	1	1	0	1	0
70,617	81	0	1	1	0	1	0
70,289	82	0	1	1	0	1	0
69,423	83	0	1	1	0	1	0
69,231	84	0	1	1	0	1	0
68,452	85	0	1	1	0	1	0
68,24	86	0	1	1	0	1	0
66,922	87	0	1	1	0	1	0
66,483	88	0	1	1	0	1	0
65,811	89	0	1	1	0	1	0
64,236	90	0	1	1	0	1	0
62,888	91	0	1	1	0	1	0
61,652	92	0	1	1	0	1	0
61,118	93	0	1	1	0	1	0
60,417	94	0	0	1	0	0	1
60,404	95	0	0	1	0	0	1
58,333	96	0	0	1	0	0	1
56,875	97	0	0	1	0	0	1
56,75	98	0	0	1	0	0	1
55,8	99	0	0	1	0	0	1
55	100	0	0	1	0	0	1
54,765	101	0	0	1	0	0	1
53,782	102	0	0	1	0	0	1
52,316	103	0	0	1	0	0	1
51,632	104	0	0	1	0	0	1
50,889	105	0	0	1	0	0	1
50,278	106	0	0	1	0	0	1
49,333	107	0	0	1	0	0	1
48,519	108	0	0	1	0	0	1
47,146	109	0	0	1	0	0	1
46,571	110	0	0	1	0	0	1
45,154	111	0	0	1	0	0	1
44,749	112	0	0	1	0	0	1
43,824	113	0	0	1	0	0	1
42,824	114	0	0	1	0	0	1
41,999	115	0	0	1	0	0	1
41,75	116	0	0	1	0	0	1
40,988	117	0	0	1	0	0	1
40,744	118	0	0	1	0	0	1
40	119	0	0	1	0	0	1
39,13	120	0	0	1	0	0	1
	suma	52	93	120	52	41	27

Siguiendo con los resultados de la programación minimización error, rendimientos y errores por escenario.

Rendimiento medio de la pieza i en el escenario 1.	Absoluto	Absoluto/pi	Promedio	Absoluto	Absoluto/pi	Promedio	Absoluto	Absoluto/pi	Orden
π_{pm1}	π_{pm1}		π_{pm2}	π_{pm2}		π_{pm3}	π_{pm3}		
99,268	91,04267308	8,225326923	0,082859803	73,4886341	0	49,2582222	0	0	1
98,851		7,808326923	0,078990874		0		0	0	2
98,261		7,218326923	0,073460752		0		0	0	3
97,6		6,557326923	0,067185727		0		0	0	4
97,5		6,457326923	0,066228994		0		0	0	5
97,441		6,398326923	0,065663601		0		0	0	6
97,421		6,378326923	0,065471787		0		0	0	7
97,297		6,254326923	0,064280779		0		0	0	8
97,076		6,033326923	0,062150551		0		0	0	9
96,679		5,636326923	0,058299392		0		0	0	10
96,039		4,996326923	0,052023937		0		0	0	11
95,918		4,875326923	0,050828071		0		0	0	12
95,918		4,875326923	0,050828071		0		0	0	13
95,238		4,195326923	0,044050977		0		0	0	14
94,943		3,900326923	0,041080721		0		0	0	15
94,418		3,375326923	0,035748765		0		0	0	16
93,967		2,924326923	0,031120786		0		0	0	17
93,478		2,435326923	0,026052407		0		0	0	18
92,91		1,867326923	0,020098234		0		0	0	19
92,275		1,232326923	0,013354938		0		0	0	20
92		0,957326923	0,010405727		0		0	0	21
91,363		0,320326923	0,00350609		0		0	0	22
91,313		0,270326923	0,002960443		0		0	0	23
91,245		0,202326923	0,002217403		0		0	0	24
91,131		0,088326923	0,00096923		0		0	0	25
90,979		0,063673077	0,000699866		0		0	0	26
90,96		0,082673077	0,000908895		0		0	0	27
90,713		0,329673077	0,009634243		0		0	0	28
90,353		0,689673077	0,007633095		0		0	0	29
90,177		0,865673077	0,00959971		0		0	0	30
90		1,042673077	0,011585256		0		0	0	31
89,917		1,125673077	0,012519024		0		0	0	32
88,889		2,153673077	0,024228792		0		0	0	33
88,365		2,677673077	0,030302417		0		0	0	34
88,304		2,738673077	0,031014145		0		0	0	35
88,302		2,740673077	0,031037497		0		0	0	36
87,973		3,069673077	0,034893355		0		0	0	37
87,738		3,304673077	0,037665243		0		0	0	38
87,592		3,450673077	0,039394843		0		0	0	39
87,379		3,663673077	0,041928531		0		0	0	40
87,201		3,841673077	0,044055379		0		0	0	41
86,777		4,265673077	0,049156724		0		0	0	42
86,333		4,709673077	0,054552408		0		0	0	43
85,907		5,135673077	0,059781777		0		0	0	44
85,743		5,299673077	0,061808813		0		0	0	45
85,563		5,479673077	0,064042554		0		0	0	46
85,095		5,947673077	0,068894507		0		0	0	47
83,81		7,232673077	0,08629845		0		0	0	48
82,938		8,104673077	0,097719659		0		0	0	49
82,821		8,221673077	0,099270391		0		0	0	50
82,421		8,621673077	0,104605296		0		0	0	51
82,419		8,623673077	0,1046321		0		0	0	52
0		0	0	8,15036585	0,09983422		0	0	53
0		0	0	7,83336585	0,096325298		0	0	54
0		0	0	7,48236585	0,092407971		0	0	55
0		0	0	7,36236585	0,091060913		0	0	56
0		0	0	7,28036585	0,09013812		0	0	57
0		0	0	6,78236585	0,084493352		0	0	58
0		0	0	5,92336585	0,074590312		0	0	59
0		0	0	5,64936585	0,07138626		0	0	60

0	0	0	5,54936585	0,070211365	0	0	61
0	0	0	5,08236585	0,064685009	0	0	62
0	0	0	4,35136585	0,055901411	0	0	63
0	0	0	4,28936585	0,055148832	0	0	64
0	0	0	3,85336585	0,049822423	0	0	65
0	0	0	3,36636585	0,04380152	0	0	66
0	0	0	3,23036585	0,042106465	0	0	67
0	0	0	2,46836585	0,032496884	0	0	68
0	0	0	2,34636585	0,030940408	0	0	69
0	0	0	1,51136585	0,020151545	0	0	70
0	0	0	1,42736585	0,019052884	0	0	71
0	0	0	1,34436585	0,01796488	0	0	72
0	0	0	1,19236585	0,015966121	0	0	73
0	0	0	0,22836585	0,003097872	0	0	74
0	0	0	0,04963415	0,000675855	0	0	75
0	0	0	0,22863415	0,003120859	0	0	76
0	0	0	1,20863415	0,016721557	0	0	77
0	0	0	1,30063415	0,018017318	0	0	78
0	0	0	1,49863415	0,020817254	0	0	79
0	0	0	2,42863415	0,034177233	0	0	80
0	0	0	2,87163415	0,040664913	0	0	81
0	0	0	3,19963415	0,045521122	0	0	82
0	0	0	4,06563415	0,058563216	0	0	83
0	0	0	4,25763415	0,061498955	0	0	84
0	0	0	5,03663415	0,073579065	0	0	85
0	0	0	5,24863415	0,076914334	0	0	86
0	0	0	6,56663415	0,098123698	0	0	87
0	0	0	7,00563415	0,10537482	0	0	88
0	0	0	7,67763415	0,116661867	0	0	89
0	0	0	9,25263415	0,144041256	0	0	90
0	0	0	10,6006341	0,168563703	0	0	91
0	0	0	11,8366341	0,191991081	0	0	92
0	0	0	12,3706341	0,202405742	0	0	93
0	0	0	0	0	11,1587778	0,184695992	94
0	0	0	0	0	11,1457778	0,184520525	95
0	0	0	0	0	9,07477778	0,155568508	96
0	0	0	0	0	7,61677778	0,133921368	97
0	0	0	0	0	7,49177778	0,132013705	98
0	0	0	0	0	6,54177778	0,117236161	99
0	0	0	0	0	5,74177778	0,10439596	100
0	0	0	0	0	5,50677778	0,100552867	101
0	0	0	0	0	4,52377778	0,084113231	102
0	0	0	0	0	3,05777778	0,058448233	103
0	0	0	0	0	2,37377778	0,045974934	104
0	0	0	0	0	1,63077778	0,032045782	105
0	0	0	0	0	1,01977778	0,020282783	106
0	0	0	0	0	0,07477778	0,001515776	107
0	0	0	0	0	0,73922222	0,015235727	108
0	0	0	0	0	2,11222222	0,044801727	109
0	0	0	0	0	2,68722222	0,057701622	110
0	0	0	0	0	4,10422222	0,090893879	111
0	0	0	0	0	4,50922222	0,100766994	112
0	0	0	0	0	5,43422222	0,124001055	113
0	0	0	0	0	6,43422222	0,150248044	114
0	0	0	0	0	7,25922222	0,17284274	115
0	0	0	0	0	7,50822222	0,179837658	116
0	0	0	0	0	8,27022222	0,201771792	117
0	0	0	0	0	8,51422222	0,208968737	118
0	0	0	0	0	9,25822222	0,231455556	119
0	0	0	0	0	10,1282222	0,258835222	120
0	suma	2,282701032		2,699017915		3,192646576	
4734,219	suma	error 1	0,043898097	error2	0,065829705	error3	0,118246169
91,0426731	promedio						

Figura 7.4: Caso programación minimización error, función objetivo y restricciones.

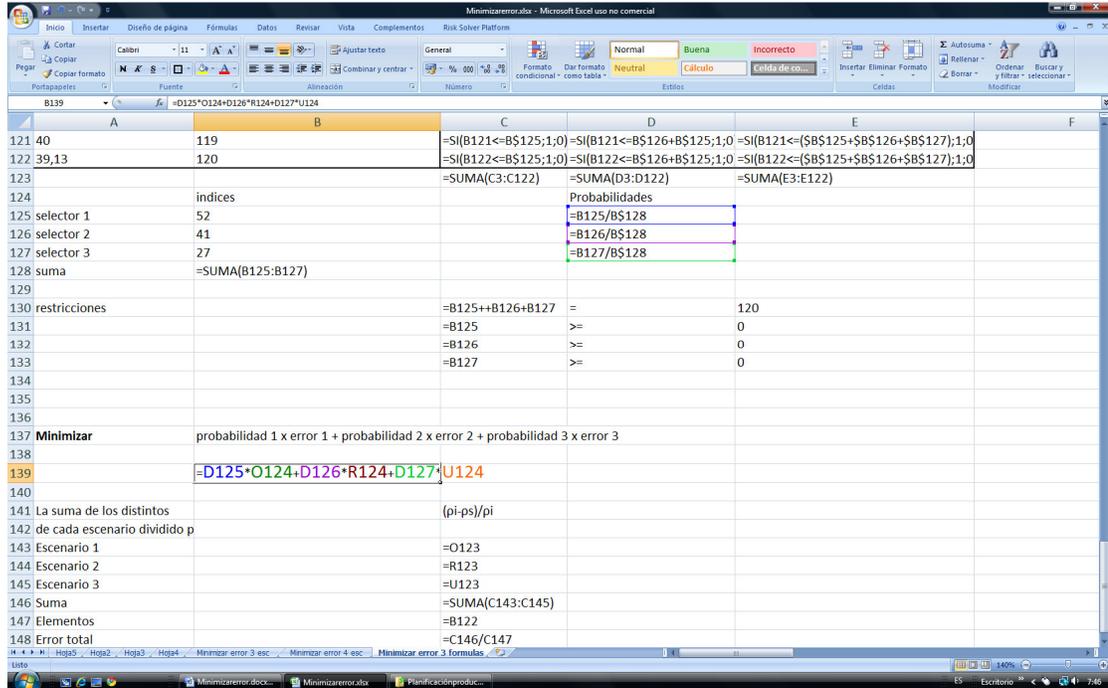


Figura 7.5: Caso programación minimización error, función objetivo y restricciones antes de procesar.

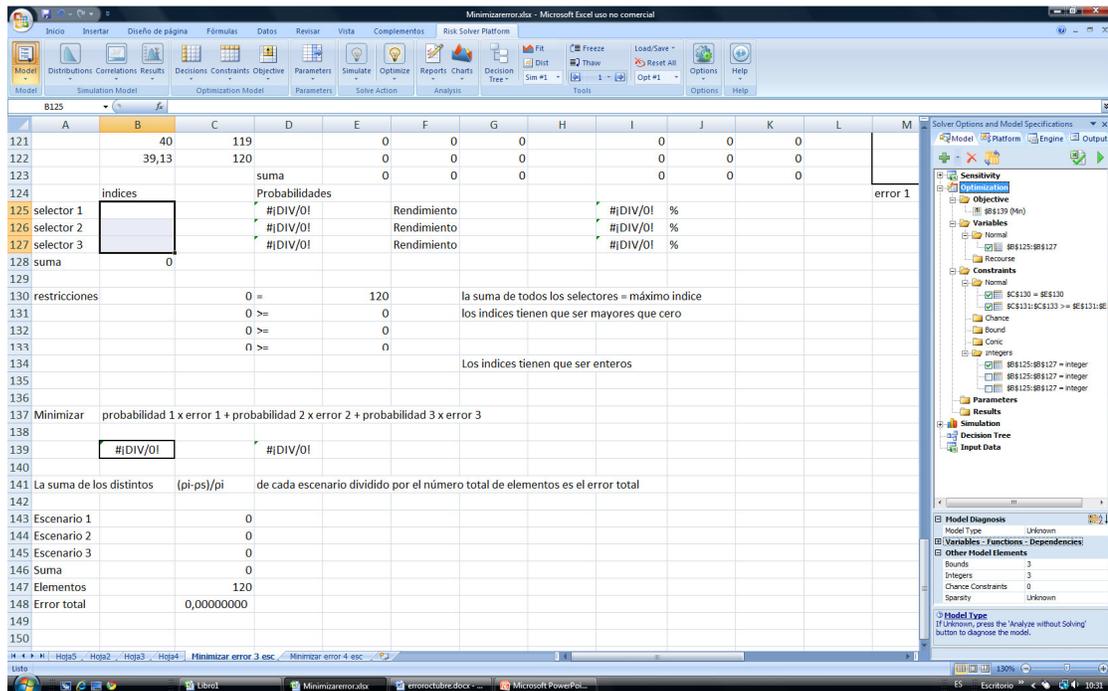
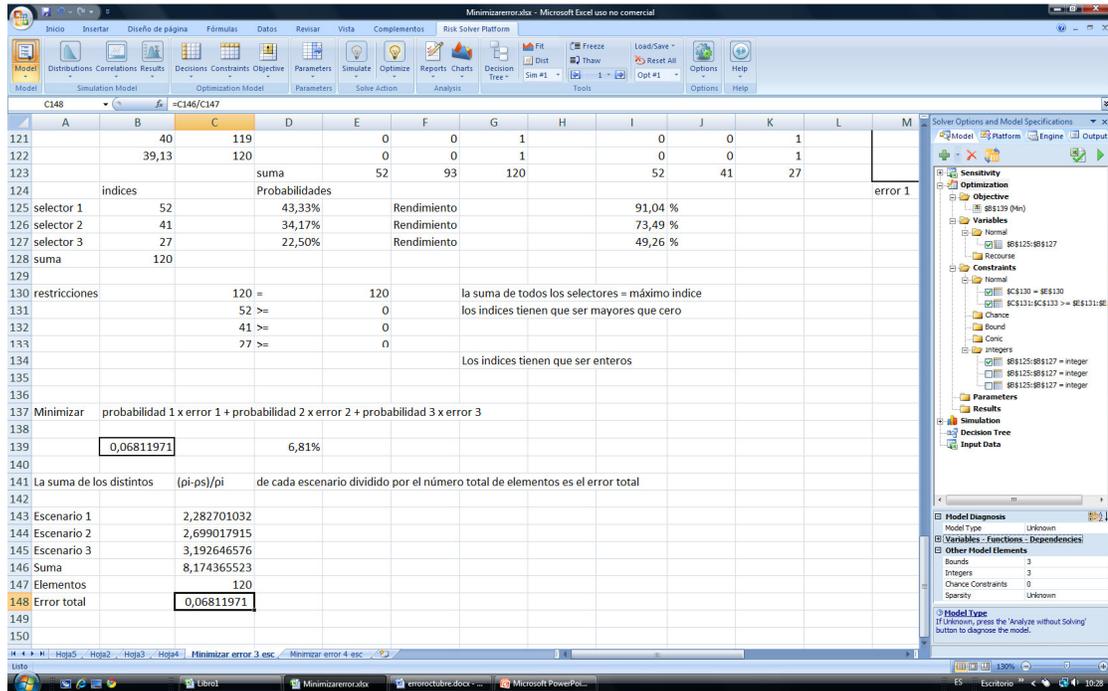


Figura 7.6: Caso programación minimización error: resultados.



El programa de optimización ha dado, 52, 41 y 27 elementos para cada uno de los escenarios, probabilidades de 43.3, 34.2 y 22.5, con unos rendimientos medios para cada uno de los escenarios de 91%, 73,5% y 49,3% y un error total de 0.068.

Al mostrarlo en forma de tabla se podrá comparar fácilmente con el número de elementos seleccionado con la ayuda del gráfico.

Mediante programa de optimización:

	Elementos	Probabilidades	Rendimiento
Escenario 1	52	43,33%	91,04 %
Escenario 2	41	34,17%	73,49 %
Escenario 3	27	22,50%	49,26 %

Mediante gráfico:

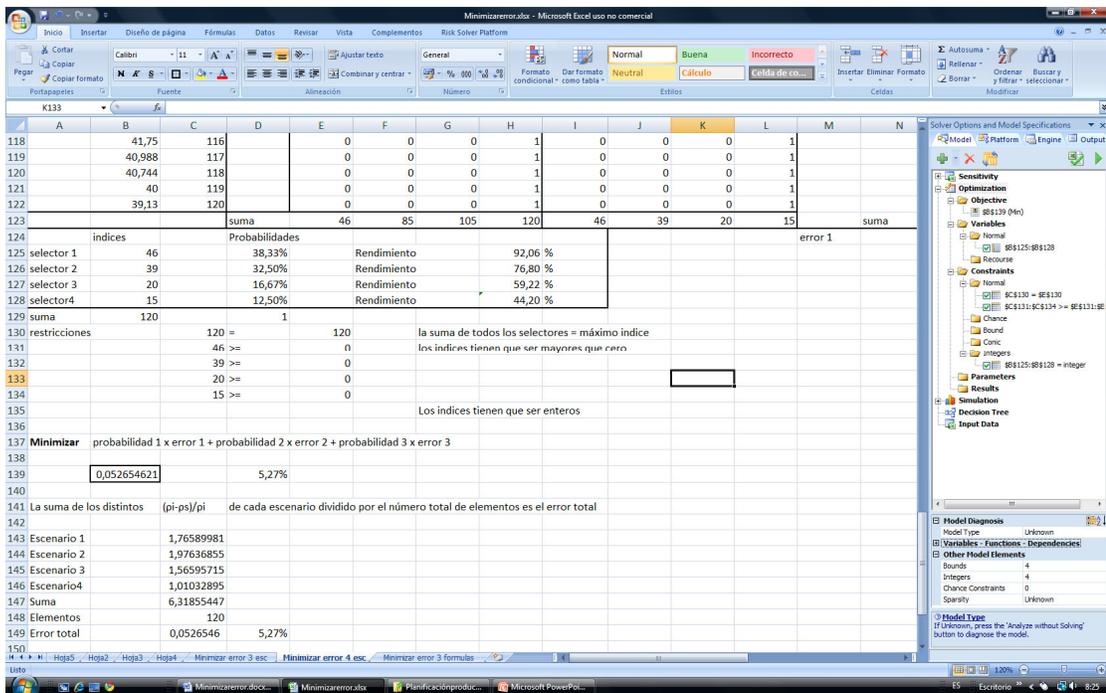
	Elementos	Probabilidades	Rendimiento
Escenario 1	60	50%	90 %
Escenario 2	36	30%	70 %
Escenario 3	24	20%	48 %

Lógicamente si el número de escenarios es aumentado, el error disminuye, aunque aumenta la complejidad del problema. Con estos mismos datos pero con 4 escenarios el resultado es:

	Elementos	Probabilidades	Rendimiento
Escenario 1	46	38,33%	92,1 %
Escenario 2	39	32,50%	76,8 %
Escenario 3	20	16,67%	59,2 %
Escenario 4	15	12,50%	44,2 %

Con un error del 5.27 %

Figura 7.7: Programación minimización error en Risk Solver cuatro escenarios, resultados.



CAPÍTULO 8: RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha visto la imperfección del inventario real como indicador de referencia de la planificación de las líneas serie-paralelo con desecho y reproceso. Con el objeto de evaluar correctamente los inventarios en curso un nuevo concepto es definido, el inventario ajustado: inventario de la sección disminuido por las pérdidas aguas abajo.

Partiendo de este nuevo concepto se han desarrollado nuevas visiones de definiciones clásicas como:

- .- Rotación: Piezas entregadas por el sistema al almacén, divididas, por el sumatorio de los inventarios ajustados en curso ajustados.
- .- Tiempo de proceso: Inventario total ajustado, dividido por la producción neta.
- .- Gestión de talleres: El inventario ajustado por la rotación en cualquier taller será igual a las piezas buenas que salen del almacén.
- .- El inventario ajustado será la producción neta por unidad de tiempo por el tiempo de proceso.

También cuantificamos la influencia temporal en el flujo del proceso en paralelo: el número de piezas que salen en cada ciclo es una función exponencial; cuya mantisa depende del rendimiento del sistema y cuyo exponente depende del número de ciclos.

Asimismo, se ha realizado un análisis de sensibilidad de las variaciones de los inventarios al variar la demanda.

En un intento de ayudar en la toma de decisiones se han definido, mediante un análisis casual, nuevas métricas de gestión y control de inventarios, asociando conceptos y filosofías que han sido desarrolladas y utilizadas durante años para la gestión en el campo del control financiero.

También se ha intentado ayudar al administrador analizando las desviaciones pasadas.

Se han desarrollado algoritmos y seleccionado los programas de software apropiados para realizar una planificación óptima de la producción en este entorno de incertidumbre mediante programación estocástica. Para conseguirlo se tiene en cuenta la

incertidumbre de las variaciones del proceso representando la infinidad de posibles resultados en varios escenarios transformado la serie histórica en una gráfica de rendimientos monótonos, incluyendo en el modelo la estocasticidad proveniente de esa serie.

Se analiza la influencia de la estocasticidad en los resultados a través de medidas como el valor esperado de la información perfecta y el valor de la solución estocástica, permitiendo cuantificar el modelo estocástico frente al determinista.

Además se ha supuesto el caso de no disponer de una serie histórica de resultados del proceso, desarrollando un sistema de elección de datos para los distintos escenarios mediante el método de Monte Carlo.

Y por último, se ha desarrollado un algoritmo de minimización del riesgo en la elección del parámetro que representan a cada uno de estos escenarios.

Para una mejor claridad y comprobación sistemática de la exposición se ha acompañado todo el desarrollo con la realización de casos a lo largo del documento.

CAPÍTULO 9 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Se ha visto que existe un camino fructífero donde mejorar el modelo estocástico, donde erigir un modelo de probabilidades basado en ajustes de inventarios y capacidad de producción, integrándolo con estimaciones de ventas.

Quedan muchos puntos sobre los que se pueden profundizar, como una mejora en la selección de los ratios, utilizando como factores la experiencia y las peculiaridades de distintos sistemas de producción y logística.

Los sistemas de predicción que se basan en series históricas están abundante documentadas. Sin embargo, no así en el caso de no tener una experiencia previa, recuérdese casos de proyectos que tenían un cierto grado de incertidumbre, como grandes obras públicas o privadas, la implantación de nuevos negocios o las mejoras esperadas de un sistema de enseñanza. En el caso del gestor de producción, en los sistemas de producción con reproceso y desechos, su gran reto es la planificación del lanzamiento de un nuevo modelo, ya que a los desafíos de la determinación de demanda, a veces desconocida, o la curva de aprendizaje, deberán incluirse previsiones de valores difícilmente cuantificables que afectan a la calidad del servicio y a los resultados económicos de la operación. El método de Monte Carlo es un método científicamente probado, sin embargo las valoraciones previas de expertos en la elección de los escenarios posibles puede ser tendenciosa, el desarrollo de sistemas de evaluación de estas tendencias basadas en estudios históricos de los evaluadores es un tema que debería ser integrado en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA ⁷

Aghezzaf, E., Sitompul, C., Najid, N., 2010. Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands. *Computers & Operations Research*, Vol. 37(5), p. 880.

Ahmed, S., King, A.J., Parija, G., 2003. A Multi-Stage Stochastic Integer Programming Approach for Capacity Expansion under Uncertainty, *Journal of Global Optimization*, Volume 26, (1), pp.3-24.

Akçali, E., Çetinkaya, S., 2011. Quantitative models for inventory and production planning in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Research*, Vol. 49(8), p. 2373.

Alireza Haji, Rasoul Haji, Sajadifar S.M., 2006. Lot Sizing with Non-Zero Setup Times for Rework; *Service Systems and Service Management*, 2006 International Conference on, Oct. 2006, Volume : 1, pp. 267 – 271.

Alonso-Ayuso A., Escudero L.F., Ortuno M.T., 2005. Modeling production planning and scheduling under uncertainty. (Edited by S.W. Wallace and W.T. Ziemba). *Applications of Stochastic Programming, MPS-Siam- Series in Optimization, UUEE*. pp. 217 – 252.

Alonso-Ayuso A., Escudero L.F., Garin A., Ortuno M.T., Perez G., 2005. On the product selection and plant dimensioning problem under uncertainty. *Omega*, 33 (4), pp. 307-318.

Alonso-Ayuso, A., Cerdá,E., Escudero, L.F., Sala,R., 2004. Optimización bajo incertidumbre. ASEPUMA.

Alonso-Ayuso, A., Escudero, L., Garín, M.A., Merino, M., Monge. J.F., Pérez, G., Pizarro, C., 2008. Capítulo 3. Modelización Estocástica. *Optimización Bajo Incertidumbre*, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid. Páginas 21-24, 37.

⁷Se ha seguido el formato de la revista *International Journal of production economics*.

Alonso-Ayuso, A., Escudero, L.F., Garín, A., Ortuño M.T., Pérez, G., 2003. An Approach for Strategic Supply Chain Planning under Uncertainty based on Stochastic 0-1 Programming. *Journal of Global Optimization*, Volume 26, (1), pp. 97-124.

Anton J, Kleywegt, Shapiro A., Homem de Mello, T., 2001. The sample average approximation method for stochastic discrete Optimization, *Society for Industrial and Applied Mathematics J. OPTIM* Vol. 12, (2), pp. 479–502.

Armbruster, D., Daniel E Marthaler, D., Christian Ringhofer, C., Kempf K., Tae-C., 2006. A Continuum Model for a Re-entrant Factory, *Operations Research*; Sep/Oct .Vol 54(5); pp. 933-1012.

Arrow K.J., Harris,T., Marschak.J. , 1951. Optimal inventory policy. *Econometria* Vol. 19, pp. 250-272.

Babak Haji, B., Haji,A., Rasoul Haji, 2009 .IEEE Optimal Batch Production with Minimum Rework Cycles and Constraint on Accumulated Defective Units 2009 Service Operations, Logistics and Informatics, 2009 IEEE/ INFORMS International Conference on, Pp. 633-638.

Bauer, W.F., 1958. The Monte Carlo Method, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* Vol. 6 (4) pp 438-451.

Bellman R., 1957. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. UUEE.

Ronen, B., Starr M.K., 1990. Synchronized manufacturing as in OPT: from practice to theory *Computers & Industrial Engineering* Volume 18 (4), pp. 585-600.

Brown, Goodell, R., 1959. *Statistical Forecasting for Inventory Control*. McGraw Hill, New York.

Brown, P.A., 2008. A Review of the Literature on Case Study Research. *Revue Canadienne des jeunes chercheuses et chercheurs en education*. July 2008. Volume 1, (1).

Buzacott, J.A., Zhang, A., 2004. Inventory Management with Asset-Based Financing. *Management Science*, Vol. 50 (9), pp. 1274-1292.

Caballero, R., Cerdá, E., 1997. Programación estocástica multiobjetivo. Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Málaga.2 Departamento de Análisis Económico. Universidad Complutense de Madrid. V Jornadas de Asepuma.

Candace Arai Yano, Hau L., Lee Source; 1995. Lot Sizing with Random Yields, A Review *Operations Research*, Vol. 43, (2) (Mar. - Apr., 1995), pp. 311-334.

Caplin, A., Leahy, J., 2010. Economic Theory and the World of Practice: A Celebration of the (S, s) Model *Journal of Economic Perspectives*—Volume 24, (1), Winter 2010, Pages 183–202.

Caramanis, M.C., Chang-Chen Wu, Paschalidis, I., 2009. Production planning and quality of service allocation across the supply chain in a dynamic lead time model. Ph.D. dissertation, Boston University, Massachusetts. UU.EE.

Carrillo, A., 2002. Estadística aplicada. Capítulo 3.2.2. Instituto de Postgrado y Formación Continua. Comillas, Icade. Madrid.

Casasus, T.; Mocholi, M.; Sanchis, V., Sala, R., 1997. Optimización Económica con Gams. Departamento de Economía Financiera y Matemática. Universidad de Valencia. V Jornadas de Asepuma.

Casesnoves, D.M., Soler J.M., 1976. Estadística teórica y aplicada. U.N.E.D.

Cliff Ragsdale, T., 2010. *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*. Sixth Edition, published by South-Western College Publishing.

Cottle, R.W., Curtis Eaves, B., Saunders, M.A., 2006. Memorial Resolution: George Bernard Dantzig. Stanford Report.

Chan, W., & Malmberg, C., 2010. A Monte Carlo simulation based heuristic procedure for solving dynamic line layout problems for facilities using conventional material handling devices. *International Journal of Production Research*, 48(10), p. 2937.

Chao H. 1992. The EOQ model with stochastic demand and discounting. *European Journal Opererational Research*. Vol.:59, pp. 434-443.

Chase, Aquilano, Jacobs. 2000. *Administración de Producción y Operaciones*. Octava Edición. Mc Graw. Sección 4. Pp. 580-581.

Chen, C., Monahan, G., 2010. Environmental safety stock: The impacts of regulatory and voluntary control policies on production planning, inventory control and environmental performance. *European Journal of Operational Research*, Vol.: 207(3), p. 1280.

Chiu, S., 2010. Robust planning in optimization for production system subject to random machine breakdown and failure in rework. *Computers & Operations Research*, 37(5), p.: 899.

Cooper W.W., Seiford L.M. , Tone K., 2006. *Data Envelopment Analysis and its uses*. Springer. Spring Street, New York, NY 10013, USA.

Dantzig, G.B. and Glynn Peter .W., 1990. *Parallel Processors for Planning Under Uncertainty*. *Annals of Operations Research*. Department of Operations Research, Stanford University, Standford, CA 94305, USA. Vol 22, pp 1-21.

Dantzig, G.B. and Thapa, M.N., 1997. *Linear Programming Introduction*. Springer Series in Operations Research, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA.

Dantzig, G.B. and Wolfe, P., 1960. *Decomposition Principle for Linear Programs*. *Operations Research*. January-February 1960. Vol 8, (1), pp 101-111.

Dantzig, G.B., 1955. *Linear Programming Under Uncertainly*. *Management Science*. Vol. 1, No. 3/4 (Apr. - Jul., 1955), pp. 197-206.

Dantzig, G.B.,1963. "Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. Princeton New Jersey, USA. 1963, Eleventh printing, Princeton Landmarks In Mathematics 1998, USA.

Dantzig. G.G.,and Infanger, G. ,1991.Multi stage Stochastic Linear Programs for Portfolio Optimization. Systems Optimization Laboratoy. Department of Operations Research. Stanford University, Stanford, CA 94305-4022, USA Technical Report September Sol 91-11. September.

David E. Luenberger, 1989. Programación lineal y no lineal; Addison-Wesley, Wilmington, Delaware, USA.

Denizel, M., Ferguson, M., & Souza, G., 2010. Multiperiod Remanufacturing Planning With Uncertain Quality of Inputs. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.: 57(3), p.:394.

Dennis D. Newhart, Kenneth L. Stott, Jr., Francis J. Vasko. 1993. Consolidating Product Sizes to Minimize Inventory Levels for a Multi-Stage Production and Distribution System. The Journal of the Operational Research Society, Vol. 44,(7), pp. 637- 644.

Dominguez, J.A.,2005. Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y servicios. Paginas: 119, 155, 223.

Dvoretzky, A., J.Kiefer, J.Wolfowitz, 1952. a) The inventory Problem. I: Case of known distributions of demand. Econometrica Vol. 20 pp. 187-222.

Dvoretzky, A., J.Kiefer, J.Wolfowitz, 1952. b) The inventory problema. II: Case of unknown distributions of demand. Econometrica Vol. 20 pp. 450-466.

Eisenhardt; Katheleen M., 1989. Building Theories From Case Study Research, Academy of Management. The Academy of Management Review; Oct 1989; Vol.:14,(4); pp. 532-550

Erland, Agner Krarup, 1909. The Theory of Probabilities and Telephone Conversations. Nyt Tidsskrift for Matematik B. Vol 20, p.33.

Fernández, E., Avella, L., Fernández M., 2006. Área de organización de empresas, Universidad de Oviedo. Estrategia de producción. McGraw-Hill Interamericana de España.

Settanni, E., Emblemståg, J., 2010. Applying a non-deterministic conceptual life cycle costing model to manufacturing processes. *Journal of Modelling in Management*, Vol. 5(3), pp.: 220-262.

Fagerholt, K., Christiansen, M., Hvattum, L., Johnsen, T., Vabø, T., 2010. A decision support methodology for strategic planning in maritime transportation. *Omega*, 38(6), p.: 465.

Faizul Huq, Thomas, F., Stafford, M., Khurram, S., Bhutta, Saurajit Kanungo, 2010. An examination of the differential effects of transportation in supply chain optimization modeling. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol.:21(2), pp.:269-286.

Fortuna D., 2000. Ceramic Technology Sanitaryware, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.P.A. p. 149.

Franks, S., 2004. Bringing. *IEE Manufacturing Engineer* June-July 2004. Pg. 38-42.

Frederick Taylor 1903. Shop management; a paper read before the American society of mechanical engineers. New York.

Frederick Taylor, 1911. Principles of Scientific Management. New York and London, Harper & brothers.

Bylinsky, G., 1983. An Efficiency guru with a brown box. *Fortune*; 120 ,September 1983.

García D., 2006. Simulación y análisis de sistemas Pearson Educacion Mexico, Capitulo 1, p.3.

Giannoccaro I, Pierpaolo Pontrandolfo, 2002. Inventory management in supply chains: A reinforcement learning approach. *International Journal of Productions Economics* Vol. 78, pp. 153-161.

Glaser, Barney G & Strauss, Anselm L., 1967. The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research, Chicago, Aldine Publishing Company, p. 30.

Graves, S.,2008. Uncertainty and Production Planning. MIT. Massachusetts Avenue, Cambridge, England.

Guglielmo Lulli and Suvrajeet Sen, 2004. A Branch-and-Price Algorithm for Multistage Stochastic Integer Programming with Application to Stochastic Batch-Sizing Problems, Management Science Vol. 50 (6) , pp. 786-796.

Haji, A., Sikari, S., & Shamsi, R., 2010. The effect of inspection errors on the optimal batch size in reworkable production systems with scraps. International Journal of Product Development, Vol 10 (1-3), p. 201.

Hall W. Robert. 1981. Driving the productivity machine production planning and control in Japan : A research report . Published by American Production and Inventory Control Society.

Hall, Randolph W. 1985. What's So Scientific About Management Science/Operations Research (MS/OR)? Department of Industrial Engineering and Operations Research Etcheverry Hall, University of California Berkely, California 94720, Interfaces, vol. 15.

Handfield, R.S., Melnyk, S.A., 1998. The scientific Theory-Building process: a primer using the case of TQM, (Total Quality Management). Journal of Operations Management, Vol. 16 (4), pp. 321-339.

Harris Ford W., 1913. How Many Parts to Make at once. Factory, The Magazine of Management, Vol. 10, Number 2, February 1913, pp. 135-136, 152.

Harvey M Wagner. 2002. And then there were none. Operations Research; Jan/Feb; 50, (1); pp. 217-226.

Hastie, R. ,Dawes, R.M., 2001. Rational Choice in an Uncertain World: The Psychology of Judgement and Decision Making, Second Edition. Sage Publications 2455 Teller Road Thousand Oaks California 91320. UUEE. Páginas: 42-43.

Hausman Warren H., 2005. The practice of supply chain management: where theory and application converge: Supply chain performance Metrics. Pp. 61-68.

Hausman, Warren H. 2004 . Supply Chain Performance Measures. In Corey Billington, Terry Harrison, Hau Lee, and John Neale, eds., The Practice of Supply Chain Management. New York: Springer Science & Media Inc.

Hicks, C., Pongcharoen, P., 2009. Applying different control approaches for resources with high and low utilization: a case study of the production of complex products with stochastic processing times. International Journal of Technology Management, Vol. 48(2), p.202.

Huang, K., Ahmed, S., 2010. A stochastic programming approach for planning horizons of infinite horizon capacity planning problems. European Journal of Operational Research, No.: 200(1), p. 74.

Huang, K., 2005. Multi-stage stochastic programming models in production planning. Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, United States -- Georgia. Retrieved March 26, 2011, from Dissertations & Theses: A&I. Capitulo IV, página 52.

Missbauer, H., 2009. Models of the transient behaviour of production units to optimize the aggregate material flow. International Journal of Production Economics 118 pp.: 387–397.

Huh, W., Kachani, S., & Sadighian, A., 2010. Optimal Pricing and Production Planning for Subscription-Based Products. Production and Operations Management, 19(1), pp.: 19-39.

Hummels, D., 2001. Time as a Trade Barrier. Working paper. Purdue University, Department of Economics, West Lafayette. Indiana. UU.EE.

Konstantaras, I., Goyal, S.K., Papachristos, S., 2007. Economic ordering policy for an item with imperfect quality subject to the in-house inspection. International Journal of Systems Science. Vol. 38 (6), pp. 473–482.

Ilaria Giannoccaro, Pierpaolo Pontrandolfo. 2002. Inventory management in supply chains: a reinforcement learning approach. *International Journal of Productions Economics* Vol.:78, pp.:153-161.

Ioannis Ch Paschalidis; Yong Liu. 2003. Large deviations-based asymptotics for inventory control in supply chains. *Operations Research*; Vol 51(3); pp. 437-460.

Irfan, M., 2010. A framework for developing optimal pavement life-cycle activity profiles. Ph.D. dissertation, Purdue University, United States -- Indiana.

J. Edward Russo and Paul J.H. Schoemaker. 2002. *Winning Decision, Getting it Right the First Time* Doubleday N.Y. January 2002.

James T. Lin, Cheng-Hung Wu, Tzu-Li Chen, Shin-Hui Shih. 2011. A stochastic programming model for strategic capacity planning in thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) industry, *Computers & Operations Research*, Volume 38(7), pp: 992-1007.

Jay Heizer , Barry Render. 2003. *Dirección de la Producción*. 6ª Ed. Pearson Education. Capitulo 4, p. 83.

John S. Edwards , Paul N. Finlay and Wilson J. M. 2000. The role of OR specialists in 'do it yourself' spreadsheet development. Aston Business School, Aston University. *European Journal of Operational Research* Volume 127, (1), 16 November 2000, Pages 14-27

Kakoty, J.. 2011. Stochastic Modeling of Some Managerial Aspects of Production Planning. *IUP Journal of Operations Management*, 10(1), pp.29-42.

Karl B. Manrodt, Joseph Tillman, Kate Vitasek.2010. Encuesta on line Enero 2010. Education and Research Council (WERC), Universidad de Georgia Southern y la consultoría Supply Chain Visions, UU.EE..

Kevin J. Watson, John H. Blackstone, Stanley C. Gardiner. 2007. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management* Volume 25 (2), Pp. 387-402.

Kleywegt, A.J., Shapiro, A., Homem-de Mello, T., 2001. The sample average approximation method for stochastic discrete optimization. *SIAM Journal on Optimization*. Vol. 12, pp. 479-502.

L.V. Kantorovich. 1939. *Mathematical Methods of Organizing and Planning Production*. *Management Science*, Vol. 6, No. 4 (Jul., 1960), pp. 366–422

Laureano F. Escudero, Juan Francisco Monge. 2008. Planificación de la producción bajo incertidumbre, *Optimización Bajo Incertidumbre*, Biblioteca Comillas Capítulo 13 Páginas 287-295.

Li, C., Liu, F., Cao, H., & Wang, Q., 2009. A stochastic dynamic programming based model for uncertain production planning of re-manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3657.

Lodree, E., & Uzochukwu, B., 2008. Production planning for a deteriorating item with stochastic demand and consumer choice. *International Journal of Production Economics*, Vol. 116 (2), p.: 219.

Lucas C.; MirHassani S.A.; Mitra G.; Poojari C.A. 2001. An application of Lagrangian relaxation to a capacity planning problem under uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, Volume 52, (11) , pp. 1256-1266.

Marshall L. Fisher, 1997. What is the Right supply Chain for your product? *Harvard Business Review* 97205, p. 105.

Martin Christopher. 2005. *Logistics and supply chain management: creating value added networks*, Third Edition Pearson Education Limited, Great Britain. p. 278.

Masakazu Muramatsu, 2010. A model with If Functions. *User Guide Risk Solver Platform*. Frontline Systems, Inc., P.O. Box 4288, Incline Village, NV 89450, pp. 56-59.

Masakazu Muramatsu. 2010. *User Guide Risk Solver Platform*. Frontline Systems, Inc., P.O. Box 4288, Incline Village, NV 89450 pp. 63-64.

Masoumeh Kazemi Zanjani , Daoud Ait-Kadi, Mustapha Nourelfath, 2010. Robust production planning in a manufacturing environment with random yield: A case in sawmill production planning European Journal of Operational Research Vol.: 201 pp.: 882–891.

Metropolis, I., Ulam, S. ,1949. The Monte Carlo method, J. Am. Statist. Assoc., Vol:44, pp. 335-341.

Morse, P. ,1958. Queues, Inventories, and Maintenance, John Wiley and Sons, New York. UU.EE.

Mula, J., Poler, R., García-Sabater, J.P., Lario F.C., 2006. Models for production planning under uncertainty: A review. International Journal of Production Economics Vol.: 103, pp. 271–285.

Mula, J., Poler, R., Lario F.C., 2002. Modelos y Métodos para la Planificación de la Producción de la Cadena de suministro bajo Incertidumbre: Una introducción al Estado del Arte. CIO 2002 Gestión de la producción 447, II Conferencia de Ingeniería de Organización Vigo, 5-6 Septiembre 2002.

Nahmias, S., 2007. Análisis de la producción y operaciones. 5ª Edición. Mc. Graw Hill. Capítulo 8. Página 433.

Narasimhan, Sim; McLeavy, Dennis W., Billington, P., 1996. Planeación de la producción y control de inventarios. Prentice Hall. México. Capítulo 4, página 91.

Nourelfath, M., 2011. Service level robustness in stochastic production planning under random machine breakdowns. European Journal of Operational Research, Vol.: 212(1), p.: 81.

Oke, S.A., Ayomoh, M.K.O., Oyedokun, I.O., 2007. An approach to measuring the quality of maintenance performance. IMA Journal of Management Mathematics, Vol.: 18(1), p.:17.

Parker, R.P., Kapuscinski, R., 2004. Optimal Policies for a Capacitated Two-Echelon Inventory System. Operations Research Vol. 52 (5), pp. 739-755.

Powell, S.G., Baker, K.R., 2010. The Art of Modeling with Spreadsheets. Management Science. Third Edition, published by John Wiley & Sons, ISBN 0-470 53067-7, Capitulo 1, página 4.

Prékopa, A., 1995. Stochastic Programming. Kluwer Academic Publishers, AA. Dordrecht, The Netherlands. P.: 235.

Ramos, A., 2008 Optimización Estocástica, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad de Comillas, Madrid. Página 28.

Ramos, A., 2009. Optimización Estocástica, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia de Comillas. Madrid.

Ramos, A., Alonso-Ayuso, A., Perez, G., 2008. Optimización bajo incertidumbre, Publicaciones de la Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.

Ramos, A., Cerisola, S., 2009. Optimización Estocástica. Universidad Pontificia de Comillas, Departamento de Organización, Madrid. Octubre 2009, Página 10.

Ramos, A., Cerisola, S., 2009. Analysis of stochastic problem decomposition algorithms in computational grids. Annals of Operations Research. Vol. 166 (1), pp 355-373.

Ray Wild, 2002. Operations Management. Sixth Edition. Continuum, London. Cap. 16. Pp.: 545-569.

Roach B., 2005. Origins of the Economic Order Quantity Formula, Washburn University, Topeka, Kansas UUEE. School of business working paper series, Number 37.

Rosenthal, R.E., 2004. A GAMS TUTORIAL Naval Postgraduate School, Monterey, California USA.

Rosenthal, R.E., 2010. Gams a User's Guide, Gams Development Corporation, Washington, DC, USA

Sajadieh, M., Jokar, M., & Modarres, M., 2009. Developing a coordinated vendor-buyer model in two-stage supply chains with stochastic lead-times. Computers & Operations Research, Vol.: 36(8), p.: 2484.

- Sanchez J., 2007. Organización de la producción, Distribuciones en planta y mejora de los métodos y tiempos. Editorial Pirámide. Tema 13
- Sanz C.J., 2002. Guía de los principales ratios. Acciones e Investigaciones Sociales, 14 (feb. 2002), .Universidad de Zaragoza .pp. 137-148
- Schrage, M., 2000. Serious Play: how the work's best companies simulate to innovate, Harvard Business School Press. Páginas 11-14.
- Schroeder, R.G., 1992. Administración de Operaciones-Toma de decisiones en la función de operaciones. Mc.Graw Hill. Páginas: 79, 453, 455.
- Shannon, R.E., 1988. Simulación de Sistemas.. Ed. Trillas. 1988. Capitulo 1
- Shapiro, A.,Philpott, A., 2007. A Tutorial on Stochastic Programming. School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332-0205.
- Shin, D., Park, J., Kim, N., & Wysk, R.. 2009. A stochastic model for the optimal batch size in multi-step operations with process and product variability. International Journal of Production Research, Vol 47(14), p. 3919.
- Singh, K., Philpott, A., Wood, R., 2009. Dantzig-Wolfe Decomposition for Solving Multistage Stochastic Capacity-Planning Problems. Operations Research, Vol.:57(5), 1271-1286, 1305-1306.
- Spence, A., 1992. Random Yield, Rework and scrap in a multistage batch manufacturing environment. Operations Research, Vol. 40 (3) pp. 551-563
- Sun, D., and Queyranne,M., 2002. Production and Inventory Model Using Net Present Value. Operations Research, Vol. 50, (3), pp. 528-537
- Sun, G., Lee, L., Chew, E., Shao, J., 2010. A gradient search and column generation approach for the build-pack planning problem with approved vendor matrices and stochastic demand. International Journal of Production Research, Vol.:48(19), p:5783.

Taaffe, K., Geunes, J., Romeijn, H., 2010. Supply capacity acquisition and allocation with uncertain customer demands. *European Journal of Operational Research*, Vol. 204(2), p. 263.

Van der Laan, E. A., Salomon, M., Dekker, R., 1999. An investigation of lead time effects in manufacturing/remanufacturing systems under simple PUSH and PULL control strategies. *European Journal of Operational Research* vol: 115, pag. 195-214.

Van Nyen, P., Bertrand, J., & Van Ooijen, H., 2009. A computational comparison of cyclical and non-cyclical control for stochastic production-inventory systems. *International Journal of Production Research*, Vol. 47(16), p. 4609.

Veinott H. Wagner. 1965. Computing optimal (s,S) inventory policies. *Management Science* Vol. 11 (5), Series A, Mar., pp. 525-552.

Voss, C., Tskriktis, N.,Frohlich, M., 2002. Case Research in Operations Management. *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22(2), pp. 195-219.

Waller D., 2002. *Operations Management: A Supply Chain Approach* Editorial Thomson. Tema 15. Pag. 458.

Wang Chiu S., 2007. Optimal replenishment policy for imperfect quality EMQ model with rework and backlogging. *Applied stochastic models in business and industry*. Vol 23, pp.165–178.

Warren H. Hausman, Hau L. Lee, Uma Subramanian. 2005. *Global Logistics Indicators, Supply Chain Metrics, and Bilateral Trade Patterns*. World Bank and Stanford University. FIFTH DRAFT – October 10, Stanford University UUEE

Wedad Elmaghraby and Pinar Keskinocak., 2003. Dynamic Pricing in the Presence of Inventory Considerations: Research Overview, Current Practices, and Future Directions. *Management Science*, Vol. 49 (10), Special Issue on E-Business and Management Science, pp. 1287-1309

Wilson, R. H., 1934. A Scientific Routine for Stock Control. *Harvard Business Review*, Vol. 13, p.p. 116-128.

World Bank. 2005. Doing Business in 2006: Creating Jobs. New York: Oxford University Press.

Yin R., 1984. Case study research: Design and methods (1st ed.). Beverly Hills, CA: Sage Publications

Yin, R. K., 2005. Introducing the world of education: A case study reader (pp. xiii-xxii). Thousand Oaks, CA: Sage.

Yin, R. K., 1981. The case study crisis: Some answers. Administrative Science Quarterly, 26(1), 58-65.

Yin, R. K., 1999. Enhancing the quality of case studies in health services research. Health Services Research, 34(5), 1209-1224.

Yin, R. K., 2003a. Applications of case study research (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Yin, R. K., 2003b. Case study research: Design and methods (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Yin, R., & Moore, G., 1987. The Use of Advanced Technologies in Special Education: Prospects from Robotics, Artificial Intelligence, and Computer Simulation Journal of Learning Disabilities, Vol. 20 (1), p60, 4p

Yin, R. K., 1984. Case study research: Design and methods. Beverly Hills, CA: Sage. Yin, R. K. (1994). Case study research: Design and methods (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Yu, SB., Efstathiou, J., 2006. Complexity in rework cells: theory, analysis and comparison, Journal of the Operational Research Society. Vol. 57, pp. 593–602

Yuanshyi, P. C., 2003. Determining the optimal lot size for the finite production model with random defective rate, the rework process, and backlogging Engineering Optimization, Vol. 35 (4), pp. 427–437

Zaidah Zainal, 2007. Case study as a research method. Jurnal Kemanusiaan bil. Faculty of Management and Human Resource. Development University Technology. Malaysia

Zanjani, M., Nourelfath, M., & Ait-Kadi, D., 2010. A multi-stage stochastic programming approach for production planning with uncertainty in the quality of raw materials and demand. *International Journal of Production Research*, 48(16), 4701.

Zapata P. H., 2001. *Dirección y administración de Empresas*. U.N.E.D. Fundación Escuela de la Edificación. Madrid

Zhang, X., Prajapati, M., & Peden, E., 2011. A stochastic production planning model under uncertain seasonal demand and market growth. *International Journal of Production Research*, 49(7), p. 1957.

Zverovich, V., Csaba F., Ellison, F., Mitra, G., 2009. A computational study of a solver system for processing two-stage stochastic linear programming problems, CARISMA, (The Centre for the Analysis of Risk and Optimisation Modelling Applications) Brunel University, Uxbridge, Middlesex, United Kingdom.

REFERENCIAS EN INTERNET:

<http://www.asepuma.org/inicio/index.html>

ASEPUMA son las siglas correspondientes a "ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE MATEMÁTICAS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA", autorizada por el Ministerio del Educación y a ella pertenecen en la actualidad más un centenar de profesores de universidades públicas y privadas de España.

Entre otros, resaltamos entre sus fines el estudio, la investigación y la mejora de la docencia en el marco de las disciplinas conexas con las Matemáticas en la Economía y la Empresa, la promoción e intercambio entre sus miembros y con cualesquiera otras entidades y asociaciones similares nacionales o internacionales de experiencias docentes e investigadoras relacionadas con su campo de observación y la difusión a todos los estratos de la sociedad de los resultados derivados de las diversas actuaciones científicas, académicas y profesionales de sus miembros.

<http://www.coin-or.org/>

La misión de la COIN-OR Foundation, Inc., es crear y difundir el conocimiento relacionado con todos los aspectos de la investigación de operaciones y computadores. Entre estos objetivos esta la disposición de la organización a los usuarios GAMS, (General algebraica Modeling System) en ayudar a los desarrolladores a conectar sus solucionador de GAMS.

<http://edoc.hu-berlin.de/browsing/speps/>

El objetivo de este portal de la Universidad de Berlin (SPEPS Stochastic Programming E-Print Series) es proporcionar un servicio a la comunidad en el área de programación estocástica (SP) mediante la difusión rápida de los conocimientos generados a nivel mundial. Por SP, se refieren a los modelos de decisión y control en el que los datos evolucionan con el tiempo y están sujetas a una incertidumbre significativa.

<http://www.gams.com/>

General algebraica Modeling System (GAMS) es un sistema de modelado de alto nivel diseñado para la programación matemática y optimización. Tiene el compilador y la capacidad de resolución integrada. GAMS se adapta para usos complejos, modelos a escala, y le permite construir grandes modelos adaptándose rápidamente a nuevas situaciones.

<http://www.iit.upcomillas.es/~aramos/OE.htm>

Página personal del Dr. Andrés Ramos, unos de los mayores expertos mundiales de optimización bajo incertidumbre, donde podemos encontrar gran cantidad de documentación sobre este tema.

<http://www.inventoryops.com>

InventoryOps.com pretende ser un punto de partida en su búsqueda de información sobre la gestión de stocks y almacenes escrita y coordinada por David J Piasecki, autor del libro Inventory Management Explained and Inventory Accuracy: People, Processes, & Technology, 2003. OPS Publishing, Kenosha, Wisconsin. Tiene artículos escritos por el autor y enlaces clasificados relacionados con la exactitud del inventario, ciclos, tamaño del lote, stock de seguridad, ERP, MRP, selección e implementación de software, fabricación, almacenamiento, envío, recepción y manipulación de materiales.

<http://www.math.iit.edu/~mcqmc/>

Esta página está dedicada a compartir recursos para los estudiosos y profesionales que trabajan con Monte Carlo y cuasi-Métodos de Monte Carlo. Estas personas incluyen a matemáticos, informáticos y físicos, ingenieros, estadísticos y expertos en finanzas. Cada dos años se reúnen en una conferencia internacional.

http://www.neos-guide.org/NEOS/index.php/NEOS_Wiki

Página especializada en optimización (también conocida como programación matemática, o la optimización numérica) y todos sus sub-disciplinas.

<http://www.optimizacionbajoincertidumbre.org/>

Es la página de referencia en España. Portal web de la Red Temática de Optimización bajo Incertidumbre (ReTOBI). Esta red ha recibido ayuda del Ministerio de Educación y Ciencia. Acciones Especiales MTM2004-21648-E y MTM2006-26619-E.

Se facilita material docente, artículos, tesis doctorales, cursos de formación, software, aplicaciones, actividades, enlaces a páginas web y todo aquello que pueda ayudar a la difusión del conocimiento en esta área del conocimiento, participando en la misma Universidades públicas y privadas.

<http://www.optimization-online.org/>

Un sitio de E-impresión sobre optimización con recopilación trabajos o publicaciones desde el año 2001 hasta la actualidad.

<http://rru.worldbank.org>

Este sitio web perteneciente al banco mundial tiene como objetivo llenar un vacío importante en la comprensión sobre las buenas prácticas en los negocios y en el sector financiero, ayudando en los procesos de reforma en los países en vías de desarrollo.

<http://www.rug.nl/feb/mhvandervlerk/index>

Portal de Maarten H. van der Vlerkv. Profesor de optimización Estocástica en la Facultad de ciencias económicas y empresariales de la Universidad de Groningen, en Países Bajos. Donde existen enlace a bibliografías así como apuntes, notas, lecturas y casos de estudio.

<http://www.seio.es/>

Sociedad de Estadística e Investigación Operativa: La SEIO es una organización autónoma que tiene como objetivo el desarrollo, mejora y promoción de los métodos y aplicaciones de la Estadística y de la Investigación Operativa, en su sentido más amplio. Con esta finalidad la SEIO, en el ámbito de su competencia, organiza Congresos

Ordinarios y Reuniones Monográficas, edita revistas profesionales y boletines de información, potencia intercambios nacionales e internacionales, promueve actividades de consulta en los sectores público y privado, estimula la investigación y, en general, pone la Estadística y la Investigación Operativa al servicio de la ciencia y de la sociedad.

<http://www.solver.com>

Página del desarrollador y proveedor de software del mismo nombre, donde hay herramientas tutoriales y ejemplos sobre optimización y simulación de Monte Carlo.

<http://stoprog.org/>

The Stochastic Programming (SP) Community: Es un grupo mundial de investigadores que están desarrollando los modelos, métodos, y la teoría de decisiones bajo incertidumbre. El objetivo de esta comunidad es facilitar el avance del conocimiento a través de sus congresos trienales, talleres especializados, comunicaciones rápidas (electrónico) y la difusión de la investigación.

<http://www.webpicking.com/hojas/indicadores.htm>

Página donde el experto Sr. Luis Angel Mora describe indicadores logísticos.

ANEXO 1

INDICADORES LOGÍSTICOS MÁS UTILIZADOS

Luis Aníbal Mora G., hace una recopilación de los indicadores más utilizados que describimos en la siguiente tabla:

1- ABASTECIMIENTO			
INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Calidad de los Pedidos Generados	Número y porcentaje de pedidos de compras generadas sin retraso, o sin necesidad de información adicional.	$\frac{\text{Productos Generados sin Problemas} \times 100}{\text{Total de pedidos generados}}$	Cortes de los problemas inherentes a la generación errática de pedidos, como: costo del lanzamiento de pedidos rectificadores, esfuerzo del personal de compras para identificar y resolver problemas, incremento del costo de mantenimiento de inventarios y pérdida de ventas, entre otros.
Entregas perfectamente recibidas	Número y porcentaje de pedidos que no cumplen las especificaciones de calidad y servicio definidas, con desglose por proveedor	$\frac{\text{Pedidos Rechazados} \times 100}{\text{Total de Órdenes de Compra Recibidas}}$	Costos de recibir pedidos sin cumplir las especificaciones de calidad y servicio, como: costo de retorno, coste de volver a realizar pedidos, retrasos en la producción, coste de inspecciones adicionales de calidad, etc.
Nivel de cumplimiento de Proveedores	Consiste en calcular el nivel de efectividad en las entregas de mercancía de los proveedores en la bodega de producto terminado	$\frac{\text{Pedidos Recibidos Fuera de Tiempo} \times 100}{\text{Total Pedidos Recibidos}}$	Identifica el nivel de efectividad de los proveedores de la empresa y que están afectando el nivel de recepción oportuna de mercancía en la bodega de almacenamiento, así como su disponibilidad para despachar a los clientes
2. INVENTARIOS			
INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Índice de Rotación de Mercancías	Proporción entre las ventas y las existencias promedio. Indica el número de veces que el capital invertido se recupera a través de las ventas.	$\frac{\text{Ventas Acumuladas} \times 100}{\text{Inventario Promedio}}$	Las políticas de inventario, en general, deben mantener un elevado índice de rotación, por eso, se requiere diseñar políticas de entregas muy frecuentes, con tamaños muy pequeños. Para poder trabajar con este principio es fundamental mantener una excelente comunicación entre cliente y proveedor.
Índice de duración de Mercancías	Proporción entre el inventario final y las ventas promedio del último período. Indica cuantas veces dura el inventario que se tiene.	$\frac{\text{Inventario Final} \times 30 \text{ días}}{\text{Ventas Promedio}}$	Altos niveles en ese indicador muestran demasiados recursos empleados en inventarios que pueden no tener una materialización inmediata y que esta corriendo con el riesgo de ser perdido o sufrir obsolescencia.
Exactitud del Inventario	Se determina midiendo el costo de las referencias que en promedio presentan irregularidades con respecto al inventario lógico valorizado cuando se realiza el inventario físico	$\frac{\text{Valor Diferencia (\$)}}{\text{Valor Total de Inventarios}}$	Se toma la diferencia en costos del inventario teórico versus el físico inventariado, para determinar el nivel de confiabilidad en un determinado centro de distribución. Se puede hacer también para exactitud en el número de referencias y unidades almacenadas
3. ALMACENAMIENTO			
INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Costo de Almacenamiento por Unidad	Consiste en relacionar el costo del almacenamiento y el número de unidades almacenadas en un	$\frac{\text{Costo de almacenamiento}}{\text{Número de unidades almacenadas}}$	Sirve para comparar el costo por unidad almacenada y así decidir si es mas rentable subcontratar el servicio de almacenamiento o tenerlo propiamente.

	período determinado		
Costo por Unidad Despachada	Porcentaje de manejo por unidad sobre los gastos operativos del centro de distribución.	$\frac{\text{Costo Total Operativo Bodega}}{\text{Unidades Despachadas}}$	Sirve para costear el porcentaje del costo de manipular una unidad de carga en la bodega o centro distribución.
Nivel de Cumplimiento Del Despacho	Consiste en conocer el nivel de efectividad de los despachos de mercancías a los clientes en cuanto a los pedidos enviados en un período determinado.	$\frac{\text{Número de despachos cumplidos} \times 100}{\text{Número total de despachos requeridos}}$	Sirve para medir el nivel de cumplimiento de los pedidos solicitados al centro de distribución y conocer el nivel de agotados que maneja la bodega.
Costo por Metro Cuadrado	Consiste en conocer el valor de mantener un metro cuadrado de bodega	$\frac{\text{Costo Total Operativo Bodega} \times 100}{\text{Área de almacenamiento}}$	Sirve para costear el valor unitario de metro cuadrado y así poder negociar valores de arrendamiento y comparar con otras cifras de bodegas similares.

4. TRANSPORTE

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Comparativo del Transporte (Rentabilidad Vs Gasto)	Medir el costo unitario de transportar una unidad respecto al ofrecido por los transportadores del medio.	$\frac{\text{Costo Transporte propio por unidad}}{\text{Costo de contratar transporte por unidad}}$	Sirve para tomar la decisión acerca de contratar el transporte de mercancías o asumir la distribución directa del mismo.
Nivel de Utilización de los Camiones	Consiste en determinar la capacidad real de los camiones respecto a su capacidad instalada en volumen y peso	$\frac{\text{Capacidad Real Utilizada}}{\text{Capacidad Real Camión (kg, mt3)}}$	Sirve para conocer el nivel de utilización real de los camiones y así determinar la necesidad de optimizar la capacidad instalada y/o evaluar la necesidad de contratar transporte contratado

5. SERVICIO AL CLIENTE

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Nivel de cumplimiento entregas a clientes	Consiste en calcular el porcentaje real de las entregas oportunas y efectivas a los clientes	$\frac{\text{Total de Pedidos no Entregados a Tiempo}}{\text{Total de Pedidos Despachados}}$	Sirve para controlar los errores que se presentan en la empresa y que no permiten entregar los pedidos a los clientes. Sin duda, esta situación impacta fuertemente al servicio al cliente y el recaudo de la cartera.
Calidad de la Facturación	Número y porcentaje de facturas con error por cliente, y agregación de los mismos.	$\frac{\text{Facturas Emitidas con Errores}}{\text{Total de Facturas Emitidas}}$	Generación de retrasos en los cobros, e imagen de mal servicio al cliente, con la consiguiente pérdida de ventas.
Causales de Notas Crédito	Consiste en calcular el porcentaje real de las facturas con problemas	$\frac{\text{Total Notas Crédito}}{\text{Total de Facturas Generadas}}$	Sirve para controlar los errores que se presentan en la empresa por errores en la generación de la facturación de la empresa y que inciden negativamente en las finanzas y la reputación de la misma.
Pendientes por Facturar	Consiste en calcular el número de pedidos no facturados dentro del total de facturas	$\frac{\text{Total Pedidos Pendientes por Facturar}}{\text{Total Pedidos Facturados}}$	Se utiliza para medir el impacto del valor de los pendientes por facturar y su incidencia en las finanzas de la empresa

6 . FINANCIEROS

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	IMPACTO (COMENTARIO)
Costos Logísticos	Está pensado para controlar los gastos logísticos en la empresa y medir el nivel de contribución	$\frac{\text{Costos Totales Logísticos}}{\text{Ventas Totales de la Compañía}}$	Los costos logísticos representan un porcentaje significativo de las ventas totales, margen bruto y los costos totales de las empresas, por ello deben controlarse permanentemente. Siendo

	en la rentabilidad de la misma.		el transporte el que demanda mayor interés.
Márgenes de Contribución	Consiste en calcular el porcentaje real de los márgenes de rentabilidad de cada referencia o grupo de productos	$\frac{\text{Venta Real Producto}}{\text{Costo Real Directo Producto}}$	Sirve para controlar y medir el nivel de rentabilidad y así tomar correctivos a tiempo sobre el comportamiento de cada referencia y su impacto financiero en la empresa.
Ventas Perdidas	Consiste en determinar el porcentaje del costo de las ventas perdidas dentro del total de las ventas de la empresa	$\frac{\text{Valor Pedidos no Entregados}}{\text{Total Ventas Compañía}}$	Se controlan las ventas perdidas por la compañía al no entregar oportunamente a los clientes los pedidos generados. De este manera se mide el impacto de la reducción de las ventas por esta causa
Costo por cada 100 pesos despachados	De cada 100 pesos que se despachan, que porcentaje es atribuido a los gastos de operación.	$\frac{\text{Costos Operativos Bodegas}}{\text{Costo de las Ventas}}$	Sirve para costear el porcentaje de los gastos operativos de la bodega respecto a la ventas de la empresa.

Figura nº: Fuente: Luis Mora, <http://www.webpicking.com/hojas/indicadores.htm>

Luis Aníbal Mora: Ingeniero Industrial Facultad de Minas, Universidad Nacional de Medellín, Certificado en logística y distribución. Instituto Colombiano de Automatización, Comercial (I.A.C) y el "Logistics Institute of London" de Inglaterra, Especialización en Mercadeo Internacional. Universidad Eafit., Coordinador académico de los Diplomados de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Catedrático en Logística de los Postgrados de las Universidades Jorge Tadeo Lozano de Bogotá y Universidad del Norte, Profesor de la Maestría en Negocios Internacionales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y actual instructor de logística del Latin American Logistics Center de Atlanta, EE.UU. Editor de publicaciones en logística. Instructor del Cupply Chain Council de Colombia. Ex-Coordinador de proyectos en Centros de Distribución del Plan Estratégico de Logística en Cadenalco, asesorado por la "Distribution Management Associates", New Jersey. EE.UU, Ex-Jefe Proyecto Distribución Repuestos Ford Motors. Almaviva S.A , Ex-Gerente Regional de Distriexpress Medellín, Operador Logístico, Ex-Gerente Nacional de Distribución y Logística, Saferbo Transempaques. Actual Director General de la firma en ingeniería y Consultoría en Logística Empresarial "High Logistics".

Karl B. Manrodt, Joseph Tillman and Kate Vitasek indican en su estudio los 10 indicadores más utilizados **en un** estudio realizado por la Universidad de Georgia Southern y la consultoría "Supply Chain Visions", con el patrocinio de DC Velocity. Los indicadores más utilizados son:

- Nivel de entregas a tiempo
- Calidad en la preparación de pedidos
- % de ocupación del almacén
- Rotación de la plantilla
- % de pedidos preparados a tiempo para enviar (*ready to ship*)

EXHIBIT 1

the top 10: the most commonly used DC metrics

Metric and category	% Using	2009 Rank
1. On-time shipments (Customer)	85.8%	2
2. Order picking accuracy (Quality)	73.2%	1
3. Average warehouse capacity used (Capacity)	70.4%	3
4. Annual workforce turnover (Employee)	60.2%	5
5. On time ready to ship (Outbound operations)	58.8%	7
6. Peak warehouse capacity used (Capacity)	58.7%	8
7. Fill Rate - line (Outbound operations)	57.7%	6
8. Dock-to-stock cycle time, in hours (Inbound operations)	56.2%	9
9. Inventory count accuracy by location (Quality)	53.0%	*
10. Order fill rate (Outbound operations)	50.7%	4

* Did not appear in Top 10 in 2009

Fuente: By Karl B. Manrodt, Joseph Tillman and Kate Vitasek

Karl B. Manrodt, Joseph Tillman and Kate Vitasek Education and Research Council (WERC), Universidad de Georgia Southern y la consultoría Supply Chain Visions, UU.EE. encuesta on line Enero 2010.

ANEXO 2

PROGRAMAS SOLVER

Escenario 1:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4	Moldes totales	1200							
5									
6									
7	Pieza tipo 1	200	2000	300	10	0,15	100		
8	Pieza tipo 2	240	150	210	10	0,5	75		
9	Pieza tipo 3	500	36	40	10	0,55	18		
10									
11									
12									
13									
14									
15	Variables								
16	Módulo moldes	=A8		265,666666666667					
17	Módulo moldes	=A9		480					
18	Módulo moldes	=A2		453,333333333333					
19	Módulo moldes	=A8		0					
20	Módulo moldes	=A2		0					
21	Módulo moldes	=A2		205,333333333333					
22	Módulo moldes	=A8		200					
23	Módulo moldes	=A2		240					
24	Módulo moldes	=A2		234,666666666667					
25	Módulo moldes	=A8		2,84517035405628E-14					
26	Módulo moldes	=A25		0					
27	Módulo moldes	=A26		0					
28									
29									
30									
31									
32									
33	Restricciones:								
34	x1<=2*x3	=D6-D17+D18	<=	=B4					
35	=F7/D16+D16	>=	=B8						
36	=F10/D17+D17	>=	=B10						
37	=F12/D18+D18	>=	=B12						
38	=D22+D25-F7/D16	=	0						
39	=D23+D26-F10/D17	=	0						
40	=D24+D27-F12/D18	=	0						
41	=D22	<=	=B8						
42	=D23	<=	=B10						
43	=D24	<=	=B12						
44	x1<=D1	>=	0						
45	x2<=D1	>=	0						
46	x3<=D1	>=	0						
47	y1<=D1	>=	0						
48	y2<=D1	>=	0						
49	y3<=D1	>=	0						
50	w1<=D25	>=	0						
51	w2<=D23	>=	0						
52	w22<=D26	>=	0						
53	w3<=D24	>=	0						
54	w33<=D27	>=	0						
55									
56									
57	La función objetivo la defino								
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68									
69									
70									
71									
72									
73	Resultado:								

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas
 Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Escenario 1
 Informe creado: 05/03/2011 11:25:12

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$73	Resultado: - precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas	-7568,000	-7568,000

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	266,6666667	266,6666667
\$D\$17	x2 no servicio	480	480
\$D\$18	x3 no servicio	453,3333333	453,3333333
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	205,3333333	205,3333333
\$D\$22	w1 no servicio	200	200
\$D\$23	w2 no servicio	240	240
\$D\$24	w3 no servicio	294,6666667	294,6666667
\$D\$25	z1 no servicio	2,84217E-14	2,84217E-14
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	267	\$B\$44>=\$D\$44	Opcional	267
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	480	\$B\$45>=\$D\$45	Opcional	480
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	453	\$B\$46>=\$D\$46	Opcional	453
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	\$B\$47>=\$D\$47	Obligatorio	0
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	\$B\$48>=\$D\$48	Obligatorio	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	205	\$B\$49>=\$D\$49	Opcional	205
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	\$B\$50>=\$D\$50	Opcional	200
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	\$B\$51>=\$D\$51	Obligatorio	0
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	\$B\$52>=\$D\$52	Opcional	240
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	\$B\$53>=\$D\$53	Obligatorio	0
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	295	\$B\$54>=\$D\$54	Opcional	295
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	\$B\$55>=\$D\$55	Obligatorio	0
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	\$B\$37>=\$D\$37	Obligatorio	0
\$B\$43	Pieza tipo 3	295	\$B\$43<=\$D\$43	Opcional	205,3333333
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	\$B\$38=\$D\$38	Opcional	0
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	\$B\$41<=\$D\$41	Obligatorio	0
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	\$B\$35>=\$D\$35	Obligatorio	0
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	\$B\$39=\$D\$39	Opcional	0
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	\$B\$42<=\$D\$42	Obligatorio	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	\$B\$36>=\$D\$36	Obligatorio	0
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	\$B\$40=\$D\$40	Opcional	0
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$34<=\$D\$34	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Escenario 1

Informe creado: 05/03/2011 11:25:12

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido	Coficiente objetivo	Aumento permisible	Aumento permisible
\$D\$16	x1 no servicio	266,6666667	0	100	86,09999937	138,9000003
\$D\$17	x2 no servicio	480	0	75	73,59999986	6,400000375
\$D\$18	x3 no servicio	453,3333333	0	18	6,400000375	73,59999986
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	299,9999997	1E+30	114,7999992
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	209,9999998	12,80000075	147,1999998
\$D\$21	y3 no servicio	205,3333333	0	40	113,230769	9,846154423
\$D\$22	w1 no servicio	200	0	-200	210,0000004	1E+30
\$D\$23	w2 no servicio	240	0	-150	147,1999997	1E+30
\$D\$24	w3 no servicio	294,6666667	0	-36	9,846154423	113,230769
\$D\$25	z1 no servicio	2,84217E-14	0	10,00000047	114,7999995	185,200001
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	10,00000047	1E+30	12,80000075
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	10,00000047	1E+30	46,00000059

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Aumento permisible
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	267	0	0	266,6666667	1E+30
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	480	0	0	480	1E+30
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	453	0	0	453,3333333	1E+30
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	115	0	0	339,9999999
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	0	0	0	1E+30
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	205	0	0	205,3333333	1E+30
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	0	0	200	1E+30
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	0	0	0	1E+30
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	0	0	240	1E+30
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	13	0	0	157,9487179
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	295	0	0	294,6666667	1E+30
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	46	0	294,6666657	205,3333327
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	40	500	1E+30	205,3333333
\$B\$43	Pieza tipo 3	295	0	500	1E+30	205,3333333
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	10	0	1E+30	0
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	-210	200	0	200
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	185	200	340	0
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	-3	0	157,9487179	0
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	-147	240	0	157,9487179
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	210	240	1E+30	0
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	-36	0	205,3333333	294,6666667
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-31	1200	315,8974359	453,3333333

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites
 Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 1
 Informe creado: 05/03/2011 11:25:12

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$73	Resultado: - precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas	-7568,000

Celda	Celdas cambiantes Nombre	Igual	Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
\$D\$16	x1 no servicio	266,6666667	266,6666667	-7568	266,6666667	-7568
\$D\$17	x2 no servicio	480	480	-7568	480	-7568
\$D\$18	x3 no servicio	453,3333333	453,3333333	-7568	453,3333333	-7568
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	-7568	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	-7568	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	205,3333333	205,3333333	-7568	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	200	200	-7568	200	-7568
\$D\$23	w2 no servicio	240	240	-7568	240	-7568
\$D\$24	w3 no servicio	294,6666667	294,6666667	-7568	294,6666667	-7568
\$D\$25	z1 no servicio	2,84217E-14	2,84217E-14	-7568	2,84217E-14	-7568
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	-7568	0	-7568
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	-7568	0	-7568

Escenario 2:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	RENDIMIENTO	10%							
3									
4	Molinos totales	200							
5									
6									
7	Pieza tipo 1	200	200	300	10	100			
8									
9	Pieza tipo 2	240	150	210	10	75			
10									
11	Pieza tipo 3	500	36	40	10	18			
12									
13									
14									
15	Variables								
16	molinos	=A8	r1	242,4212424242					
17	molinos	=A10	r2	436,3636363636					
18	molinos	=A12	r3	521,2121212121					
19	piezas no servidas	=A8	r1	0					
20	piezas no servidas	=A10	r2	1,2408546483223E-14					
21	piezas no servidas	=A12	r3	127,333333333333					
22	piezas vendidas	=A8	w1	210					
23	=A22	=A10	w2	240					
24	=A22	=A12	w3	372,666666666667					
25	piezas almacenadas	=A8	r1	0					
26	=A25	=A10	r2	0					
27	=A25	=A12	r3	0					
28				0					
29									
30	Restricciones:								
31	r1+r2+r3	=D16-D17-D18	<=	B4	Producción taller M modelos tipo 1 <= capacidad				
32		=F8-D16-D19	>=	B8	Rendimiento1 x molinos 1 + no servidas 1 > piezas necesarias 1				
33		=F10-D17-D20	>=	B10	Rendimiento2 x molinos 2 + no servidas 2 > piezas necesarias 2				
34		=F12-D18-D21	>=	B12	Rendimiento3 x molinos 3 + no servidas 3 > piezas necesarias 3				
35		=D22-D25-F8-D16	=	0	piezas vendidas 1 - almacenadas 1 - rendimiento1 x número molinos 1 = 0				
36		=D23-D26-F10-D17	=	0	piezas vendidas 2 + almacenadas 2 - rendimiento2 x número molinos 2 = 0				
37		=D24-D27-F12-D18	=	0	piezas vendidas 3 + almacenadas 3 - rendimiento3 x número molinos 3 = 0				
38		=D23	<=	B8	piezas vendidas 1 = piezas necesarias tipo 1				
39		=D23	<=	B10	piezas vendidas 2 = piezas necesarias tipo 2				
40		=D24	<=	B12	piezas vendidas 3 = piezas necesarias tipo 3				
41		r1	>=	0					
42		r2	>=	0					
43		r3	>=	0					
44		w1	>=	0					
45		w2	>=	0					
46		w3	>=	0					
47		r1	>=	0					
48		r2	>=	0					
49		r3	>=	0					
50		w1	>=	0					
51		w2	>=	0					
52		w3	>=	0					
53		r1	>=	0					
54		r2	>=	0					
55		r3	>=	0					
56				0					
57	Función objetivo								
58	minimizar	=G8-D16-G10-D17-G12-D18-D8-D19-D10-D20-D12-D21-E8-D25-E10-D26-E12-D27-C8-D22-C1							

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Escenario 2

Informe creado: 05/03/2011 1:13:25

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	242	0
\$D\$17	x2 no servicio	436	0
\$D\$18	x3 no servicio	521	0
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	127	0
\$D\$22	w1 no servicio	200	0
\$D\$23	w2 no servicio	240	0
\$D\$24	w3 no servicio	373	0
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	242	0
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	436	0
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	521	0
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	300
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	127	0
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	175
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	2
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	373	0
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	46
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	210
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	40
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	-165
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	8
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	-36
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	-35
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	-158
\$B\$43	Pieza tipo 3	373	0
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-36

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 11

Informe creado: 05/03/2011 1:13:25

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	-17971,152

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	242	242	-17971	242	-17971
\$D\$17	x2 no servicio	436	436	-17971	436	-17971
\$D\$18	x3 no servicio	521	521	-17971	521	-17971
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	-17971	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	-17971	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	127	127	-17971	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	200	200	-17971	200	-17971
\$D\$23	w2 no servicio	240	240	-17971	240	-17971
\$D\$24	w3 no servicio	373	373	-17971	373	-17971
\$D\$25	z1 no servicio	0	0	-17971	0	-17971
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	-17971	0	-17971
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	-17971	0	-17971

En los problemas de optimización, el método de los multiplicadores de Lagrange, llamados así en honor a Joseph Louis Lagrange, es un procedimiento para encontrar los máximos y mínimos de funciones de varias variables sujetas a restricciones. Este método reduce el problema restringido con n variables a uno sin restricciones de $n + k$ variables, donde k es igual al número de restricciones, y cuyas ecuaciones pueden ser resueltas más fácilmente. Estas nuevas variables escalares desconocidas, una para cada restricción, son llamadas multiplicadores de Lagrange.

Escenario 3:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	RENDIMIENTO	-0,1							
3									
4	Moldes totales	1200							
5									
6									
7	Pieza tipo 1	200	Piezas robes	300	Realización no servicio	Precio almacenaje	Rendimiento	Costes fabricación	
8							=0,15*(H82)	100	
9	Pieza tipo 2	240		210			=0,5*(H82)	70	
10									
11	Pieza tipo 3	500		40			=0,65*(H82)	18	
12									
13									
14									
15	Variables								
16	moldes	=A8		286,296296296296					
17	moldes	=A10		533,333333333333					
18	moldes	=A12		370,37037037037					
19	piezas no servidas	=A6		0					
20	piezas no servidas	=A10		0					
21	piezas no servidas	=A12		283,33333379488					
22	piezas vendidas	=A6		240					
23	=A22	=A10		240					
24	=A22	=A12		216,666666714512					
25	piezas almacenadas	=A8		0					
26	=A25	=A10		0					
27	=A25	=A12		0					
28									
29									
30									
31									
32									
33	Restricciones:								
34	A4<=A3	=D16-D17-D18		=E4					
35		=F8*D16-D19		=E8					
36		=-F10*D17-D20		=E10					
37		=F12*D18+D21		=E12					
38		=D22-D25-F8*D16		=0					
39		=D23-D26-F10*D17		=0					
40		=D24-D27-F12*D18		=0					
41		=D22		=E8					
42		=D23		=E10					
43		=D24		=E12					
44		=D16		=0					
45		=D17		=0					
46		=D18		=0					
47		=D19		=0					
48		=D20		=0					
49		=D21		=0					
50		=D22		=0					
51		=D23		=0					
52		=D24		=0					
53		=D25		=0					
54		=D26		=0					
55		=D27		=0					
56									
57	Función objetivo								
58	minimizar								

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Escenario 3

Informe creado: 05/03/2011 11:26:18

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	3829,630	3829,630

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	296	296
\$D\$17	x2 no servicio	533	533
\$D\$18	x3 no servicio	370	370
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	283	283
\$D\$22	w1 no servicio	200	200
\$D\$23	w2 no servicio	240	240
\$D\$24	w3 no servicio	217	217
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	296	\$B\$44>=\$D\$44	Opcional	296
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	533	\$B\$45>=\$D\$45	Opcional	533
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	370	\$B\$46>=\$D\$46	Opcional	370
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	\$B\$47>=\$D\$47	Obligatorio	0
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	\$B\$48>=\$D\$48	Obligatorio	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	283	\$B\$49>=\$D\$49	Opcional	283
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	\$B\$50>=\$D\$50	Opcional	200
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	\$B\$51>=\$D\$51	Obligatorio	0
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	\$B\$52>=\$D\$52	Opcional	240
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	\$B\$53>=\$D\$53	Obligatorio	0
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	217	\$B\$54>=\$D\$54	Opcional	217
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	\$B\$55>=\$D\$55	Obligatorio	0
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	\$B\$35>=\$D\$35	Obligatorio	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	\$B\$36>=\$D\$36	Obligatorio	0
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	\$B\$37>=\$D\$37	Obligatorio	0
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	\$B\$38=\$D\$38	Opcional	0
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	\$B\$39=\$D\$39	Opcional	0
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	\$B\$40=\$D\$40	Opcional	0
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	\$B\$41<=\$D\$41	Obligatorio	0
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	\$B\$42<=\$D\$42	Obligatorio	0
\$B\$43	Pieza tipo 3	217	\$B\$43<=\$D\$43	Opcional	283,3333338
\$B\$34	x1+x2+x3	1200	\$B\$34<=\$D\$34	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Escenario 3

Informe creado: 05/03/2011 11:26:18

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	296	0
\$D\$17	x2 no servicio	533	0
\$D\$18	x3 no servicio	370	0
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	283	0
\$D\$22	w1 no servicio	200	0
\$D\$23	w2 no servicio	240	0
\$D\$24	w3 no servicio	217	0
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0
\$D\$28	no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	296	0
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	533	0
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	370	0
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	103
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	283	0
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	25
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	217	0
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	46
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	197
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	210
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	40
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	10
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	-15
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	-36
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	-210
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	-135
\$B\$43	Pieza tipo 3	217	0
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-26

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 3

Informe creado: 05/03/2011 11:26:18

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	3829,630

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	296	296	3830	296	3830
\$D\$17	x2 no servicio	533	533	3830	533	3830
\$D\$18	x3 no servicio	370	370	3830	370	3830
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	3830	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	3830	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	283	283	3830	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	200	200	3830	200	3830
\$D\$23	w2 no servicio	240	240	3830	240	3830
\$D\$24	w3 no servicio	217	217	3830	217	3830
\$D\$25	z1 no servicio	0	0	3830	0	3830
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	3830	0	3830
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	3830	0	3830

Estocástico

	A	B	C	D	E	F	G	H
8	Microsoft Excel uso no comercial - PlanproductMARZFORMULAS.xlsx							
9	ESTOCASTICO							
10	Coladas disponibles	1200						
11	Coladas disponibles							
12								
13								
14								
15								
16	Pieza tipo 1	200	200	300	10	0.3	0.1	100
17								
18								
19	Pieza tipo 2	240	240	210	10	0.3	0.1	75
20								
21								
22								
23								
24	Pieza tipo 3	500	36	40	10	0.3	0.1	18
25								
26								
27	Variables							
28	Coladas molde	=A16		286,666666666667				
29	Coladas molde	=A20		480				
30	Coladas molde	=A24		453,333333333333				
31	piezas no servidas	=A316		0				
32	piezas no servidas	=A320		205,333333346595				
33	piezas no servidas	=A324		0				
34	piezas no servidas	=A316		0				
35	piezas no servidas	=A320		0				
36	piezas no servidas	=A324		175,866666301654				
37	piezas no servidas	=A316		20				
38	piezas no servidas	=A320		24,000000438632				
39	piezas no servidas	=A324		234,799999740055				
40	piezas vendidas	=A316		200				
41	=A40	=A40		240				
42	=A40	=A40		294,66666664405				
43	piezas vendidas	=A316		200				
44	=A43	=A43		240				
45	=A43	=A43		324,33333384846				
46	piezas vendidas	=A316		180				
47	=A46	=A46		215,99999966101				
48	=A46	=A46		265,200000236395				
49	piezas almacenadas	=A316		0				
50	=A49	=A49		0				
51	=A50	=A50		0				
52	piezas almacenadas	=A316		19,999999999997				
53	=A52	=A52		24,000000438633				
54	=A52	=A52		0				
55	piezas almacenadas	=A316		0				
56	=A55	=A55		0				
57	=A56	=A56		0				
58								
59								
60								
61								
62								
63								
64								
65								
66								
67								
68								
69								
70								
71								
72								
73								
74								
75								
76								
77								
78								
79								
80								
81								
82								
83								
84								
85								
86								
87								
88								
89								
90								
91								
92								
93								
94								
95								
96								
97								
98								
99								
100								

Microsoft Excel uso no comercial - PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
63	Restricciones								
64	\$I\$42:\$I\$43								
65	+D28-D29<=0	<=	=B18		Producción taller M modelos tipo k, es capacidad				
66	+F6-D28<=0	>=	=B18		Rendimiento 1 a moldes s1 - no servidas s1 - piezas necesarias tipo 1				
67	+F20-D28<=0	>=	=B20		Rendimiento 21 a moldes s2 - no servidas s2 - piezas necesarias tipo 2				
68	+F24-D30<=0	>=	=B24		Rendimiento 31 a moldes s3 - no servidas s3 - piezas necesarias tipo 3				
69	+G6-D28<=0	>=	=B16		Rendimiento 12 a moldes s1 - no servidas s1 - piezas necesarias tipo 1				
70	+G20-D29<=0	>=	=B20		Rendimiento 22 a moldes s2 - no servidas s2 - piezas necesarias tipo 2				
71	+G24-D30<=0	>=	=B24		Rendimiento 32 a moldes s3 - no servidas s3 - piezas necesarias tipo 3				
72	+H6-D28<=0	>=	=B16		Rendimiento 10 a moldes s1 - no servidas s1 - piezas necesarias tipo 1				
73	+H20-D29<=0	>=	=B20		Rendimiento 20 a moldes s2 - no servidas s2 - piezas necesarias tipo 2				
74	+H24-D30<=0	>=	=B24		Rendimiento 30 a moldes s3 - no servidas s3 - piezas necesarias tipo 3				
75	+D10-D14<=0	<=	=0		piezas vendidas w1 - almacenadas z1 - rendimiento z1 - número moldes 1 = 0				
76	+D14-D18<=0	<=	=0		piezas vendidas w2 - almacenadas z2 - rendimiento z2 - número moldes 2 = 0				
77	+D18-D22<=0	<=	=0		piezas vendidas w3 - almacenadas z3 - rendimiento z3 - número moldes 3 = 0				
78	+D22-D26<=0	<=	=0		piezas vendidas w4 - almacenadas z4 - rendimiento z4 - número moldes 4 = 0				
79	+D26-D30<=0	<=	=0		piezas vendidas w5 - almacenadas z5 - rendimiento z5 - número moldes 5 = 0				
80	+D30-D34<=0	<=	=0		piezas vendidas w6 - almacenadas z6 - rendimiento z6 - número moldes 6 = 0				
81	+D34-D38<=0	<=	=0		piezas vendidas w7 - almacenadas z7 - rendimiento z7 - número moldes 7 = 0				
82	+D38-D42<=0	<=	=0		piezas vendidas w8 - almacenadas z8 - rendimiento z8 - número moldes 8 = 0				
83	+D42-D46<=0	<=	=0		piezas vendidas w9 - almacenadas z9 - rendimiento z9 - número moldes 9 = 0				
84	+D46-D50<=0	<=	=0		piezas vendidas w10 - almacenadas z10 - rendimiento z10 - número moldes 10 = 0				
85	+D50-D54<=0	<=	=0		piezas vendidas w11 - almacenadas z11 - rendimiento z11 - número moldes 11 = 0				
86	+D54-D58<=0	<=	=0		piezas vendidas w12 - almacenadas z12 - rendimiento z12 - número moldes 12 = 0				
87	+D58-D62<=0	<=	=0		piezas vendidas w13 - almacenadas z13 - rendimiento z13 - número moldes 13 = 0				
88	+D62-D66<=0	<=	=0		piezas vendidas w14 - almacenadas z14 - rendimiento z14 - número moldes 14 = 0				
89	+D66-D70<=0	<=	=0		piezas vendidas w15 - almacenadas z15 - rendimiento z15 - número moldes 15 = 0				
90	+D70-D74<=0	<=	=0		piezas vendidas w16 - almacenadas z16 - rendimiento z16 - número moldes 16 = 0				
91	+D74-D78<=0	<=	=0		piezas vendidas w17 - almacenadas z17 - rendimiento z17 - número moldes 17 = 0				
92	+D78-D82<=0	<=	=0		piezas vendidas w18 - almacenadas z18 - rendimiento z18 - número moldes 18 = 0				
93	+D82-D86<=0	<=	=0		piezas vendidas w19 - almacenadas z19 - rendimiento z19 - número moldes 19 = 0				
94	+D86-D90<=0	<=	=0		piezas vendidas w20 - almacenadas z20 - rendimiento z20 - número moldes 20 = 0				
95	+D90-D94<=0	<=	=0		piezas vendidas w21 - almacenadas z21 - rendimiento z21 - número moldes 21 = 0				
96	+D94-D98<=0	<=	=0		piezas vendidas w22 - almacenadas z22 - rendimiento z22 - número moldes 22 = 0				
97	+D98-D102<=0	<=	=0		piezas vendidas w23 - almacenadas z23 - rendimiento z23 - número moldes 23 = 0				
98	+D102-D106<=0	<=	=0		piezas vendidas w24 - almacenadas z24 - rendimiento z24 - número moldes 24 = 0				
99	+D106-D110<=0	<=	=0		piezas vendidas w25 - almacenadas z25 - rendimiento z25 - número moldes 25 = 0				
100	+D110-D114<=0	<=	=0		piezas vendidas w26 - almacenadas z26 - rendimiento z26 - número moldes 26 = 0				
101	+D114-D118<=0	<=	=0		piezas vendidas w27 - almacenadas z27 - rendimiento z27 - número moldes 27 = 0				
102	+D118-D122<=0	<=	=0		piezas vendidas w28 - almacenadas z28 - rendimiento z28 - número moldes 28 = 0				
103	+D122-D126<=0	<=	=0		piezas vendidas w29 - almacenadas z29 - rendimiento z29 - número moldes 29 = 0				
104	+D126-D130<=0	<=	=0		piezas vendidas w30 - almacenadas z30 - rendimiento z30 - número moldes 30 = 0				
105	+D130-D134<=0	<=	=0		piezas vendidas w31 - almacenadas z31 - rendimiento z31 - número moldes 31 = 0				
106	+D134-D138<=0	<=	=0		piezas vendidas w32 - almacenadas z32 - rendimiento z32 - número moldes 32 = 0				
107	+D138-D142<=0	<=	=0		piezas vendidas w33 - almacenadas z33 - rendimiento z33 - número moldes 33 = 0				
108	+D142-D146<=0	<=	=0		piezas vendidas w34 - almacenadas z34 - rendimiento z34 - número moldes 34 = 0				
109	+D146-D150<=0	<=	=0		piezas vendidas w35 - almacenadas z35 - rendimiento z35 - número moldes 35 = 0				
110	+D150-D154<=0	<=	=0		piezas vendidas w36 - almacenadas z36 - rendimiento z36 - número moldes 36 = 0				
111	+D154-D158<=0	<=	=0		piezas vendidas w37 - almacenadas z37 - rendimiento z37 - número moldes 37 = 0				
112	+D158-D162<=0	<=	=0		piezas vendidas w38 - almacenadas z38 - rendimiento z38 - número moldes 38 = 0				
113	+D162-D166<=0	<=	=0		piezas vendidas w39 - almacenadas z39 - rendimiento z39 - número moldes 39 = 0				
114	+D166-D170<=0	<=	=0		piezas vendidas w40 - almacenadas z40 - rendimiento z40 - número moldes 40 = 0				
115	+D170-D174<=0	<=	=0		piezas vendidas w41 - almacenadas z41 - rendimiento z41 - número moldes 41 = 0				
116	+D174-D178<=0	<=	=0		piezas vendidas w42 - almacenadas z42 - rendimiento z42 - número moldes 42 = 0				
117	+D178-D182<=0	<=	=0		piezas vendidas w43 - almacenadas z43 - rendimiento z43 - número moldes 43 = 0				
118	+D182-D186<=0	<=	=0		piezas vendidas w44 - almacenadas z44 - rendimiento z44 - número moldes 44 = 0				
119	+D186-D190<=0	<=	=0		piezas vendidas w45 - almacenadas z45 - rendimiento z45 - número moldes 45 = 0				
120	+D190-D194<=0	<=	=0		piezas vendidas w46 - almacenadas z46 - rendimiento z46 - número moldes 46 = 0				
121	+D194-D198<=0	<=	=0		piezas vendidas w47 - almacenadas z47 - rendimiento z47 - número moldes 47 = 0				
122	+D198-D202<=0	<=	=0		piezas vendidas w48 - almacenadas z48 - rendimiento z48 - número moldes 48 = 0				

$$\sum_i a_i^k x_i^k + \sum_j b_j^k y_j^k \leq I_c^k$$

$$P_{1s} x_i^k + x_{n1s} \approx P_{n1}$$

$$x_{1s1} + x_{\alpha 1s} - P_{1s} x_i^k = 0$$

$$x_{1s1} \leq P_{n1}$$

x_{n1} es la producción del molde i en la máquina k en el periodo t
 $n_1, \dots, n_t, x_{n1}, \dots, x_{n1}$
 x_{n1} : piezas no servidas del modelo i, en el escenario s
 x_{n1} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

x_{n1} : piezas vendidas de modelo i en el escenario s
 x_{n1} : piezas almacenadas del modelo i en el escenario s

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
124											
125	Función objetivo										
126	minimizar	=F129H:F133H:F44+H156			Beneficio						
127											
128	Costos - ingresos										
129	- Costes fabricación pieza 1; moldes 1										
130	- costes fabricación pieza 2; moldes 2										
131	+ costes fabricación pieza 3; moldes 3										
132	- probabilidad escenario 11 x										
133	(+ penalización pieza 1, piezas no servidas										
134	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 1										
135	- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)										
136	- probabilidad escenario 11 x										
137	(+ penalización pieza 2; piezas no servidas										
138	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 2										
139	- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)										
140	- probabilidad escenario 31 x										
141	- penalización pieza 3; piezas no servidas										
142	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 3										
143	- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)										
144	- probabilidad escenario 12 x										
145	(+ penalizador pieza 1 y piezas no servidas										
146	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 1										
147	- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)										
148	- probabilidad escenario 2 x										
149	(+ penalizador pieza 2 y piezas no servidas										
150	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 2										
151	- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)										
152	- probabilidad escenario 32 x										
153	(+ penalizador pieza 3 y piezas no servidas										
154	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 3										
155	- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)										
156	- probabilidad escenario 13 x										
157	(+ penalización pieza 1 y piezas no servidas										
158	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 1										
159	- precio venta pieza 1 x piezas 1 vendidas)										
160	- probabilidad escenario 23 x										
161	(+ penalización pieza 2 y piezas no servidas										
162	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 2										
163	- precio venta pieza 2 x piezas 2 vendidas)										
164	- probabilidad escenario 33 x										
165	(+ penalización pieza 3 y piezas no servidas										
166	- piezas; almacenadas x precio almacenaje piezas 3										
167	- precio venta pieza 3 x piezas 3 vendidas)										

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i^k + \sum_{s=1}^S PR_{is} (P_i x_{ni} + a_i x_{ai} - P_v x_{vi})$$

c_i : costes de fabricación del modelo i
 x_i^k es la producción del molde i en las máquinas k en el periodo t .
 n : número máximo de modelos susceptibles de montarse en las máquinas k en nuestras instalaciones.
 $s=3$
 PR_{is} : Probabilidad del escenario s , de la pieza i
 S : número máximo de escenarios
 P_i : penalización no servidas pieza i
 x_{ni} : piezas no servidas del modelo i
 a_i : piezas almacenadas del modelo i
 P_v : precio de venta del modelo i
 x_{vi} : piezas vendidas del modelo i
 e_i : coste de almacenamiento del modelo i

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EstocPiezas II

Informe creado: 05/03/2011 11:27:37

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$126	minimizar Pieza tipo 3	-6020	-6020

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$28	x1 no servicio	267	267
\$D\$29	x2 no servicio	480	480
\$D\$30	x3 no servicio	453	453
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	0	0
\$D\$33	y31 no servicio	205	205
\$D\$34	y12 no servicio	0	0
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	176	176
\$D\$37	y13 no servicio	20	20
\$D\$38	y23 no servicio	24	24
\$D\$39	y33 no servicio	235	235
\$D\$40	w11 no servicio	200	200
\$D\$41	w21 no servicio	240	240
\$D\$42	w31 no servicio	295	295
\$D\$43	w12 no servicio	200	200
\$D\$44	w22 no servicio	240	240
\$D\$45	w32 no servicio	324	324
\$D\$46	w13 no servicio	180	180
\$D\$47	w23 no servicio	216	216
\$D\$48	w33 no servicio	265	265
\$D\$49	z11 no servicio	0	0
\$D\$50	z21 no servicio	0	0
\$D\$51	z31 no servicio	0	0
\$D\$52	z12 no servicio	20	20
\$D\$53	z22 no servicio	24	24
\$D\$54	z32 no servicio	0	0
\$D\$55	z13 no servicio	0	0
\$D\$56	z23 no servicio	0	0
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$64	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$64<=\$D\$64	Obligatorio	0
\$B\$65	Pieza tipo 3	200	\$B\$65>=\$D\$65	Obligatorio	0
\$B\$66	Pieza tipo 3	240	\$B\$66>=\$D\$66	Obligatorio	0
\$B\$67	Pieza tipo 3	500	\$B\$67>=\$D\$67	Obligatorio	0
\$B\$68	Pieza tipo 3	220	\$B\$68>=\$D\$68	Opcional	20
\$B\$69	Pieza tipo 3	264	\$B\$69>=\$D\$69	Opcional	24
\$B\$70	Pieza tipo 3	500	\$B\$70>=\$D\$70	Obligatorio	0
\$B\$71	Pieza tipo 3	200	\$B\$71>=\$D\$71	Obligatorio	0
\$B\$72	Pieza tipo 3	240	\$B\$72>=\$D\$72	Obligatorio	0
\$B\$73	Pieza tipo 3	500	\$B\$73>=\$D\$73	Obligatorio	0
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	\$B\$74=\$D\$74	Opcional	0
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	\$B\$75=\$D\$75	Opcional	0
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	\$B\$76=\$D\$76	Opcional	0
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	\$B\$77=\$D\$77	Opcional	0
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	\$B\$78=\$D\$78	Opcional	0
\$B\$79	Pieza tipo 3	0	\$B\$79=\$D\$79	Opcional	0
\$B\$80	Pieza tipo 3	0	\$B\$80=\$D\$80	Opcional	0
\$B\$81	Pieza tipo 3	0	\$B\$81=\$D\$81	Opcional	0
\$B\$82	Pieza tipo 3	0	\$B\$82=\$D\$82	Opcional	0
\$B\$83	Pieza tipo 3	200	\$B\$83<=\$D\$83	Obligatorio	0
\$B\$84	Pieza tipo 3	240	\$B\$84<=\$D\$84	Obligatorio	0
\$B\$85	Pieza tipo 3	295	\$B\$85<=\$D\$85	Opcional	205,333333
\$B\$86	Pieza tipo 3	200	\$B\$86<=\$D\$86	Obligatorio	0
\$B\$87	Pieza tipo 3	240	\$B\$87<=\$D\$87	Obligatorio	0
\$B\$88	Pieza tipo 3	324	\$B\$88<=\$D\$88	Opcional	175,8666664
\$B\$89	Pieza tipo 3	180	\$B\$89<=\$D\$89	Opcional	20
\$B\$90	Pieza tipo 3	216	\$B\$90<=\$D\$90	Opcional	24,00000014
\$B\$91	Pieza tipo 3	0	\$B\$91<=\$D\$91	Opcional	500
\$B\$92	x1 Pieza tipo 3	267	\$B\$92>=\$D\$92	Opcional	267
\$B\$93	x2 Pieza tipo 3	480	\$B\$93>=\$D\$93	Opcional	480
\$B\$94	x3 Pieza tipo 3	453	\$B\$94>=\$D\$94	Opcional	453
\$B\$95	y11 Pieza tipo 3	0	\$B\$95>=\$D\$95	Obligatorio	0
\$B\$96	y21 Pieza tipo 3	0	\$B\$96>=\$D\$96	Obligatorio	0
\$B\$97	y31 Pieza tipo 3	205	\$B\$97>=\$D\$97	Opcional	205
\$B\$98	y12 Pieza tipo 3	0	\$B\$98>=\$D\$98	Obligatorio	0
\$B\$99	y22 Pieza tipo 3	0	\$B\$99>=\$D\$99	Obligatorio	0
\$B\$100	y32 Pieza tipo 3	176	\$B\$100>=\$D\$100	Opcional	176
\$B\$101	y13 Pieza tipo 3	20	\$B\$101>=\$D\$101	Opcional	20
\$B\$102	y23 Pieza tipo 3	24	\$B\$102>=\$D\$102	Opcional	24
\$B\$103	y33 Pieza tipo 3	235	\$B\$103>=\$D\$103	Opcional	235
\$B\$104	w11 Pieza tipo 3	200	\$B\$104>=\$D\$104	Opcional	200

\$B\$105	z11 Pieza tipo 3	0	\$B\$105>=\$D\$105	Obligatorio	0
\$B\$106	w21 Pieza tipo 3	240	\$B\$106>=\$D\$106	Opcional	240
\$B\$107	z21 Pieza tipo 3	0	\$B\$107>=\$D\$107	Obligatorio	0
\$B\$108	w31 Pieza tipo 3	295	\$B\$108>=\$D\$108	Opcional	295
\$B\$109	z31 Pieza tipo 3	0	\$B\$109>=\$D\$109	Obligatorio	0
\$B\$110	w12 Pieza tipo 3	200	\$B\$110>=\$D\$110	Opcional	200
\$B\$111	z12 Pieza tipo 3	20	\$B\$111>=\$D\$111	Opcional	20
\$B\$112	w22 Pieza tipo 3	240	\$B\$112>=\$D\$112	Opcional	240
\$B\$113	z22 Pieza tipo 3	24	\$B\$113>=\$D\$113	Opcional	24
\$B\$114	w32 Pieza tipo 3	324	\$B\$114>=\$D\$114	Opcional	324
\$B\$115	z32 Pieza tipo 3	0	\$B\$115>=\$D\$115	Obligatorio	0
\$B\$116	w13 Pieza tipo 3	180	\$B\$116>=\$D\$116	Opcional	180
\$B\$117	z13 Pieza tipo 3	0	\$B\$117>=\$D\$117	Obligatorio	0
\$B\$118	w23 Pieza tipo 3	216	\$B\$118>=\$D\$118	Opcional	216
\$B\$119	z23 Pieza tipo 3	0	\$B\$119>=\$D\$119	Obligatorio	0
\$B\$120	w33 Pieza tipo 3	265	\$B\$120>=\$D\$120	Opcional	265
\$B\$121	z33 Pieza tipo 3	0	\$B\$121>=\$D\$121	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EstocPiezas II

Informe creado: 05/03/2011 11:27:38

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$28	x1 no servicio	267	0
\$D\$29	x2 no servicio	480	0
\$D\$30	x3 no servicio	453	0
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	0	0
\$D\$33	y31 no servicio	205	0
\$D\$34	y12 no servicio	0	0
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	176	0
\$D\$37	y13 no servicio	20	0
\$D\$38	y23 no servicio	24	0
\$D\$39	y33 no servicio	235	0
\$D\$40	w11 no servicio	200	0
\$D\$41	w21 no servicio	240	0
\$D\$42	w31 no servicio	295	0
\$D\$43	w12 no servicio	200	0
\$D\$44	w22 no servicio	240	0

\$D\$45	w32 no servicio	324	0
\$D\$46	w13 no servicio	180	0
\$D\$47	w23 no servicio	216	0
\$D\$48	w33 no servicio	265	0
\$D\$49	z11 no servicio	0	0
\$D\$50	z21 no servicio	0	0
\$D\$51	z31 no servicio	0	0
\$D\$52	z12 no servicio	20	0
\$D\$53	z22 no servicio	24	0
\$D\$54	z32 no servicio	0	0
\$D\$55	z13 no servicio	0	0
\$D\$56	z23 no servicio	0	0
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$64	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-32
\$B\$65	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$66	Pieza tipo 3	240	96
\$B\$67	Pieza tipo 3	500	24
\$B\$68	Pieza tipo 3	220	0
\$B\$69	Pieza tipo 3	264	0
\$B\$70	Pieza tipo 3	500	12
\$B\$71	Pieza tipo 3	200	30
\$B\$72	Pieza tipo 3	240	21
\$B\$73	Pieza tipo 3	500	4
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	-120
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	-90
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	-22
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	3
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	3
\$B\$79	Pieza tipo 3	0	-11
\$B\$80	Pieza tipo 3	0	-20
\$B\$81	Pieza tipo 3	0	-15
\$B\$82	Pieza tipo 3	0	-4
\$B\$83	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$84	Pieza tipo 3	240	0
\$B\$85	Pieza tipo 3	295	0
\$B\$86	Pieza tipo 3	200	-63
\$B\$87	Pieza tipo 3	240	-48
\$B\$88	Pieza tipo 3	324	0
\$B\$89	Pieza tipo 3	180	0
\$B\$90	Pieza tipo 3	216	0

\$B\$91	Pieza tipo 3	0	0
\$B\$92	x1 Pieza tipo 3	267	0
\$B\$93	x2 Pieza tipo 3	480	0
\$B\$94	x3 Pieza tipo 3	453	0
\$B\$95	y11 Pieza tipo 3	0	165
\$B\$96	y21 Pieza tipo 3	0	30
\$B\$97	y31 Pieza tipo 3	205	0
\$B\$98	y12 Pieza tipo 3	0	90
\$B\$99	y22 Pieza tipo 3	0	63
\$B\$100	y32 Pieza tipo 3	176	0
\$B\$101	y13 Pieza tipo 3	20	0
\$B\$102	y23 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$103	y33 Pieza tipo 3	235	0
\$B\$104	w11 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$105	z11 Pieza tipo 3	0	126
\$B\$106	w21 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$107	z21 Pieza tipo 3	0	96
\$B\$108	w31 Pieza tipo 3	295	0
\$B\$109	z31 Pieza tipo 3	0	28
\$B\$110	w12 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$111	z12 Pieza tipo 3	20	0
\$B\$112	w22 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$113	z22 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$114	w32 Pieza tipo 3	324	0
\$B\$115	z32 Pieza tipo 3	0	14
\$B\$116	w13 Pieza tipo 3	180	0
\$B\$117	z13 Pieza tipo 3	0	21
\$B\$118	w23 Pieza tipo 3	216	0
\$B\$119	z23 Pieza tipo 3	0	16
\$B\$120	w33 Pieza tipo 3	265	0
\$B\$121	z33 Pieza tipo 3	0	5

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 4

Informe creado: 05/03/2011 11:27:38

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$126	minimizar Pieza tipo 3	6020

Celda	Celdas cambiantes		Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
	Nombre	Igual				
\$D\$28	x1 no servicio	267	267	-6020	267	-6020
\$D\$29	x2 no servicio	480	480	-6020	480	-6020
\$D\$30	x3 no servicio	453	453	-6020	453	-6020
\$D\$31	y11 no servicio	0	0	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$32	y21 no servicio	0	0	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$33	y31 no servicio	205	205	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$34	y12 no servicio	0	0	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$35	y22 no servicio	0	0	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$36	y32 no servicio	176	176	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$37	y13 no servicio	20	20	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$38	y23 no servicio	24	24	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$39	y33 no servicio	235	235	-6020	#N/A	#N/A
\$D\$40	w11 no servicio	200	200	-6020	200	-6020
\$D\$41	w21 no servicio	240	240	-6020	240	-6020
\$D\$42	w31 no servicio	295	295	-6020	295	-6020
\$D\$43	w12 no servicio	200	200	-6020	200	-6020
\$D\$44	w22 no servicio	240	240	-6020	240	-6020
\$D\$45	w32 no servicio	324	324	-6020	324	-6020
\$D\$46	w13 no servicio	180	180	-6020	180	-6020
\$D\$47	w23 no servicio	216	216	-6020	216	-6020
\$D\$48	w33 no servicio	265	265	-6020	265	-6020
\$D\$49	z11 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$50	z21 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$51	z31 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$52	z12 no servicio	20	20	-6020	20	-6020
\$D\$53	z22 no servicio	24	24	-6020	24	-6020
\$D\$54	z32 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$55	z13 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$56	z23 no servicio	0	0	-6020	0	-6020
\$D\$57	z33 no servicio	0	0	-6020	0	-6020

EV: rendimientos medios

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3	Microsoft Excel uso no comercial - PlanproductMARZOFORMULAS.xlsx								
4	Modelos totales	1200							
6	Piezas tipo 1	200	Piezas neces.	300	Precio almacenaje	Rendimiento perfecta IC 100	Costes fabricación		
9	Pieza tipo 2	240		210					
11	Piezas tipo 3	500		40					
12									
13									
14									
15	Variables								
16	Coladas mode	=A8	s1	26.47390948732					
17	Coladas mode	=A10	s2	470.58823624118					
18	Coladas mode	=A12	s3	467.97389620915					
19	piezas no servidas	=A8	s1	0					
20	piezas no servidas	=A10	s2	0					
21	piezas no servidas	=A12	s3	185.733333658827					
22	piezas vendidas	=A8	s1	200					
23	piezas vendidas	=A10	s2	240					
24	piezas vendidas	=A12	s3	310.266666540173					
25	piezas almacenadas	=A8	s1	0					
26	piezas almacenadas	=A10	s2	0					
27	piezas almacenadas	=A12	s3	0					
28									
29									
30									
31									
32									
33	Restricciones:								
34	s1+s2+s3	=D16:D17+D18	<=	=E4	Producción taller M molinos tipo k <= capacidad				
35	F10+D17+D18	=F10+D17+D18	>=	=E8	Rendimiento 1 molinos 1: no servidas 1: piezas necesarias 1				
36	F12+D18+D21	=F12+D18+D21	>=	=E9	Rendimiento 2 molinos 2: no servidas 2: piezas necesarias 2				
37	D22+D26+F10+D17	=D22+D26+F10+D17	>=	=E12	Rendimiento 3 molinos 3: no servidas 3: piezas necesarias 3				
38	D24+D27+F12+D18	=D24+D27+F12+D18	=	=	piezas vendidas 1: almacenadas 1: rendimiento 1: número molinos 1 = 0				
39	D22	=D22	=	=	piezas vendidas 2: almacenadas 2: rendimiento 2: número molinos 2 = 0				
40	D24	=D24	=	=	piezas vendidas 3: almacenadas 3: rendimiento 3: número molinos 3 = 0				
41	D22	=D22	<=	=E8	piezas vendidas k: piezas necesarias tipo 1				
42	D23	=D23	<=	=E10	piezas vendidas 2k: piezas necesarias tipo 2				
43	D24	=D24	<=	=E12	piezas vendidas 3k: piezas necesarias tipo 3				
44	D16	=D16	>=	=					
45	D17	=D17	>=	=					
46	D18	=D18	>=	=					
47	D19	=D19	>=	=					
48	D20	=D20	>=	=					
49	D21	=D21	>=	=					
50	D22	=D22	>=	=					
51	D25	=D25	>=	=					
52	D23	=D23	>=	=					
53	D24	=D24	>=	=					
54	D24	=D24	>=	=					
55	D27	=D27	>=	=					
56									
57	Función objetivo								
58	minimizar				=G8'D6+G10'D17+G12'D18+D20+D12'D21+E8'D26+E10'D36+E12'D37+C8'D22+C10'D33+C12'D24				
59									
60	Gastos - ingresos								
61									

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EV

Informe creado: 05/03/2011 11:28:12

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	-9719	-9719

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	261	261
\$D\$17	x2 no servicio	471	471
\$D\$18	x3 no servicio	468	468
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	190	190
\$D\$22	w1 no servicio	200	200
\$D\$23	w2 no servicio	240	240
\$D\$24	w3 no servicio	310	310
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0
\$D\$28	no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$34<=\$D\$34	Obligatorio	0
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	\$B\$35>=\$D\$35	Obligatorio	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	\$B\$36>=\$D\$36	Obligatorio	0
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	\$B\$37>=\$D\$37	Obligatorio	0
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	\$B\$38=\$D\$38	Opcional	0
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	\$B\$39=\$D\$39	Opcional	0
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	\$B\$40=\$D\$40	Opcional	0
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	\$B\$41<=\$D\$41	Obligatorio	0
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	\$B\$42<=\$D\$42	Obligatorio	0
\$B\$43	Pieza tipo 3	310	\$B\$43<=\$D\$43	Opcional	189,7333337
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	261	\$B\$44>=\$D\$44	Opcional	261
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	471	\$B\$45>=\$D\$45	Opcional	471
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	468	\$B\$46>=\$D\$46	Opcional	468
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	\$B\$47>=\$D\$47	Obligatorio	0
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	\$B\$48>=\$D\$48	Obligatorio	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	190	\$B\$49>=\$D\$49	Opcional	190
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	\$B\$50>=\$D\$50	Opcional	200
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	\$B\$51>=\$D\$51	Obligatorio	0
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	\$B\$52>=\$D\$52	Opcional	240
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	\$B\$53>=\$D\$53	Obligatorio	0
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	310	\$B\$54>=\$D\$54	Opcional	310
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	\$B\$55>=\$D\$55	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EV

Informe creado: 05/03/2011 11:28:12

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	261	0
\$D\$17	x2 no servicio	471	0
\$D\$18	x3 no servicio	468	0
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	190	0
\$D\$22	w1 no servicio	200	0
\$D\$23	w2 no servicio	240	0
\$D\$24	w3 no servicio	310	0
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0
\$D\$28	no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-32
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	210
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	40
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	-173
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	-1
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	-36
\$B\$41	Pieza tipo 3	200	-27
\$B\$42	Pieza tipo 3	240	-149
\$B\$43	Pieza tipo 3	310	0
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	261	0
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	471	0
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	468	0
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	0	300
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	190	0
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	183
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	11
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	310	0
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	46

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 5

Informe creado: 05/03/2011 11:28:12

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	-9719

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	261	261	-9719	261	-9719
\$D\$17	x2 no servicio	471	471	-9719	471	-9719
\$D\$18	x3 no servicio	468	468	-9719	468	-9719
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	-9719	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	-9719	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	190	190	-9719	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	200	200	-9719	200	-9719
\$D\$23	w2 no servicio	240	240	-9719	240	-9719
\$D\$24	w3 no servicio	310	310	-9719	310	-9719
\$D\$25	z1 no servicio	0	0	-9719	0	-9719
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	-9719	0	-9719
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	-9719	0	-9719

EEV1: rendimientos escenario 1 con piezas taller M rendimientos medios

	A	B	C	E	F	G	H	I	
1	Microsoft Excel uso no comercial - PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx								
2	Escenario 1	EEV1							
3	Moldes totales	1200							
7	Piezas nuevas	200	200	300	0,75	100			
8	Piezas tipo 1	240	150	=C10/14	0,5	75			
9	Piezas tipo 2	500	36	0	0,65	18			
10	Piezas tipo 3								
11									
12									
13									
14									
15	Variables								
16	Coladas molde	=A8	k1	2814,37907496732					
17	Coladas molde	=A10	k2	470,68823629418					
18	Coladas molde	=A12	k3	467,97386721815					
19	piezas no servidas	=A8	j1	3,92156307748099					
20	piezas no servidas	=A10	j2	4,20688236294184					
21	piezas no servidas	=A12	j3	65,6163962668353					
22	piezas vendidas	=A8	w1	96,078430622549					
23	=A22		w2	33,234176710939					
24	=A22		w3	30,4163007013147					
25	piezas almacenadas	=A8	z1	0					
26	=A26		z2	-7,105127357601E-16					
27	=A26		z3	0					
28				0					
29									
30									
31									
32									
33	Restricciones:								
34	k1+k2+k3	=D16:D17:D18	<=	=B4					
35	F8'D16=C19	=F8'D16=C19	>=	=B8					
36	=F10'D17=D20	=F10'D17=D20	>=	=B10					
37	=F12'D18=F12	=F12'D18=F12	>=	=B12					
38	=E22+D25=F8'D16	=E22+D25=F8'D16	=	0					
39	=E23+D26=F10'D17	=E23+D26=F10'D17	=	0					
40	=E24+D27=F12'D18	=E24+D27=F12'D18	=	0					
41	=E22	=E22	<=	=B8					
42	=E23	=E23	<=	=B10					
43	=E24	=E24	<=	=B12					
44	w1	=E16	=	=Información perfecta IF3:					
45	w2	=E17	=	=Información perfecta IF3:					
46	w3	=E18	=	=Información perfecta IF3:					
47	j1	=E19	>=	0					
48	j2	=E20	>=	0					
49	j3	=E21	>=	0					
50	w1	=E22	>=	0					
51	w1	=E25	>=	0					
52	w2	=E23	>=	0					
53	w2	=E26	>=	0					
54	w3	=E24	>=	0					
55	w3	=E27	>=	0					
56	Función objetivo								
57	minimizar								
58									
59									

Esenario EEV1	Coladas	Necesarias	Fabricadas
Piezas tipo 1	=D16	=B8	=D16:F8
Piezas tipo 2	=D17	=B10	=D17:F10
Piezas tipo 3	=D18	=B12	=D18:F12
suma	=SUMA(H17:H18)	=SUMA(G17:G18)	=SUMA(I17:I18)
ventas	no servidas	almacenadas	
Piezas tipo 1	=D22	=D19	=D25
Piezas tipo 2	=D23	=D20	=D28
Piezas tipo 3	=D24	=D21	=D27
suma	=SUMA(G22:G24)	=SUMA(H22:H24)	=SUMA(I22:I24)
Beneficio	=B68		

Producción taller M moldes tipo k <= capacidad
Rendimiento1 x moldes 1 > no servidas 1 > piezas necesarias 1
Rendimiento2 x moldes 2 > no servidas 2 > piezas necesarias 2
Rendimiento3 x moldes 3 > no servidas 3 > piezas necesarias 3
piezas vendidas 1 + almacenadas 2 - rendimiento1 x número moldes 1 = 0
piezas vendidas 2 + almacenadas 3 - rendimiento2 x número moldes 2 = 0
piezas vendidas 3 + almacenadas 1 - rendimiento3 x número moldes 3 = 0
Piezas vendidas 1 <= piezas necesarias tipo1
Piezas vendidas 2 <= piezas necesarias tipo 2
Piezas vendidas 3 <= piezas necesarias tipo 3

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV1

Informe creado: 05/03/2011 11:28:51

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	-5602	-5602

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	261	261
\$D\$17	x2 no servicio	471	471
\$D\$18	x3 no servicio	468	468
\$D\$19	y1 no servicio	4	4
\$D\$20	y2 no servicio	5	5
\$D\$21	y3 no servicio	196	196
\$D\$22	w1 no servicio	196	196
\$D\$23	w2 no servicio	235	235
\$D\$24	w3 no servicio	304	304
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$34<=\$D\$34	Obligatorio	0
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	\$B\$35>=\$D\$35	Obligatorio	0
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	\$B\$36>=\$D\$36	Obligatorio	0
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	\$B\$37>=\$D\$37	Obligatorio	0
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	\$B\$38=\$D\$38	Opcional	0
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	\$B\$39=\$D\$39	Opcional	0
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	\$B\$40=\$D\$40	Opcional	0
\$B\$41	Pieza tipo 3	196	\$B\$41<=\$D\$41	Opcional	3,921569377
\$B\$42	Pieza tipo 3	235	\$B\$42<=\$D\$42	Opcional	4,705882353
\$B\$43	Pieza tipo 3	304	\$B\$43<=\$D\$43	Opcional	195,816993
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	261	\$B\$44=\$D\$44	Opcional	0
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	471	\$B\$45=\$D\$45	Opcional	0
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	468	\$B\$46=\$D\$46	Opcional	0
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	4	\$B\$47>=\$D\$47	Opcional	4
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	5	\$B\$48>=\$D\$48	Opcional	5
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	196	\$B\$49>=\$D\$49	Opcional	196
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	196	\$B\$50>=\$D\$50	Opcional	196
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	\$B\$51>=\$D\$51	Obligatorio	0
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	235	\$B\$52>=\$D\$52	Opcional	235
\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	\$B\$53>=\$D\$53	Obligatorio	0
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	304	\$B\$54>=\$D\$54	Opcional	304
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	\$B\$55>=\$D\$55	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo:

[PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV1

Informe creado: 05/03/2011 11:28:51

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	261	0
\$D\$17	x2 no servicio	471	0
\$D\$18	x3 no servicio	468	0
\$D\$19	y1 no servicio	4	0
\$D\$20	y2 no servicio	5	0
\$D\$21	y3 no servicio	196	0
\$D\$22	w1 no servicio	196	0
\$D\$23	w2 no servicio	235	0
\$D\$24	w3 no servicio	304	0
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$34	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	0
\$B\$35	Pieza tipo 3	200	300
\$B\$36	Pieza tipo 3	240	210
\$B\$37	Pieza tipo 3	500	40
\$B\$38	Pieza tipo 3	0	-200
\$B\$39	Pieza tipo 3	0	-150
\$B\$40	Pieza tipo 3	0	-36
\$B\$41	Pieza tipo 3	196	0
\$B\$42	Pieza tipo 3	235	0
\$B\$43	Pieza tipo 3	304	0
\$B\$44	x1 Pieza tipo 3	261	-275
\$B\$45	x2 Pieza tipo 3	471	-105
\$B\$46	x3 Pieza tipo 3	468	-31
\$B\$47	y1 Pieza tipo 3	4	0
\$B\$48	y2 Pieza tipo 3	5	0
\$B\$49	y3 Pieza tipo 3	196	0
\$B\$50	w1 Pieza tipo 3	196	0
\$B\$51	w11 Pieza tipo 3	0	210
\$B\$52	w2 Pieza tipo 3	235	0

\$B\$53	w22 Pieza tipo 3	0	160
\$B\$54	w3 Pieza tipo 3	304	0
\$B\$55	w33 Pieza tipo 3	0	46

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 6

Informe creado: 05/03/2011 11:28:51

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$58	minimizar Pieza tipo 3	-5602

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	261	261	-5602	261	-5602
\$D\$17	x2 no servicio	471	471	-5602	471	-5602
\$D\$18	x3 no servicio	468	468	-5602	468	-5602
\$D\$19	y1 no servicio	4	4	-5602	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	5	5	-5602	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	196	196	-5602	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	196	196	-5602	196	-5602
\$D\$23	w2 no servicio	235	235	-5602	235	-5602
\$D\$24	w3 no servicio	304	304	-5602	304	-5602
\$D\$25	z1 no servicio	0	0	-5602	0	-5602
\$D\$26	z2 no servicio	0	0	-5602	0	-5602
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	-5602	0	-5602

EEV2: rendimientos escenario 2 con piezas taller M rendimientos medios

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	RENDIMIENTO		EEV2							
3		0,1								
4	Moldes totales	1200								
5										
6										
7		Piezas neces	Precoventa	Penalización no servicio	Precio almacenaje	Rendimiento	Costes fabricación			
8	Piezas tipo 1	200	200	300	10	=0,75*(+B2)	100			
9	Piezas tipo 2	240	160	=C10*1,4	10	=0,5*(+B2)	75			
10	Piezas tipo 3	500	36	40	10	=0,65*(+B2)	38			
11										
12										
13										
14										
15	Variables									
16	Coladas molde	=A8		2614,9707498732						
17	Coladas molde	=A10		470,588234394188						
18	Coladas molde	=A12		467,97388720945						
19	piezas no servidas	=A8		0						
20	piezas no servidas	=A10		0						
21	piezas no servidas	=A12		165,388632095457						
22	piezas vendidas	=A8		200						
23	piezas vendidas	=A10		240						
24	piezas almacenadas	=A12		334,601307714662						
25	piezas almacenadas	=A8		16,6882137166611						
26	piezas almacenadas	=A10		18,82288062317						
27	piezas almacenadas	=A12		0						
28										
29										
30										
31										
32										
33	Reparticiones									
34	piezas tipo 1	=D16-D17-D18		=E4						
35	piezas tipo 2	=F1016-D16		=E8						
36	piezas tipo 3	=F1017-D20		=B10						
37	piezas tipo 4	=F12-D18+D21		=B12						
38	piezas tipo 5	=D22-D25-F8-D16		0						
39	piezas tipo 6	=D23-D26-F10-D17		0						
40	piezas tipo 7	=D24+D27-F12-D18		0						
41	piezas tipo 8	=D22		=E8						
42	piezas tipo 9	=D23		=E10						
43	piezas tipo 10	=D24		=B12						
44	piezas tipo 11	=D16		= Información perfecta IF32						
45	piezas tipo 12	=D17		= Información perfecta IF33						
46	piezas tipo 13	=D18		= Información perfecta IF34						
47	piezas tipo 14	=D20		0						
48	piezas tipo 15	=D21		0						
49	piezas tipo 16	=D22		0						
50	piezas tipo 17	=D25		0						
51	piezas tipo 18	=D23		0						
52	piezas tipo 19	=D26		0						
53	piezas tipo 20	=D24		0						
54	piezas tipo 21	=D27		0						
55										
56	Función objetivo									
57	minimizar									
58										
59	Gastos - ingresos									
60										
61										
62										
63										
64										
65										

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV2

Informe creado: 05/03/2011 11:29:00

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$57	minimizar w33	-11223	-11223

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	261	261
\$D\$17	x2 no servicio	471	471
\$D\$18	x3 no servicio	468	468
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	165	165
\$D\$22	w1 no servicio	200	200
\$D\$23	w2 no servicio	240	240
\$D\$24	w3 no servicio	335	335
\$D\$25	z1 no servicio	16	16
\$D\$26	z2 no servicio	19	19
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$C\$33	x1+x2+x3 z3	1200	\$C\$33<=\$E\$33	Obligatorio	0
\$C\$34	z3	216	\$C\$34>=\$E\$34	Opcional	16
\$C\$35	z3	259	\$C\$35>=\$E\$35	Opcional	19
\$C\$36	z3	500	\$C\$36>=\$E\$36	Obligatorio	0
\$C\$37	z3	0	\$C\$37=\$E\$37	Opcional	0
\$C\$38	z3	0	\$C\$38=\$E\$38	Opcional	0
\$C\$39	z3	0	\$C\$39=\$E\$39	Opcional	0
\$C\$40	z3	200	\$C\$40<=\$E\$40	Obligatorio	0
\$C\$41	z3	240	\$C\$41<=\$E\$41	Obligatorio	0
\$C\$42	z3	335	\$C\$42<=\$E\$42	Opcional	165,3986923
\$C\$43	x1 z3	261	\$C\$43=\$E\$43	Opcional	0
\$C\$44	x2 z3	471	\$C\$44=\$E\$44	Opcional	0
\$C\$45	x3 z3	468	\$C\$45=\$E\$45	Opcional	0
\$C\$46	y1 z3	0	\$C\$46>=\$E\$46	Obligatorio	0
\$C\$47	y2 z3	0	\$C\$47>=\$E\$47	Obligatorio	0
\$C\$48	y3 z3	165	\$C\$48>=\$E\$48	Opcional	165
\$C\$49	w1 z3	200	\$C\$49>=\$E\$49	Opcional	200
\$C\$50	w11 z3	16	\$C\$50>=\$E\$50	Opcional	16
\$C\$51	w2 z3	240	\$C\$51>=\$E\$51	Opcional	240

\$C\$52	w22 z3	19	\$C\$52>=\$E\$52	Opcional	19
\$C\$53	w3 z3	335	\$C\$53>=\$E\$53	Opcional	335
\$C\$54	w33 z3	0	\$C\$54>=\$E\$54	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV2

Informe creado: 05/03/2011 11:29:00

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	261	0
\$D\$17	x2 no servicio	471	0
\$D\$18	x3 no servicio	468	0
\$D\$19	y1 no servicio	0	0
\$D\$20	y2 no servicio	0	0
\$D\$21	y3 no servicio	165	0
\$D\$22	w1 no servicio	200	0
\$D\$23	w2 no servicio	240	0
\$D\$24	w3 no servicio	335	0
\$D\$25	z1 no servicio	16	0
\$D\$26	z2 no servicio	19	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$C\$33	x1+x2+x3 z3	1200	0
\$C\$34	z3	216	0
\$C\$35	z3	259	0
\$C\$36	z3	500	40
\$C\$37	z3	0	10
\$C\$38	z3	0	10
\$C\$39	z3	0	-36
\$C\$40	z3	200	-210
\$C\$41	z3	240	-160
\$C\$42	z3	335	0
\$C\$43	x1 z3	261	108
\$C\$44	x2 z3	471	81
\$C\$45	x3 z3	468	-36
\$C\$46	y1 z3	0	300
\$C\$47	y2 z3	0	210
\$C\$48	y3 z3	165	0

\$C\$49	w1 z3	200	0
\$C\$50	w11 z3	16	0
\$C\$51	w2 z3	240	0
\$C\$52	w22 z3	19	0
\$C\$53	w3 z3	335	0
\$C\$54	w33 z3	0	46

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 7

Informe creado: 05/03/2011 11:29:01

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$57	minimizar w33	-11223

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	261	261	-11223	261	-11223
\$D\$17	x2 no servicio	471	471	-11223	471	-11223
\$D\$18	x3 no servicio	468	468	-11223	468	-11223
\$D\$19	y1 no servicio	0	0	-11223	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	0	0	-11223	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	165	165	-11223	#N/A	#N/A
\$D\$22	w1 no servicio	200	200	-11223	200	-11223
\$D\$23	w2 no servicio	240	240	-11223	240	-11223
\$D\$24	w3 no servicio	335	335	-11223	335	-11223
\$D\$25	z1 no servicio	16	16	-11223	16	-11223
\$D\$26	z2 no servicio	19	19	-11223	19	-11223
\$D\$27	z3 no servicio	0	0	-11223	0	-11223

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas
 Hoja de cálculo:
 [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV3
 Informe creado: 05/03/2011 11:29:11

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$57	minimizar w33	14985	14985

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$16	x1 no servicio	261,4379085	261,4379085
\$D\$17	x2 no servicio	470,5882353	470,5882353
\$D\$18	x3 no servicio	467,9738562	467,9738562
\$D\$19	y1 no servicio	23,52941176	23,52941176
\$D\$20	y2 no servicio	28,23529412	28,23529412
\$D\$21	y3 no servicio	226,2352941	226,2352941
\$D\$22	w1 no servicio	176,4705882	176,4705882
\$D\$23	w2 no servicio	211,7647059	211,7647059
\$D\$24	w3 no servicio	273,7647059	273,7647059
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$C\$33	x1+x2+x3 z3	1200	\$C\$33<=\$E\$33	Obligatorio	0
\$C\$34	z3	200	\$C\$34>=\$E\$34	Obligatorio	0
\$C\$35	z3	240	\$C\$35>=\$E\$35	Obligatorio	0
\$C\$36	z3	500	\$C\$36>=\$E\$36	Obligatorio	0
\$C\$37	z3	0	\$C\$37=\$E\$37	Opcional	0
\$C\$38	z3	0	\$C\$38=\$E\$38	Opcional	0
\$C\$39	z3	0	\$C\$39=\$E\$39	Opcional	0
\$C\$40	z3	176	\$C\$40<=\$E\$40	Opcional	23,52941176
\$C\$41	z3	212	\$C\$41<=\$E\$41	Opcional	28,23529412
\$C\$42	z3	274	\$C\$42<=\$E\$42	Opcional	226,2352941
\$C\$43	x1 z3	261	\$C\$43=\$E\$43	Opcional	0

\$C\$44	x2 z3	471	\$C\$44=\$E\$44	Opcional	0
\$C\$45	x3 z3	468	\$C\$45=\$E\$45	Opcional	0
\$C\$46	y1 z3	24	\$C\$46>=\$E\$46	Opcional	24
\$C\$47	y2 z3	28	\$C\$47>=\$E\$47	Opcional	28
\$C\$48	y3 z3	226	\$C\$48>=\$E\$48	Opcional	226
\$C\$49	w1 z3	176	\$C\$49>=\$E\$49	Opcional	176
\$C\$50	w11 z3	0	\$C\$50>=\$E\$50	Obligatorio	0
\$C\$51	w2 z3	212	\$C\$51>=\$E\$51	Opcional	212
\$C\$52	w22 z3	0	\$C\$52>=\$E\$52	Obligatorio	0
\$C\$53	w3 z3	274	\$C\$53>=\$E\$53	Opcional	274
\$C\$54	w33 z3	0	\$C\$54>=\$E\$54	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo:

[PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]EEV3

Informe creado: 05/03/2011 11:29:11

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$16	x1 no servicio	261,4379085	0
\$D\$17	x2 no servicio	470,5882353	0
\$D\$18	x3 no servicio	467,9738562	0
\$D\$19	y1 no servicio	23,52941176	0
\$D\$20	y2 no servicio	28,23529412	0
\$D\$21	y3 no servicio	226,2352941	0
\$D\$22	w1 no servicio	176,4705882	0
\$D\$23	w2 no servicio	211,7647059	0
\$D\$24	w3 no servicio	273,7647059	0
\$D\$25	z1 no servicio	0	0
\$D\$26	z2 no servicio	0	0
\$D\$27	z3 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$C\$33	x1+x2+x3 z3	1200	0
\$C\$34	z3	200	300
\$C\$35	z3	240	210
\$C\$36	z3	500	40
\$C\$37	z3	0	-200
\$C\$38	z3	0	-150

\$C\$39	z3	0	-36
\$C\$40	z3	176	0
\$C\$41	z3	212	0
\$C\$42	z3	274	0
\$C\$43	x1 z3	261	-238
\$C\$44	x2 z3	471	-87
\$C\$45	x3 z3	468	-26
\$C\$46	y1 z3	24	0
\$C\$47	y2 z3	28	0
\$C\$48	y3 z3	226	0
\$C\$49	w1 z3	176	0
\$C\$50	w11 z3	0	210
\$C\$51	w2 z3	212	0
\$C\$52	w22 z3	0	160
\$C\$53	w3 z3	274	0
\$C\$54	w33 z3	0	46

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 8

Informe creado: 05/03/2011 11:29:11

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$57	minimizar w33	14985

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$16	x1 no servicio	261,4379085	261,4379085	14984,73203	261,4379085	14984,73203
\$D\$17	x2 no servicio	470,5882353	470,5882353	14984,73203	470,5882353	14984,73203
\$D\$18	x3 no servicio	467,9738562	467,9738562	14984,73203	467,9738562	14984,73203
\$D\$19	y1 no servicio	23,52941176	23,52941176	14984,73203	#N/A	#N/A
\$D\$20	y2 no servicio	28,23529412	28,23529412	14984,73203	#N/A	#N/A
\$D\$21	y3 no servicio	226,2352941	226,2352941	14984,73203	#N/A	#N/A

\$D\$22 w1 no servicio	176,4705882	176,4705882	14984,73203	176,4705882	14984,73203
\$D\$23 w2 no servicio	211,7647059	211,7647059	14984,73203	211,7647059	14984,73203
\$D\$24 w3 no servicio	273,7647059	273,7647059	14984,73203	273,7647059	14984,73203
\$D\$25 z1 no servicio	0	0	14984,73203	0	14984,73203
\$D\$26 z2 no servicio	0	0	14984,73203	0	14984,73203
\$D\$27 z3 no servicio	0	0	14984,73203	0	14984,73203

Estocástico completo caso dos: Probabilidad y rendimientos distintos por escenarios

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5	ESTOCÁSTICO								
10									
11	Coladas disponibles:	200							
12									
13									
14									
15		Piezas nuevas							
16	Piezas tipo 1	200	200	Perdición por servicio	IC				Costes fabricación
17				300					100
18									
19									
20	Piezas tipo 2	240	60	=C20*4	IC				75
21									
22									
23									
24	Piezas tipo 3	500	35	40	IC				15
25									
26									
27	Variables								
28	Coladas modelo	A16	A1	288,666666666667					
29	Coladas modelo	A20	A2	480					
30	Coladas modelo	A24	A3	480,000000000000					
31	piezas no servidas	A36	A4	C					
32	piezas no servidas	A320	A5	17765568940320000000					
33	piezas no servidas	A324	A6	205,000000000000					
34	piezas no servidas	A36	A7	120					
35	piezas no servidas	A320	A8	C					
36	piezas no servidas	A324	A9	178,865568666667					
37	piezas no servidas	A36	A10	20					
38	piezas no servidas	A320	A11	24					
39	piezas no servidas	A324	A12	294,8					
40	piezas vendidas	A36	A13	200					
41	A40	A320	A14	240					
42	A40	A324	A15	294,666666666667					
43	piezas vendidas	A36	A16	80					
44	A40	A320	A17	240					
45	A40	A324	A18	324,000000000000					
46	piezas vendidas	A36	A19	190					
47	A48	A320	A20	216					
48	A48	A324	A21	286,2					
49	piezas alternadas	A36	A22	24					
50	A48	A320	A23	C					
51	A50	A324	A24	C					
52	piezas alternadas	A36	A25	C					
53	A52	A320	A26	24					
54	A52	A324	A27	C					
55	piezas alternadas	A36	A28	C					
56	A56	A320	A29	C					
57	A56	A324	A30	C					

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	Piezas vendidas alle 'A'		
	+D28	+G30	+H30
	+D29	+G31	+H31
	+D30	+G32	+H32
	+SUMA(D28:D32)	+SUMA(G30:H32)	+SUMA(H30:H32)
		Piezas fabricadas	
	+D37F16	+D37G16	+D37H16
	+D37F20	+D37G20	+D37H20
	+D37F24	+D37G24	+D37H24
	+SUMA(D37:F37)	+SUMA(G37:H37)	+SUMA(H37:F37)
		Piezas vendidas	
	+D40	+D41	+D42
	+D41	+D42	+D43
	+D42	+D43	+D44
	+SUMA(D40:H42)	+SUMA(H40:H42)	+SUMA(H42:H42)
		Piezas re servidas	
	+D31	+D34	+D37
	+D32	+D35	+D38
	+D33	+D36	+D39
	+SUMA(D31:H37)	+SUMA(H34:H37)	+SUMA(H37:H37)
		Piezas alternadas	
	+D49	+D52	+D56
	+D50	+D53	+D58
	+D51	+D54	+D61
	+SUMA(D49:H52)	+SUMA(H52:H52)	+SUMA(H52:H52)
	Beneficio		+E05

	A	B	C	D	E	F	G	H
62	Restricciones							
64	$x_{11} \geq x_{13}$	=D28-C23+D30						
65		=F10-D38+D3						
66		=F20-D25-D32						
67		=F34-D36-D33						
68		=G16-D23-D34						
69		=G20-D29-D35						
70		=G34-D39+D36						
71		=H57-D28-D37						
72		=H20-D29-D38						
73		=H34-D39+D38						
74		=D40-C48-F40-D28						
75		=D41-D36-F40-D29						
76		=D42-C59-F24-D30						
77		=D43-C52-B15-D28						
78		=D44-C52-B20-D28						
79		=D45-C54-B24-D30						
80		=D46-C55-H15-D28						
81		=D47-C56-H20-D28						
82		=D48-C57-H24-D30						
83		=D40						
84		=D41						
85		=D42						
86		=D43						
87		=D44						
88		=D45						
89		=D46						
90		=D47						
91		=D47						
92		$x_{11} = D28$						
93		$x_{12} = D29$						
94		$x_{13} = D30$						
95		$x_{21} = D31$						
96		$x_{22} = D32$						
97		$x_{23} = D33$						
98		$x_{31} = D34$						
99		$x_{32} = D35$						
100		$x_{33} = D36$						
101		$x_{41} = D37$						
102		$x_{42} = D38$						
103		$x_{43} = D39$						
104		$w_{11} = D40$						
105		$z_{11} = D41$						
106		$z_{21} = D42$						
107		$z_{31} = D43$						
108		$z_{41} = D44$						
109		$z_{51} = D45$						
110		$w_{12} = D46$						
111		$w_{22} = D47$						
112		$w_{32} = D48$						
113		$w_{42} = D49$						
114		$w_{52} = D50$						
115		$w_{62} = D51$						
116		$w_{72} = D52$						
117		$w_{82} = D53$						
118		$w_{92} = D54$						
119		$w_{102} = D55$						
120		$w_{112} = D56$						
121		$w_{122} = D57$						

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Estoc completo

Informe creado: 05/03/2011 11:29:29

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$126	minimizar Pieza tipo 3	4296	4296

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$28	x1 no servicio	267	267
\$D\$29	x2 no servicio	480	480
\$D\$30	x3 no servicio	453	453
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	0	0
\$D\$33	y31 no servicio	205	205
\$D\$34	y12 no servicio	120	120
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	176	176
\$D\$37	y13 no servicio	20	20
\$D\$38	y23 no servicio	24	24
\$D\$39	y33 no servicio	235	235
\$D\$40	w11 no servicio	200	200
\$D\$41	w21 no servicio	240	240
\$D\$42	w31 no servicio	295	295
\$D\$43	w12 no servicio	80	80
\$D\$44	w22 no servicio	240	240
\$D\$45	w32 no servicio	324	324
\$D\$46	w13 no servicio	180	180
\$D\$47	w23 no servicio	216	216
\$D\$48	w33 no servicio	265	265
\$D\$49	z11 no servicio	0	0
\$D\$50	z21 no servicio	0	0
\$D\$51	z31 no servicio	0	0
\$D\$52	z12 no servicio	0	0
\$D\$53	z22 no servicio	24	24
\$D\$54	z32 no servicio	0	0
\$D\$55	z13 no servicio	0	0
\$D\$56	z23 no servicio	0	0
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$64	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$64<=\$D\$64	Obligatorio	0
\$B\$65	Pieza tipo 3	200	\$B\$65>=\$D\$65	Obligatorio	0
\$B\$66	Pieza tipo 3	240	\$B\$66>=\$D\$66	Obligatorio	0
\$B\$67	Pieza tipo 3	500	\$B\$67>=\$D\$67	Obligatorio	0
\$B\$68	Pieza tipo 3	200	\$B\$68>=\$D\$68	Obligatorio	0
\$B\$69	Pieza tipo 3	264	\$B\$69>=\$D\$69	Opcional	24
\$B\$70	Pieza tipo 3	500	\$B\$70>=\$D\$70	Obligatorio	0
\$B\$71	Pieza tipo 3	200	\$B\$71>=\$D\$71	Obligatorio	0
\$B\$72	Pieza tipo 3	240	\$B\$72>=\$D\$72	Obligatorio	0
\$B\$73	Pieza tipo 3	500	\$B\$73>=\$D\$73	Obligatorio	0
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	\$B\$74=\$D\$74	Opcional	0
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	\$B\$75=\$D\$75	Opcional	0
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	\$B\$76=\$D\$76	Opcional	0
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	\$B\$77=\$D\$77	Opcional	0
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	\$B\$78=\$D\$78	Opcional	0
\$B\$79	Pieza tipo 3	0	\$B\$79=\$D\$79	Opcional	0
\$B\$80	Pieza tipo 3	0	\$B\$80=\$D\$80	Opcional	0
\$B\$81	Pieza tipo 3	0	\$B\$81=\$D\$81	Opcional	0
\$B\$82	Pieza tipo 3	0	\$B\$82=\$D\$82	Opcional	0
\$B\$83	Pieza tipo 3	200	\$B\$83<=\$D\$83	Obligatorio	0
\$B\$84	Pieza tipo 3	240	\$B\$84<=\$D\$84	Obligatorio	0
\$B\$85	Pieza tipo 3	295	\$B\$85<=\$D\$85	Opcional	205,3333343
\$B\$86	Pieza tipo 3	80	\$B\$86<=\$D\$86	Opcional	120
\$B\$87	Pieza tipo 3	240	\$B\$87<=\$D\$87	Obligatorio	0
\$B\$88	Pieza tipo 3	324	\$B\$88<=\$D\$88	Opcional	175,8666667
\$B\$89	Pieza tipo 3	180	\$B\$89<=\$D\$89	Opcional	20
\$B\$90	Pieza tipo 3	216	\$B\$90<=\$D\$90	Opcional	24
\$B\$91	Pieza tipo 3	0	\$B\$91<=\$D\$91	Opcional	500
\$B\$92	x1 Pieza tipo 3	267	\$B\$92>=\$D\$92	Opcional	267
\$B\$93	x2 Pieza tipo 3	480	\$B\$93>=\$D\$93	Opcional	480
\$B\$94	x3 Pieza tipo 3	453	\$B\$94>=\$D\$94	Opcional	453
\$B\$95	y11 Pieza tipo 3	0	\$B\$95>=\$D\$95	Obligatorio	0
\$B\$96	y21 Pieza tipo 3	0	\$B\$96>=\$D\$96	Obligatorio	0
\$B\$97	y31 Pieza tipo 3	205	\$B\$97>=\$D\$97	Opcional	205
\$B\$98	y12 Pieza tipo 3	120	\$B\$98>=\$D\$98	Opcional	120
\$B\$99	y22 Pieza tipo 3	0	\$B\$99>=\$D\$99	Obligatorio	0
\$B\$100	y32 Pieza tipo 3	176	\$B\$100>=\$D\$100	Opcional	176
\$B\$101	y13 Pieza tipo 3	20	\$B\$101>=\$D\$101	Opcional	20
\$B\$102	y23 Pieza tipo 3	24	\$B\$102>=\$D\$102	Opcional	24
\$B\$103	y33 Pieza tipo 3	235	\$B\$103>=\$D\$103	Opcional	235
\$B\$104	w11 Pieza tipo 3	200	\$B\$104>=\$D\$104	Opcional	200

\$B\$105	z11 Pieza tipo 3	0	\$B\$105>=\$D\$105	Obligatorio	0
\$B\$106	w21 Pieza tipo 3	240	\$B\$106>=\$D\$106	Opcional	240
\$B\$107	z21 Pieza tipo 3	0	\$B\$107>=\$D\$107	Obligatorio	0
\$B\$108	w31 Pieza tipo 3	295	\$B\$108>=\$D\$108	Opcional	295
\$B\$109	z31 Pieza tipo 3	0	\$B\$109>=\$D\$109	Obligatorio	0
\$B\$110	w12 Pieza tipo 3	80	\$B\$110>=\$D\$110	Opcional	80
\$B\$111	z12 Pieza tipo 3	0	\$B\$111>=\$D\$111	Obligatorio	0
\$B\$112	w22 Pieza tipo 3	240	\$B\$112>=\$D\$112	Opcional	240
\$B\$113	z22 Pieza tipo 3	24	\$B\$113>=\$D\$113	Opcional	24
\$B\$114	w32 Pieza tipo 3	324	\$B\$114>=\$D\$114	Opcional	324
\$B\$115	z32 Pieza tipo 3	0	\$B\$115>=\$D\$115	Obligatorio	0
\$B\$116	w13 Pieza tipo 3	180	\$B\$116>=\$D\$116	Opcional	180
\$B\$117	z13 Pieza tipo 3	0	\$B\$117>=\$D\$117	Obligatorio	0
\$B\$118	w23 Pieza tipo 3	216	\$B\$118>=\$D\$118	Opcional	216
\$B\$119	z23 Pieza tipo 3	0	\$B\$119>=\$D\$119	Obligatorio	0
\$B\$120	w33 Pieza tipo 3	265	\$B\$120>=\$D\$120	Opcional	265
\$B\$121	z33 Pieza tipo 3	0	\$B\$121>=\$D\$121	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Estoc completo

Informe creado: 05/03/2011 11:29:30

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$28	x1 no servicio	267	0
\$D\$29	x2 no servicio	480	0
\$D\$30	x3 no servicio	453	0
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	0	0
\$D\$33	y31 no servicio	205	0
\$D\$34	y12 no servicio	120	0
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	176	0
\$D\$37	y13 no servicio	20	0
\$D\$38	y23 no servicio	24	0
\$D\$39	y33 no servicio	235	0
\$D\$40	w11 no servicio	200	0
\$D\$41	w21 no servicio	240	0
\$D\$42	w31 no servicio	295	0
\$D\$43	w12 no servicio	80	0
\$D\$44	w22 no servicio	240	0

\$D\$45	w32 no servicio	324	0
\$D\$46	w13 no servicio	180	0
\$D\$47	w23 no servicio	216	0
\$D\$48	w33 no servicio	265	0
\$D\$49	z11 no servicio	0	0
\$D\$50	z21 no servicio	0	0
\$D\$51	z31 no servicio	0	0
\$D\$52	z12 no servicio	0	0
\$D\$53	z22 no servicio	24	0
\$D\$54	z32 no servicio	0	0
\$D\$55	z13 no servicio	0	0
\$D\$56	z23 no servicio	0	0
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$64	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-31
\$B\$65	Pieza tipo 3	200	26
\$B\$66	Pieza tipo 3	240	42
\$B\$67	Pieza tipo 3	500	28
\$B\$68	Pieza tipo 3	200	30
\$B\$69	Pieza tipo 3	264	0
\$B\$70	Pieza tipo 3	500	4
\$B\$71	Pieza tipo 3	200	90
\$B\$72	Pieza tipo 3	240	63
\$B\$73	Pieza tipo 3	500	8
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	6
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	-75
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	-25
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	-20
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	2
\$B\$79	Pieza tipo 3	0	-4
\$B\$80	Pieza tipo 3	0	-60
\$B\$81	Pieza tipo 3	0	-45
\$B\$82	Pieza tipo 3	0	-7
\$B\$83	Pieza tipo 3	200	-126
\$B\$84	Pieza tipo 3	240	0
\$B\$85	Pieza tipo 3	295	0
\$B\$86	Pieza tipo 3	80	0
\$B\$87	Pieza tipo 3	240	-32
\$B\$88	Pieza tipo 3	324	0
\$B\$89	Pieza tipo 3	180	0
\$B\$90	Pieza tipo 3	216	0

\$B\$91	Pieza tipo 3	0	0
\$B\$92	x1 Pieza tipo 3	267	0
\$B\$93	x2 Pieza tipo 3	480	0
\$B\$94	x3 Pieza tipo 3	453	0
\$B\$95	y11 Pieza tipo 3	0	154
\$B\$96	y21 Pieza tipo 3	0	63
\$B\$97	y31 Pieza tipo 3	205	0
\$B\$98	y12 Pieza tipo 3	120	0
\$B\$99	y22 Pieza tipo 3	0	42
\$B\$100	y32 Pieza tipo 3	176	0
\$B\$101	y13 Pieza tipo 3	20	0
\$B\$102	y23 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$103	y33 Pieza tipo 3	235	0
\$B\$104	w11 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$105	z11 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$106	w21 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$107	z21 Pieza tipo 3	0	80
\$B\$108	w31 Pieza tipo 3	295	0
\$B\$109	z31 Pieza tipo 3	0	32
\$B\$110	w12 Pieza tipo 3	80	0
\$B\$111	z12 Pieza tipo 3	0	21
\$B\$112	w22 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$113	z22 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$114	w32 Pieza tipo 3	324	0
\$B\$115	z32 Pieza tipo 3	0	5
\$B\$116	w13 Pieza tipo 3	180	0
\$B\$117	z13 Pieza tipo 3	0	63
\$B\$118	w23 Pieza tipo 3	216	0
\$B\$119	z23 Pieza tipo 3	0	48
\$B\$120	w33 Pieza tipo 3	265	0
\$B\$121	z33 Pieza tipo 3	0	9

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 9

Informe creado: 05/03/2011 11:29:30

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$126	minimizar Pieza tipo 3	4296

Celdas cambiantes		Límite	Celda	Límite	Celda
-------------------	--	--------	-------	--------	-------

Celda	Nombre	Igual	inferior objetivo		superior objetivo	
\$D\$28	x1 no servicio	267	267	4296	267	4296
\$D\$29	x2 no servicio	480	480	4296	480	4296
\$D\$30	x3 no servicio	453	453	4296	453	4296
\$D\$31	y11 no servicio	0	0	4296	#N/A	#N/A
\$D\$32	y21 no servicio	0	0	4296	#N/A	#N/A
\$D\$33	y31 no servicio	205	205	4296	#N/A	#N/A
\$D\$34	y12 no servicio	120	120	4296	#N/A	#N/A
\$D\$35	y22 no servicio	0	0	4296	#N/A	#N/A
\$D\$36	y32 no servicio	176	176	4296	#N/A	#N/A
\$D\$37	y13 no servicio	20	20	4296	#N/A	#N/A
\$D\$38	y23 no servicio	24	24	4296	#N/A	#N/A
\$D\$39	y33 no servicio	235	235	4296	#N/A	#N/A
\$D\$40	w11 no servicio	200	200	4296	200	4296
\$D\$41	w21 no servicio	240	240	4296	240	4296
\$D\$42	w31 no servicio	295	295	4296	295	4296
\$D\$43	w12 no servicio	80	80	4296	80	4296
\$D\$44	w22 no servicio	240	240	4296	240	4296
\$D\$45	w32 no servicio	324	324	4296	324	4296
\$D\$46	w13 no servicio	180	180	4296	180	4296
\$D\$47	w23 no servicio	216	216	4296	216	4296
\$D\$48	w33 no servicio	265	265	4296	265	4296
\$D\$49	z11 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$50	z21 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$51	z31 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$52	z12 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$53	z22 no servicio	24	24	4296	24	4296
\$D\$54	z32 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$55	z13 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$56	z23 no servicio	0	0	4296	0	4296
\$D\$57	z33 no servicio	0	0	4296	0	4296

Estocástico: Modificación de un rendimiento

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8									
9	ESTOCÁSTICO								
10									
11	Coladas disponibles								
12									
13									
14									
15	Piezas tipo 1								
16									
17									
18									
19									
20	Piezas tipo 2								
21									
22									
23									
24	Piezas tipo 3								
25									
26									
27	Variables								
28	Coladas molde								
29	Coladas molde								
30	Coladas molde								
31	piezas no vendidas								
32	piezas no vendidas								
33	piezas no vendidas								
34	piezas no vendidas								
35	piezas no vendidas								
36	piezas no vendidas								
37	piezas no vendidas								
38	piezas no vendidas								
39	piezas no vendidas								
40	piezas vendidas								
41	piezas almacenadas								
42									
43									
44									
45									
46	piezas vendidas								
47	piezas almacenadas								
48									
49									
50									
51									
52	piezas vendidas								
53	piezas almacenadas								
54									
55									
56									
57									

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Coladas disponibles								
2									
3									
4									
5	Piezas tipo 1								
6									
7									
8									
9	Piezas tipo 2								
10									
11									
12									
13	Piezas tipo 3								
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27	Variables								
28	Coladas molde								
29	Coladas molde								
30	Coladas molde								
31	piezas no vendidas								
32	piezas no vendidas								
33	piezas no vendidas								
34	piezas no vendidas								
35	piezas no vendidas								
36	piezas no vendidas								
37	piezas no vendidas								
38	piezas no vendidas								
39	piezas no vendidas								
40	piezas vendidas								
41	piezas almacenadas								
42									
43									
44									
45									
46	piezas vendidas								
47	piezas almacenadas								
48									
49									
50									
51									
52	piezas vendidas								
53	piezas almacenadas								
54									
55									
56									
57									

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Coladas disponibles								
2									
3									
4									
5	Piezas tipo 1								
6									
7									
8									
9	Piezas tipo 2								
10									
11									
12									
13	Piezas tipo 3								
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27	Variables								
28	Coladas molde								
29	Coladas molde								
30	Coladas molde								
31	piezas no vendidas								
32	piezas no vendidas								
33	piezas no vendidas								
34	piezas no vendidas								
35	piezas no vendidas								
36	piezas no vendidas								
37	piezas no vendidas								
38	piezas no vendidas								
39	piezas no vendidas								
40	piezas vendidas								
41	piezas almacenadas								
42									
43									
44									
45									
46	piezas vendidas								
47	piezas almacenadas								
48									
49									
50									
51									
52	piezas vendidas								
53	piezas almacenadas								
54									
55									
56									
57									

A	B	C	D	E	F	G	H	I
63	Restricciones							
64	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
65	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
66	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
67	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
68	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
69	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
70	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
71	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
72	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
73	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
74	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
75	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
76	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
77	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
78	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
79	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
80	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
81	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
82	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
83	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
84	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
85	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
86	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
87	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
88	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
89	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
90	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
91	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
92	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
93	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
94	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
95	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
96	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
97	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
98	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
99	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
100	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
101	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
102	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
103	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
104	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
105	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
106	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
107	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
108	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
109	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
110	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
111	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
112	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
113	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
114	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
115	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
116	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
117	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
118	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
119	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
120	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							
121	$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 100$							

	B	C	C	C	E	F	G	H	I	J
124	Función objetivo									
125	Minimizar									
126	$Z = 23P13 + 44P26$	Beneficio								
127										
128	Carboe - 1 g/nevero									
129	Costes fijos (en piezas) - 70 de 1									
130	Costes (inactivación piezas) - 70 de 2									
131	Costes (inactivación piezas) - 70 de 3									
132	Producción: 55 unidades									
133	Revalorización de piezas: 70 unidades									
134	Piezas a mantener: 400 unidades									
135	Revalorización: 400 unidades									
136	Producción: 400 unidades									
137	Producción: 400 unidades									
138	Piezas a mantener: 400 unidades									
139	Revalorización: 400 unidades									
140	Producción: 400 unidades									
141	Piezas a mantener: 400 unidades									
142	Piezas a mantener: 400 unidades									
143	Revalorización: 400 unidades									
144	Producción: 400 unidades									
145	Piezas a mantener: 400 unidades									
146	Piezas a mantener: 400 unidades									
147	Revalorización: 400 unidades									
148	Producción: 400 unidades									
149	Piezas a mantener: 400 unidades									
150	Piezas a mantener: 400 unidades									
151	Revalorización: 400 unidades									
152	Producción: 400 unidades									
153	Piezas a mantener: 400 unidades									
154	Piezas a mantener: 400 unidades									
155	Revalorización: 400 unidades									
156	Producción: 400 unidades									
157	Piezas a mantener: 400 unidades									
158	Piezas a mantener: 400 unidades									
159	Revalorización: 400 unidades									
160	Producción: 400 unidades									
161	Piezas a mantener: 400 unidades									
162	Piezas a mantener: 400 unidades									
163	Revalorización: 400 unidades									
164	Producción: 400 unidades									
165	Piezas a mantener: 400 unidades									
166	Piezas a mantener: 400 unidades									
167	Revalorización: 400 unidades									
168	Producción: 400 unidades									

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo:[PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Estoc completo 2

Informe creado: 05/03/2011 11:40:04

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$122	minimizar Pieza tipo 3	-528	-528

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$28	x1 no servicio	266,6666667	266,6666667
\$D\$29	x2 no servicio	480	480
\$D\$30	x3 no servicio	453,3333333	453,3333333
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	1,77636E-15	1,77636E-15
\$D\$33	y31 no servicio	114,6666667	114,6666667
\$D\$34	y12 no servicio	120	120
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	175,8666667	175,8666667
\$D\$37	y13 no servicio	20	20
\$D\$38	y23 no servicio	24	24
\$D\$39	y33 no servicio	234,8	234,8
\$D\$40	w11 no servicio	200	200
\$D\$41	z11 no servicio	2,4869E-14	2,4869E-14
\$D\$42	w21 no servicio	240	240
\$D\$43	z21 no servicio	0	0
\$D\$44	w31 no servicio	385,3333343	385,3333343
\$D\$45	z31 no servicio	0	0
\$D\$46	w12 no servicio	80	80
\$D\$47	z12 no servicio	0	0
\$D\$48	w22 no servicio	240	240
\$D\$49	z22 no servicio	24	24
\$D\$50	w32 no servicio	324,1333333	324,1333333
\$D\$51	z32 no servicio	0	0
\$D\$52	w13 no servicio	180	180
\$D\$53	z13 no servicio	0	0
\$D\$54	w23 no servicio	216	216
\$D\$55	z23 no servicio	0	0
\$D\$56	w33 no servicio	265,2	265,2
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$60	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$60<=\$D\$60	Obligatorio	0
\$B\$61	Pieza tipo 3	200	\$B\$61>=\$D\$61	Obligatorio	0
\$B\$62	Pieza tipo 3	240	\$B\$62>=\$D\$62	Obligatorio	0
\$B\$63	Pieza tipo 3	500	\$B\$63>=\$D\$63	Obligatorio	0
\$B\$64	Pieza tipo 3	200	\$B\$64>=\$D\$64	Obligatorio	0
\$B\$65	Pieza tipo 3	264	\$B\$65>=\$D\$65	Opcional	24
\$B\$66	Pieza tipo 3	500	\$B\$66>=\$D\$66	Obligatorio	0
\$B\$67	Pieza tipo 3	200	\$B\$67>=\$D\$67	Obligatorio	0
\$B\$68	Pieza tipo 3	240	\$B\$68>=\$D\$68	Obligatorio	0
\$B\$69	Pieza tipo 3	500	\$B\$69>=\$D\$69	Obligatorio	0
\$B\$70	Pieza tipo 3	0	\$B\$70=\$D\$70	Opcional	0
\$B\$71	Pieza tipo 3	0	\$B\$71=\$D\$71	Opcional	0
\$B\$72	Pieza tipo 3	0	\$B\$72=\$D\$72	Opcional	0
\$B\$73	Pieza tipo 3	0	\$B\$73=\$D\$73	Opcional	0
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	\$B\$74=\$D\$74	Opcional	0
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	\$B\$75=\$D\$75	Opcional	0
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	\$B\$76=\$D\$76	Opcional	0
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	\$B\$77=\$D\$77	Opcional	0
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	\$B\$78=\$D\$78	Opcional	0
\$B\$79	Pieza tipo 3	200	\$B\$79<=\$D\$79	Obligatorio	0
\$B\$80	Pieza tipo 3	240	\$B\$80<=\$D\$80	Obligatorio	0
\$B\$81	Pieza tipo 3	385	\$B\$81<=\$D\$81	Opcional	114,6666657
\$B\$82	Pieza tipo 3	80	\$B\$82<=\$D\$82	Opcional	120
\$B\$83	Pieza tipo 3	240	\$B\$83<=\$D\$83	Obligatorio	0
\$B\$84	Pieza tipo 3	324	\$B\$84<=\$D\$84	Opcional	175,8666667
\$B\$85	Pieza tipo 3	180	\$B\$85<=\$D\$85	Opcional	20
\$B\$86	Pieza tipo 3	216	\$B\$86<=\$D\$86	Opcional	24
\$B\$87	Pieza tipo 3	0	\$B\$87<=\$D\$87	Opcional	500
\$B\$88	x1 Pieza tipo 3	267	\$B\$88>=\$D\$88	Opcional	267
\$B\$89	x2 Pieza tipo 3	480	\$B\$89>=\$D\$89	Opcional	480
\$B\$90	x3 Pieza tipo 3	453	\$B\$90>=\$D\$90	Opcional	453
\$B\$91	y11 Pieza tipo 3	0	\$B\$91>=\$D\$91	Obligatorio	0
\$B\$92	y21 Pieza tipo 3	0	\$B\$92>=\$D\$92	Obligatorio	0
\$B\$93	y31 Pieza tipo 3	115	\$B\$93>=\$D\$93	Opcional	115
\$B\$94	y12 Pieza tipo 3	120	\$B\$94>=\$D\$94	Opcional	120
\$B\$95	y22 Pieza tipo 3	0	\$B\$95>=\$D\$95	Obligatorio	0
\$B\$96	y32 Pieza tipo 3	176	\$B\$96>=\$D\$96	Opcional	176
\$B\$97	y13 Pieza tipo 3	20	\$B\$97>=\$D\$97	Opcional	20
\$B\$98	y23 Pieza tipo 3	24	\$B\$98>=\$D\$98	Opcional	24
\$B\$99	y33 Pieza tipo 3	235	\$B\$99>=\$D\$99	Opcional	235
\$B\$100	w11 Pieza tipo 3	200	\$B\$100>=\$D\$100	Opcional	200

\$B\$101	z11 Pieza tipo 3	0	\$B\$101>=\$D\$101	Obligatorio	0
\$B\$102	w21 Pieza tipo 3	240	\$B\$102>=\$D\$102	Opcional	240
\$B\$103	z21 Pieza tipo 3	0	\$B\$103>=\$D\$103	Obligatorio	0
\$B\$104	w31 Pieza tipo 3	385	\$B\$104>=\$D\$104	Opcional	385
\$B\$105	z31 Pieza tipo 3	0	\$B\$105>=\$D\$105	Obligatorio	0
\$B\$106	w12 Pieza tipo 3	80	\$B\$106>=\$D\$106	Opcional	80
\$B\$107	z12 Pieza tipo 3	0	\$B\$107>=\$D\$107	Obligatorio	0
\$B\$108	w22 Pieza tipo 3	240	\$B\$108>=\$D\$108	Opcional	240
\$B\$109	z22 Pieza tipo 3	24	\$B\$109>=\$D\$109	Opcional	24
\$B\$110	w32 Pieza tipo 3	324	\$B\$110>=\$D\$110	Opcional	324
\$B\$111	z32 Pieza tipo 3	0	\$B\$111>=\$D\$111	Obligatorio	0
\$B\$112	w13 Pieza tipo 3	180	\$B\$112>=\$D\$112	Opcional	180
\$B\$113	z13 Pieza tipo 3	0	\$B\$113>=\$D\$113	Obligatorio	0
\$B\$114	w23 Pieza tipo 3	216	\$B\$114>=\$D\$114	Opcional	216
\$B\$115	z23 Pieza tipo 3	0	\$B\$115>=\$D\$115	Obligatorio	0
\$B\$116	w33 Pieza tipo 3	265	\$B\$116>=\$D\$116	Opcional	265
\$B\$117	z33 Pieza tipo 3	0	\$B\$117>=\$D\$117	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Estoc completo 2

Informe creado: 05/03/2011 11:40:05

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$28	x1 no servicio	266,6666667	0
\$D\$29	x2 no servicio	480	0
\$D\$30	x3 no servicio	453,3333333	0
\$D\$31	y11 no servicio	0	0
\$D\$32	y21 no servicio	1,77636E-15	0
\$D\$33	y31 no servicio	114,6666667	0
\$D\$34	y12 no servicio	120	0
\$D\$35	y22 no servicio	0	0
\$D\$36	y32 no servicio	175,8666667	0
\$D\$37	y13 no servicio	20	0
\$D\$38	y23 no servicio	24	0
\$D\$39	y33 no servicio	234,8	0
\$D\$40	w11 no servicio	200	0
\$D\$41	z11 no servicio	2,4869E-14	0
\$D\$42	w21 no servicio	240	0
\$D\$43	z21 no servicio	0	0
\$D\$44	w31 no servicio	385,3333343	0

\$D\$45	z31 no servicio	0	0
\$D\$46	w12 no servicio	80	0
\$D\$47	z12 no servicio	0	0
\$D\$48	w22 no servicio	240	0
\$D\$49	z22 no servicio	24	0
\$D\$50	w32 no servicio	324,1333333	0
\$D\$51	z32 no servicio	0	0
\$D\$52	w13 no servicio	180	0
\$D\$53	z13 no servicio	0	0
\$D\$54	w23 no servicio	216	0
\$D\$55	z23 no servicio	0	0
\$D\$56	w33 no servicio	265,2	0
\$D\$57	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$60	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-42
\$B\$61	Pieza tipo 3	200	40
\$B\$62	Pieza tipo 3	240	63
\$B\$63	Pieza tipo 3	500	28
\$B\$64	Pieza tipo 3	200	30
\$B\$65	Pieza tipo 3	264	0
\$B\$66	Pieza tipo 3	500	4
\$B\$67	Pieza tipo 3	200	90
\$B\$68	Pieza tipo 3	240	63
\$B\$69	Pieza tipo 3	500	8
\$B\$70	Pieza tipo 3	0	6
\$B\$71	Pieza tipo 3	0	-75
\$B\$72	Pieza tipo 3	0	-25
\$B\$73	Pieza tipo 3	0	-20
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	2
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	-4
\$B\$76	Pieza tipo 3	0	-60
\$B\$77	Pieza tipo 3	0	-45
\$B\$78	Pieza tipo 3	0	-7
\$B\$79	Pieza tipo 3	200	-126
\$B\$80	Pieza tipo 3	240	0
\$B\$81	Pieza tipo 3	385	0
\$B\$82	Pieza tipo 3	80	0
\$B\$83	Pieza tipo 3	240	-32
\$B\$84	Pieza tipo 3	324	0
\$B\$85	Pieza tipo 3	180	0
\$B\$86	Pieza tipo 3	216	0

\$B\$87	Pieza tipo 3	0	0
\$B\$88	x1 Pieza tipo 3	267	0
\$B\$89	x2 Pieza tipo 3	480	0
\$B\$90	x3 Pieza tipo 3	453	0
\$B\$91	y11 Pieza tipo 3	0	140
\$B\$92	y21 Pieza tipo 3	0	42
\$B\$93	y31 Pieza tipo 3	115	0
\$B\$94	y12 Pieza tipo 3	120	0
\$B\$95	y22 Pieza tipo 3	0	42
\$B\$96	y32 Pieza tipo 3	176	0
\$B\$97	y13 Pieza tipo 3	20	0
\$B\$98	y23 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$99	y33 Pieza tipo 3	235	0
\$B\$100	w11 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$101	z11 Pieza tipo 3	0	0
\$B\$102	w21 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$103	z21 Pieza tipo 3	0	80
\$B\$104	w31 Pieza tipo 3	385	0
\$B\$105	z31 Pieza tipo 3	0	32
\$B\$106	w12 Pieza tipo 3	80	0
\$B\$107	z12 Pieza tipo 3	0	21
\$B\$108	w22 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$109	z22 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$110	w32 Pieza tipo 3	324	0
\$B\$111	z32 Pieza tipo 3	0	5
\$B\$112	w13 Pieza tipo 3	180	0
\$B\$113	z13 Pieza tipo 3	0	63
\$B\$114	w23 Pieza tipo 3	216	0
\$B\$115	z23 Pieza tipo 3	0	48
\$B\$116	w33 Pieza tipo 3	265	0
\$B\$117	z33 Pieza tipo 3	0	9

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [PlanproduccMARZOFORMULAS.xlsx]Informe de límites 10

Informe creado: 05/03/2011 11:40:05

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$122	minimizar Pieza tipo 3	-528

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$28	x1 no servicio	266,6666667	266,6666667	-527,5200252	266,6666667	-527,5200252
\$D\$29	x2 no servicio	480	480	-527,5200252	480	-527,5200252
\$D\$30	x3 no servicio	453,3333333	453,3333333	-527,5200252	453,3333333	-527,5200252
\$D\$31	y11 no servicio	0	0	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$32	y21 no servicio	1,77636E-15	1,77636E-15	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$33	y31 no servicio	114,6666667	114,6666667	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$34	y12 no servicio	120	120	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$35	y22 no servicio	0	0	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$36	y32 no servicio	175,8666667	175,8666667	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$37	y13 no servicio	20	20	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$38	y23 no servicio	24	24	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$39	y33 no servicio	234,8	234,8	-527,5200252	#N/A	#N/A
\$D\$40	w11 no servicio	200	200	-527,5200252	200	-527,5200252
\$D\$41	z11 no servicio	2,4869E-14	2,4869E-14	-527,5200252	2,4869E-14	-527,5200252
\$D\$42	w21 no servicio	240	240	-527,5200252	240	-527,5200252
\$D\$43	z21 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$44	w31 no servicio	385,3333343	385,3333343	-527,5200252	385,3333343	-527,5200252
\$D\$45	z31 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$46	w12 no servicio	80	80	-527,5200252	80	-527,5200252
\$D\$47	z12 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$48	w22 no servicio	240	240	-527,5200252	240	-527,5200252
\$D\$49	z22 no servicio	24	24	-527,5200252	24	-527,5200252
\$D\$50	w32 no servicio	324,1333333	324,1333333	-527,5200252	324,1333333	-527,5200252
\$D\$51	z32 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$52	w13 no servicio	180	180	-527,5200252	180	-527,5200252
\$D\$53	z13 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$54	w23 no servicio	216	216	-527,5200252	216	-527,5200252
\$D\$55	z23 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252
\$D\$56	w33 no servicio	265,2	265,2	-527,5200252	265,2	-527,5200252
\$D\$57	z33 no servicio	0	0	-527,5200252	0	-527,5200252

MONTECARLO Planificación sin series históricas

A	B	C	D	E	F	G	H	I
4	Simulación							
5	Variable de Montecarlo							
6								
7								
8	ESTOCÁSTICO							
9								
10								
11	Co.ces disponibles	1200						
12								
13								
14								
15								
16	Piezas tipo 1	200						
17								
18								
19	Piezas tipo 2	240						
20								
21								
22								
23	Piezas tipo 3	400						
24								
25								
26	Variables							
27	Co.ces molde							
28	Co.ces molde							
29	Co.ces molde							
30	Co.ces molde							
31	Co.ces molde							
32	Co.ces molde							
33	Co.ces molde							
34	Co.ces molde							
35	Co.ces molde							
36	Co.ces molde							
37	Co.ces molde							
38	Co.ces molde							
39	Co.ces molde							
40	Co.ces molde							
41	Co.ces molde							
42	Co.ces molde							
43	Co.ces molde							
44	Co.ces molde							
45	Co.ces molde							
46	Co.ces molde							
47	Co.ces molde							
48	Co.ces molde							
49	Co.ces molde							
50	Co.ces molde							
51	Co.ces molde							
52	Co.ces molde							
53	Co.ces molde							
54	Co.ces molde							
55	Co.ces molde							
56	Co.ces molde							
57	Co.ces molde							
58	Co.ces molde							
59	Co.ces molde							
60	Co.ces molde							
61	Co.ces molde							
62	Co.ces molde							
63	Co.ces molde							
64	Co.ces molde							
65	Co.ces molde							
66	Co.ces molde							
67	Co.ces molde							
68	Co.ces molde							
69	Co.ces molde							
70	Co.ces molde							
71	Co.ces molde							
72	Co.ces molde							
73	Co.ces molde							
74	Co.ces molde							
75	Co.ces molde							
76	Co.ces molde							
77	Co.ces molde							
78	Co.ces molde							
79	Co.ces molde							
80	Co.ces molde							
81	Co.ces molde							
82	Co.ces molde							
83	Co.ces molde							
84	Co.ces molde							
85	Co.ces molde							
86	Co.ces molde							
87	Co.ces molde							
88	Co.ces molde							
89	Co.ces molde							
90	Co.ces molde							
91	Co.ces molde							
92	Co.ces molde							
93	Co.ces molde							
94	Co.ces molde							
95	Co.ces molde							
96	Co.ces molde							
97	Co.ces molde							
98	Co.ces molde							
99	Co.ces molde							
100	Co.ces molde							

Microsoft Excel 12.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Montecarlo.xlsx]Montecarlo
Informe creado: 06/03/2011 11:01:03

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$119	minimizar Pieza tipo 3	9345	9345

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$21	x1 no servicio	400	400
\$D\$22	x2 no servicio	480	480
\$D\$23	x3 no servicio	320	320
\$D\$24	y11 no servicio	0	0
\$D\$25	y21 no servicio	0	0
\$D\$26	y31 no servicio	228	228
\$D\$27	y12 no servicio	0	0
\$D\$28	y22 no servicio	0	0
\$D\$29	y32 no servicio	271	271
\$D\$30	y13 no servicio	0	0
\$D\$31	y23 no servicio	24	24
\$D\$32	y33 no servicio	313	313
\$D\$33	w11 no servicio	200	200
\$D\$34	w21 no servicio	240	240
\$D\$35	w31 no servicio	272	272
\$D\$36	w12 no servicio	200	200
\$D\$37	w22 no servicio	240	240
\$D\$38	w32 no servicio	229	229
\$D\$39	w13 no servicio	200	200
\$D\$40	w23 no servicio	216	216
\$D\$41	w33 no servicio	187	187
\$D\$42	z11 no servicio	0	0
\$D\$43	z21 no servicio	0	0
\$D\$44	z31 no servicio	0	0
\$D\$45	z12 no servicio	0	0
\$D\$46	z22 no servicio	24	24
\$D\$47	z32 no servicio	0	0
\$D\$48	z13 no servicio	0	0
\$D\$49	z23 no servicio	0	0
\$D\$50	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$B\$57	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	\$B\$57<=\$D\$57	Obligatorio	0
\$B\$58	Pieza tipo 3	200	\$B\$58>=\$D\$58	Obligatorio	0
\$B\$59	Pieza tipo 3	240	\$B\$59>=\$D\$59	Obligatorio	0
\$B\$60	Pieza tipo 3	500	\$B\$60>=\$D\$60	Obligatorio	0
\$B\$61	Pieza tipo 3	200	\$B\$61>=\$D\$61	Obligatorio	0
\$B\$62	Pieza tipo 3	264	\$B\$62>=\$D\$62	Opcional	24
\$B\$63	Pieza tipo 3	500	\$B\$63>=\$D\$63	Obligatorio	0
\$B\$64	Pieza tipo 3	200	\$B\$64>=\$D\$64	Obligatorio	0
\$B\$65	Pieza tipo 3	240	\$B\$65>=\$D\$65	Obligatorio	0
\$B\$66	Pieza tipo 3	500	\$B\$66>=\$D\$66	Obligatorio	0
\$B\$67	Pieza tipo 3	0	\$B\$67=\$D\$67	Opcional	0
\$B\$68	Pieza tipo 3	0	\$B\$68=\$D\$68	Opcional	0
\$B\$69	Pieza tipo 3	0	\$B\$69=\$D\$69	Opcional	0
\$B\$70	Pieza tipo 3	0	\$B\$70=\$D\$70	Opcional	0
\$B\$71	Pieza tipo 3	0	\$B\$71=\$D\$71	Opcional	0
\$B\$72	Pieza tipo 3	0	\$B\$72=\$D\$72	Opcional	0
\$B\$73	Pieza tipo 3	0	\$B\$73=\$D\$73	Opcional	0
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	\$B\$74=\$D\$74	Opcional	0
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	\$B\$75=\$D\$75	Opcional	0
\$B\$76	Pieza tipo 3	200	\$B\$76<=\$D\$76	Obligatorio	0
\$B\$77	Pieza tipo 3	240	\$B\$77<=\$D\$77	Obligatorio	0
\$B\$78	Pieza tipo 3	272	\$B\$78<=\$D\$78	Opcional	227,9999983
\$B\$79	Pieza tipo 3	200	\$B\$79<=\$D\$79	Obligatorio	0
\$B\$80	Pieza tipo 3	240	\$B\$80<=\$D\$80	Obligatorio	0
\$B\$81	Pieza tipo 3	229	\$B\$81<=\$D\$81	Opcional	271,1999986
\$B\$82	Pieza tipo 3	200	\$B\$82<=\$D\$82	Obligatorio	0
\$B\$83	Pieza tipo 3	216	\$B\$83<=\$D\$83	Opcional	24
\$B\$84	Pieza tipo 3	0	\$B\$84<=\$D\$84	Opcional	500
\$B\$85	x1 Pieza tipo 3	400	\$B\$85>=\$D\$85	Opcional	400
\$B\$86	x2 Pieza tipo 3	480	\$B\$86>=\$D\$86	Opcional	480
\$B\$87	x3 Pieza tipo 3	320	\$B\$87>=\$D\$87	Opcional	320
\$B\$88	y11 Pieza tipo 3	0	\$B\$88>=\$D\$88	Obligatorio	0
\$B\$89	y21 Pieza tipo 3	0	\$B\$89>=\$D\$89	Obligatorio	0
\$B\$90	y31 Pieza tipo 3	228	\$B\$90>=\$D\$90	Opcional	228
\$B\$91	y12 Pieza tipo 3	0	\$B\$91>=\$D\$91	Obligatorio	0
\$B\$92	y22 Pieza tipo 3	0	\$B\$92>=\$D\$92	Obligatorio	0
\$B\$93	y32 Pieza tipo 3	271	\$B\$93>=\$D\$93	Opcional	271
\$B\$94	y13 Pieza tipo 3	0	\$B\$94>=\$D\$94	Obligatorio	0
\$B\$95	y23 Pieza tipo 3	24	\$B\$95>=\$D\$95	Opcional	24
\$B\$96	y33 Pieza tipo 3	313	\$B\$96>=\$D\$96	Opcional	313
\$B\$97	w11 Pieza tipo 3	200	\$B\$97>=\$D\$97	Opcional	200

\$B\$98	z11 Pieza tipo 3	0	\$B\$98>=\$D\$98	Obligatorio	0
\$B\$99	w21 Pieza tipo 3	240	\$B\$99>=\$D\$99	Opcional	240
\$B\$100	z21 Pieza tipo 3	0	\$B\$100>=\$D\$100	Obligatorio	0
\$B\$101	w31 Pieza tipo 3	272	\$B\$101>=\$D\$101	Opcional	272
\$B\$102	z31 Pieza tipo 3	0	\$B\$102>=\$D\$102	Obligatorio	0
\$B\$103	w12 Pieza tipo 3	200	\$B\$103>=\$D\$103	Opcional	200
\$B\$104	z12 Pieza tipo 3	0	\$B\$104>=\$D\$104	Obligatorio	0
\$B\$105	w22 Pieza tipo 3	240	\$B\$105>=\$D\$105	Opcional	240
\$B\$106	z22 Pieza tipo 3	24	\$B\$106>=\$D\$106	Opcional	24
\$B\$107	w32 Pieza tipo 3	229	\$B\$107>=\$D\$107	Opcional	229
\$B\$108	z32 Pieza tipo 3	0	\$B\$108>=\$D\$108	Obligatorio	0
\$B\$109	w13 Pieza tipo 3	200	\$B\$109>=\$D\$109	Opcional	200
\$B\$110	z13 Pieza tipo 3	0	\$B\$110>=\$D\$110	Obligatorio	0
\$B\$111	w23 Pieza tipo 3	216	\$B\$111>=\$D\$111	Opcional	216
\$B\$112	z23 Pieza tipo 3	0	\$B\$112>=\$D\$112	Obligatorio	0
\$B\$113	w33 Pieza tipo 3	187	\$B\$113>=\$D\$113	Opcional	187
\$B\$114	z33 Pieza tipo 3	0	\$B\$114>=\$D\$114	Obligatorio	0

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad

Hoja de cálculo: [Montecarlo.xlsx]Montecarlo Resuelto

Informe creado: 06/03/2011 11:01:04

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$21	x1 no servicio	400	0
\$D\$22	x2 no servicio	480	0
\$D\$23	x3 no servicio	320	0
\$D\$24	y11 no servicio	0	0
\$D\$25	y21 no servicio	0	0
\$D\$26	y31 no servicio	228	0
\$D\$27	y12 no servicio	0	0
\$D\$28	y22 no servicio	0	0
\$D\$29	y32 no servicio	271	0
\$D\$30	y13 no servicio	0	0
\$D\$31	y23 no servicio	24	0
\$D\$32	y33 no servicio	313	0
\$D\$33	w11 no servicio	200	0
\$D\$34	w21 no servicio	240	0
\$D\$35	w31 no servicio	272	0
\$D\$36	w12 no servicio	200	0
\$D\$37	w22 no servicio	240	0
\$D\$38	w32 no servicio	229	0

\$D\$39	w13 no servicio	200	0
\$D\$40	w23 no servicio	216	0
\$D\$41	w33 no servicio	187	0
\$D\$42	z11 no servicio	0	0
\$D\$43	z21 no servicio	0	0
\$D\$44	z31 no servicio	0	0
\$D\$45	z12 no servicio	0	0
\$D\$46	z22 no servicio	24	0
\$D\$47	z32 no servicio	0	0
\$D\$48	z13 no servicio	0	0
\$D\$49	z23 no servicio	0	0
\$D\$50	z33 no servicio	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$57	x1+x2+x3 Pieza tipo 3	1200	-42
\$B\$58	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$59	Pieza tipo 3	240	0
\$B\$60	Pieza tipo 3	500	28
\$B\$61	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$62	Pieza tipo 3	264	0
\$B\$63	Pieza tipo 3	500	4
\$B\$64	Pieza tipo 3	200	83
\$B\$65	Pieza tipo 3	240	63
\$B\$66	Pieza tipo 3	500	8
\$B\$67	Pieza tipo 3	0	-67
\$B\$68	Pieza tipo 3	0	-75
\$B\$69	Pieza tipo 3	0	-25
\$B\$70	Pieza tipo 3	0	-67
\$B\$71	Pieza tipo 3	0	2
\$B\$72	Pieza tipo 3	0	-4
\$B\$73	Pieza tipo 3	0	-67
\$B\$74	Pieza tipo 3	0	-45
\$B\$75	Pieza tipo 3	0	-7
\$B\$76	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$77	Pieza tipo 3	240	0
\$B\$78	Pieza tipo 3	272	0
\$B\$79	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$80	Pieza tipo 3	240	-32
\$B\$81	Pieza tipo 3	229	0
\$B\$82	Pieza tipo 3	200	0
\$B\$83	Pieza tipo 3	216	0
\$B\$84	Pieza tipo 3	0	0

\$B\$85	x1 Pieza tipo 3	400	0
\$B\$86	x2 Pieza tipo 3	480	0
\$B\$87	x3 Pieza tipo 3	320	0
\$B\$88	y11 Pieza tipo 3	0	100
\$B\$89	y21 Pieza tipo 3	0	42
\$B\$90	y31 Pieza tipo 3	228	0
\$B\$91	y12 Pieza tipo 3	0	100
\$B\$92	y22 Pieza tipo 3	0	42
\$B\$93	y32 Pieza tipo 3	271	0
\$B\$94	y13 Pieza tipo 3	0	17
\$B\$95	y23 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$96	y33 Pieza tipo 3	313	0
\$B\$97	w11 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$98	z11 Pieza tipo 3	0	70
\$B\$99	w21 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$100	z21 Pieza tipo 3	0	80
\$B\$101	w31 Pieza tipo 3	272	0
\$B\$102	z31 Pieza tipo 3	0	32
\$B\$103	w12 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$104	z12 Pieza tipo 3	0	70
\$B\$105	w22 Pieza tipo 3	240	0
\$B\$106	z22 Pieza tipo 3	24	0
\$B\$107	w32 Pieza tipo 3	229	0
\$B\$108	z32 Pieza tipo 3	0	5
\$B\$109	w13 Pieza tipo 3	200	0
\$B\$110	z13 Pieza tipo 3	0	70
\$B\$111	w23 Pieza tipo 3	216	0
\$B\$112	z23 Pieza tipo 3	0	48
\$B\$113	w33 Pieza tipo 3	187	0
\$B\$114	z33 Pieza tipo 3	0	9

Microsoft Excel 12.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [Montecarlo.xlsx]Informe de límites 1

Informe creado: 06/03/2011 11:01:04

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$B\$119	minimizar Pieza tipo 3	9345

Celdas cambiantes			Límite inferior	Celda objetivo	Límite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$21	x1 no servicio	400	400	9345	400	9345

\$D\$22	x2 no servicio	480	480	9345	480	9345
\$D\$23	x3 no servicio	320	320	9345	320	9345
\$D\$24	y11 no servicio	0	0	9345	#N/A	#N/A
\$D\$25	y21 no servicio	0	0	9345	#N/A	#N/A
\$D\$26	y31 no servicio	228	228	9345	#N/A	#N/A
\$D\$27	y12 no servicio	0	0	9345	#N/A	#N/A
\$D\$28	y22 no servicio	0	0	9345	#N/A	#N/A
\$D\$29	y32 no servicio	271	271	9345	#N/A	#N/A
\$D\$30	y13 no servicio	0	0	9345	#N/A	#N/A
\$D\$31	y23 no servicio	24	24	9345	#N/A	#N/A
\$D\$32	y33 no servicio	313	313	9345	#N/A	#N/A
\$D\$33	w11 no servicio	200	200	9345	200	9345
\$D\$34	w21 no servicio	240	240	9345	240	9345
\$D\$35	w31 no servicio	272	272	9345	272	9345
\$D\$36	w12 no servicio	200	200	9345	200	9345
\$D\$37	w22 no servicio	240	240	9345	240	9345
\$D\$38	w32 no servicio	229	229	9345	229	9345
\$D\$39	w13 no servicio	200	200	9345	200	9345
\$D\$40	w23 no servicio	216	216	9345	216	9345
\$D\$41	w33 no servicio	187	187	9345	187	9345
\$D\$42	z11 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$43	z21 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$44	z31 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$45	z12 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$46	z22 no servicio	24	24	9345	24	9345
\$D\$47	z32 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$48	z13 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$49	z23 no servicio	0	0	9345	0	9345
\$D\$50	z33 no servicio	0	0	9345	0	9345

MINIMIZAR ERROR:

A	B	C	D	E	F	G	H
1	Rendimiento	selector 1	selector 2	selector 3	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
2	ordenado por						
3	95,268	=SI(B3<=B\$125,1,0)	=SI(B3<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B3<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C3	=SI((C3+D3+E3=1),1,0)	=SI((C3+D3+E3=1),1,0)
4	96,651	=SI(B4<=B\$125,1,0)	=SI(B4<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B4<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C4	=SI((C4+D4+E4=1),1,0)	=SI((C4+D4+E4=1),1,0)
5	98,261	=SI(B5<=B\$125,1,0)	=SI(B5<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B5<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C5	=SI((C5+D5+E5=1),1,0)	=SI((C5+D5+E5=1),1,0)
6	97,6	=SI(B6<=B\$125,1,0)	=SI(B6<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B6<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C6	=SI((C6+D6+E6=1),1,0)	=SI((C6+D6+E6=1),1,0)
7	97,5	=SI(B7<=B\$125,1,0)	=SI(B7<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B7<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C7	=SI((C7+D7+E7=1),1,0)	=SI((C7+D7+E7=1),1,0)
8	97,441	=SI(B8<=B\$125,1,0)	=SI(B8<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B8<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C8	=SI((C8+D8+E8=1),1,0)	=SI((C8+D8+E8=1),1,0)
9	97,421	=SI(B9<=B\$125,1,0)	=SI(B9<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B9<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C9	=SI((C9+D9+E9=1),1,0)	=SI((C9+D9+E9=1),1,0)
10	97,297	=SI(B10<=B\$125,1,0)	=SI(B10<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B10<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C10	=SI((C10+D10+E10=1),1,0)	=SI((C10+D10+E10=1),1,0)
11	97,075	=SI(B11<=B\$125,1,0)	=SI(B11<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B11<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C11	=SI((C11+D11+E11=1),1,0)	=SI((C11+D11+E11=1),1,0)
12	96,679	=SI(B12<=B\$125,1,0)	=SI(B12<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B12<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C12	=SI((C12+D12+E12=1),1,0)	=SI((C12+D12+E12=1),1,0)
13	96,039	=SI(B13<=B\$125,1,0)	=SI(B13<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B13<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C13	=SI((C13+D13+E13=1),1,0)	=SI((C13+D13+E13=1),1,0)
14	95,518	=SI(B14<=B\$125,1,0)	=SI(B14<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B14<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C14	=SI((C14+D14+E14=1),1,0)	=SI((C14+D14+E14=1),1,0)
15	95,518	=SI(B15<=B\$125,1,0)	=SI(B15<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B15<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C15	=SI((C15+D15+E15=1),1,0)	=SI((C15+D15+E15=1),1,0)
16	95,238	=SI(B16<=B\$125,1,0)	=SI(B16<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B16<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C16	=SI((C16+D16+E16=1),1,0)	=SI((C16+D16+E16=1),1,0)
17	94,543	=SI(B17<=B\$125,1,0)	=SI(B17<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B17<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C17	=SI((C17+D17+E17=1),1,0)	=SI((C17+D17+E17=1),1,0)
18	94,413	=SI(B18<=B\$125,1,0)	=SI(B18<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B18<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C18	=SI((C18+D18+E18=1),1,0)	=SI((C18+D18+E18=1),1,0)
19	96,667	=SI(B19<=B\$125,1,0)	=SI(B19<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B19<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C19	=SI((C19+D19+E19=1),1,0)	=SI((C19+D19+E19=1),1,0)
20	96,478	=SI(B20<=B\$125,1,0)	=SI(B20<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B20<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C20	=SI((C20+D20+E20=1),1,0)	=SI((C20+D20+E20=1),1,0)
21	92,951	=SI(B21<=B\$125,1,0)	=SI(B21<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B21<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C21	=SI((C21+D21+E21=1),1,0)	=SI((C21+D21+E21=1),1,0)
22	92,275	=SI(B22<=B\$125,1,0)	=SI(B22<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B22<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C22	=SI((C22+D22+E22=1),1,0)	=SI((C22+D22+E22=1),1,0)
23	92	=SI(B23<=B\$125,1,0)	=SI(B23<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B23<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C23	=SI((C23+D23+E23=1),1,0)	=SI((C23+D23+E23=1),1,0)
24	91,563	=SI(B24<=B\$125,1,0)	=SI(B24<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B24<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C24	=SI((C24+D24+E24=1),1,0)	=SI((C24+D24+E24=1),1,0)
25	91,213	=SI(B25<=B\$125,1,0)	=SI(B25<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B25<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C25	=SI((C25+D25+E25=1),1,0)	=SI((C25+D25+E25=1),1,0)
26	91,245	=SI(B26<=B\$125,1,0)	=SI(B26<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B26<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C26	=SI((C26+D26+E26=1),1,0)	=SI((C26+D26+E26=1),1,0)
27	91,131	=SI(B27<=B\$125,1,0)	=SI(B27<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B27<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C27	=SI((C27+D27+E27=1),1,0)	=SI((C27+D27+E27=1),1,0)
28	90,979	=SI(B28<=B\$125,1,0)	=SI(B28<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B28<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C28	=SI((C28+D28+E28=1),1,0)	=SI((C28+D28+E28=1),1,0)
29	90,566	=SI(B29<=B\$125,1,0)	=SI(B29<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B29<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C29	=SI((C29+D29+E29=1),1,0)	=SI((C29+D29+E29=1),1,0)
30	90,713	=SI(B30<=B\$125,1,0)	=SI(B30<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B30<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C30	=SI((C30+D30+E30=1),1,0)	=SI((C30+D30+E30=1),1,0)
31	90,553	=SI(B31<=B\$125,1,0)	=SI(B31<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B31<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C31	=SI((C31+D31+E31=1),1,0)	=SI((C31+D31+E31=1),1,0)
32	90,477	=SI(B32<=B\$125,1,0)	=SI(B32<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B32<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C32	=SI((C32+D32+E32=1),1,0)	=SI((C32+D32+E32=1),1,0)
33	90	=SI(B33<=B\$125,1,0)	=SI(B33<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B33<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C33	=SI((C33+D33+E33=1),1,0)	=SI((C33+D33+E33=1),1,0)
34	89,517	=SI(B34<=B\$125,1,0)	=SI(B34<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B34<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C34	=SI((C34+D34+E34=1),1,0)	=SI((C34+D34+E34=1),1,0)
35	88,689	=SI(B35<=B\$125,1,0)	=SI(B35<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B35<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C35	=SI((C35+D35+E35=1),1,0)	=SI((C35+D35+E35=1),1,0)
36	86,565	=SI(B36<=B\$125,1,0)	=SI(B36<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B36<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C36	=SI((C36+D36+E36=1),1,0)	=SI((C36+D36+E36=1),1,0)
37	86,304	=SI(B37<=B\$125,1,0)	=SI(B37<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B37<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C37	=SI((C37+D37+E37=1),1,0)	=SI((C37+D37+E37=1),1,0)
38	86,302	=SI(B38<=B\$125,1,0)	=SI(B38<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B38<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C38	=SI((C38+D38+E38=1),1,0)	=SI((C38+D38+E38=1),1,0)
39	87,573	=SI(B39<=B\$125,1,0)	=SI(B39<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B39<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C39	=SI((C39+D39+E39=1),1,0)	=SI((C39+D39+E39=1),1,0)
40	87,738	=SI(B40<=B\$125,1,0)	=SI(B40<=B\$126+B\$125,1,0)	=SI(B40<=B\$125+B\$81,26+B\$81,27,1,0)	=C40	=SI((C40+D40+E40=1),1,0)	=SI((C40+D40+E40=1),1,0)

A	B	C	D	E	F	G	H
41	87,592	=!(1841<=&8125;1;0)	=!(341<=&81126+8125;1;0)	=!(841<=&8125-8125;127;1;0)	=C41	=!(041+041=1;1;0)	=!(041+041=1;1;0)
42	87,579	=!(1842<=&8125;1;0)	=!(342<=&81126+8125;1;0)	=!(842<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C42	=!(042+042=1;1;0)	=!(042+042=1;1;0)
43	87,201	=!(1843<=&8125;1;0)	=!(343<=&81126+8125;1;0)	=!(843<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C43	=!(043+043=1;1;0)	=!(043+043=1;1;0)
44	86,777	=!(1844<=&8125;1;0)	=!(344<=&81126+8125;1;0)	=!(844<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C44	=!(044+044=1;1;0)	=!(044+044=1;1;0)
45	86,533	=!(1845<=&8125;1;0)	=!(345<=&81126+8125;1;0)	=!(845<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C45	=!(045+045=1;1;0)	=!(045+045=1;1;0)
46	85,507	=!(1846<=&8125;1;0)	=!(346<=&81126+8125;1;0)	=!(846<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C46	=!(046+046=1;1;0)	=!(046+046=1;1;0)
47	85,743	=!(1847<=&8125;1;0)	=!(347<=&81126+8125;1;0)	=!(847<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C47	=!(047+047=1;1;0)	=!(047+047=1;1;0)
48	85,563	=!(1848<=&8125;1;0)	=!(348<=&81126+8125;1;0)	=!(848<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C48	=!(048+048=1;1;0)	=!(048+048=1;1;0)
49	85,095	=!(1849<=&8125;1;0)	=!(349<=&81126+8125;1;0)	=!(849<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C49	=!(049+049=1;1;0)	=!(049+049=1;1;0)
50	85,81	=!(1850<=&8125;1;0)	=!(350<=&81126+8125;1;0)	=!(850<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C50	=!(050+050=1;1;0)	=!(050+050=1;1;0)
51	82,598	=!(1851<=&8125;1;0)	=!(351<=&81126+8125;1;0)	=!(851<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C51	=!(051+051=1;1;0)	=!(051+051=1;1;0)
52	82,621	=!(1852<=&8125;1;0)	=!(352<=&81126+8125;1;0)	=!(852<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C52	=!(052+052=1;1;0)	=!(052+052=1;1;0)
53	82,421	=!(1853<=&8125;1;0)	=!(353<=&81126+8125;1;0)	=!(853<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C53	=!(053+053=1;1;0)	=!(053+053=1;1;0)
54	82,419	=!(1854<=&8125;1;0)	=!(354<=&81126+8125;1;0)	=!(854<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C54	=!(054+054=1;1;0)	=!(054+054=1;1;0)
55	81,639	=!(1855<=&8125;1;0)	=!(355<=&81126+8125;1;0)	=!(855<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C55	=!(055+055=1;1;0)	=!(055+055=1;1;0)
56	81,222	=!(1856<=&8125;1;0)	=!(356<=&81126+8125;1;0)	=!(856<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C56	=!(056+056=1;1;0)	=!(056+056=1;1;0)
57	80,571	=!(1857<=&8125;1;0)	=!(357<=&81126+8125;1;0)	=!(857<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C57	=!(057+057=1;1;0)	=!(057+057=1;1;0)
58	80,651	=!(1858<=&8125;1;0)	=!(358<=&81126+8125;1;0)	=!(858<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C58	=!(058+058=1;1;0)	=!(058+058=1;1;0)
59	80,769	=!(1859<=&8125;1;0)	=!(359<=&81126+8125;1;0)	=!(859<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C59	=!(059+059=1;1;0)	=!(059+059=1;1;0)
60	80,271	=!(1860<=&8125;1;0)	=!(360<=&81126+8125;1;0)	=!(860<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C60	=!(060+060=1;1;0)	=!(060+060=1;1;0)
61	79,412	=!(1861<=&8125;1;0)	=!(361<=&81126+8125;1;0)	=!(861<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C61	=!(061+061=1;1;0)	=!(061+061=1;1;0)
62	79,138	=!(1862<=&8125;1;0)	=!(362<=&81126+8125;1;0)	=!(862<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C62	=!(062+062=1;1;0)	=!(062+062=1;1;0)
63	79,038	=!(1863<=&8125;1;0)	=!(363<=&81126+8125;1;0)	=!(863<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C63	=!(063+063=1;1;0)	=!(063+063=1;1;0)
64	78,571	=!(1864<=&8125;1;0)	=!(364<=&81126+8125;1;0)	=!(864<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C64	=!(064+064=1;1;0)	=!(064+064=1;1;0)
65	77,784	=!(1865<=&8125;1;0)	=!(365<=&81126+8125;1;0)	=!(865<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C65	=!(065+065=1;1;0)	=!(065+065=1;1;0)
66	77,778	=!(1866<=&8125;1;0)	=!(366<=&81126+8125;1;0)	=!(866<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C66	=!(066+066=1;1;0)	=!(066+066=1;1;0)
67	77,242	=!(1867<=&8125;1;0)	=!(367<=&81126+8125;1;0)	=!(867<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C67	=!(067+067=1;1;0)	=!(067+067=1;1;0)
68	76,855	=!(1868<=&8125;1;0)	=!(368<=&81126+8125;1;0)	=!(868<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C68	=!(068+068=1;1;0)	=!(068+068=1;1;0)
69	76,719	=!(1869<=&8125;1;0)	=!(369<=&81126+8125;1;0)	=!(869<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C69	=!(069+069=1;1;0)	=!(069+069=1;1;0)
70	75,557	=!(1870<=&8125;1;0)	=!(370<=&81126+8125;1;0)	=!(870<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C70	=!(070+070=1;1;0)	=!(070+070=1;1;0)
71	75,635	=!(1871<=&8125;1;0)	=!(371<=&81126+8125;1;0)	=!(871<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C71	=!(071+071=1;1;0)	=!(071+071=1;1;0)
72	75	=!(1872<=&8125;1;0)	=!(372<=&81126+8125;1;0)	=!(872<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C72	=!(072+072=1;1;0)	=!(072+072=1;1;0)
73	74,516	=!(1873<=&8125;1;0)	=!(373<=&81126+8125;1;0)	=!(873<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C73	=!(073+073=1;1;0)	=!(073+073=1;1;0)
74	74,633	=!(1874<=&8125;1;0)	=!(374<=&81126+8125;1;0)	=!(874<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C74	=!(074+074=1;1;0)	=!(074+074=1;1;0)
75	74,681	=!(1875<=&8125;1;0)	=!(375<=&81126+8125;1;0)	=!(875<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C75	=!(075+075=1;1;0)	=!(075+075=1;1;0)
76	74,817	=!(1876<=&8125;1;0)	=!(376<=&81126+8125;1;0)	=!(876<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C76	=!(076+076=1;1;0)	=!(076+076=1;1;0)
77	74,439	=!(1877<=&8125;1;0)	=!(377<=&81126+8125;1;0)	=!(877<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C77	=!(077+077=1;1;0)	=!(077+077=1;1;0)
78	73,26	=!(1878<=&8125;1;0)	=!(378<=&81126+8125;1;0)	=!(878<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C78	=!(078+078=1;1;0)	=!(078+078=1;1;0)
79	72,28	=!(1879<=&8125;1;0)	=!(379<=&81126+8125;1;0)	=!(879<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C79	=!(079+079=1;1;0)	=!(079+079=1;1;0)
80	72,188	=!(1880<=&8125;1;0)	=!(380<=&81126+8125;1;0)	=!(880<=&8125-8125;126-8127;1;0)	=C80	=!(080+080=1;1;0)	=!(080+080=1;1;0)

A	B	C	D	E	F	G	H
81	71.99	=S((B81<=&S125;1;0))	=S((B81<=&S126+&S125;1;0))	=S((B81<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C81	=S((C81+&S126;1;0))	=S((C81+&S126+&S127;1;0))
82	71.05	=S((B82<=&S125;1;0))	=S((B82<=&S126+&S125;1;0))	=S((B82<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C82	=S((C82+&S126;1;0))	=S((C82+&S126+&S127;1;0))
83	70.617	=S((B83<=&S125;1;0))	=S((B83<=&S126+&S125;1;0))	=S((B83<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C83	=S((C83+&S126;1;0))	=S((C83+&S126+&S127;1;0))
84	70.295	=S((B84<=&S125;1;0))	=S((B84<=&S126+&S125;1;0))	=S((B84<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C84	=S((C84+&S126;1;0))	=S((C84+&S126+&S127;1;0))
85	69.423	=S((B85<=&S125;1;0))	=S((B85<=&S126+&S125;1;0))	=S((B85<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C85	=S((C85+&S126;1;0))	=S((C85+&S126+&S127;1;0))
85	69.231	=S((B86<=&S125;1;0))	=S((B86<=&S126+&S125;1;0))	=S((B86<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C86	=S((C86+&S126;1;0))	=S((C86+&S126+&S127;1;0))
87	68.452	=S((B87<=&S125;1;0))	=S((B87<=&S126+&S125;1;0))	=S((B87<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C87	=S((C87+&S126;1;0))	=S((C87+&S126+&S127;1;0))
83	68.24	=S((B88<=&S125;1;0))	=S((B88<=&S126+&S125;1;0))	=S((B88<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C88	=S((C88+&S126;1;0))	=S((C88+&S126+&S127;1;0))
89	66.922	=S((B89<=&S125;1;0))	=S((B89<=&S126+&S125;1;0))	=S((B89<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C89	=S((C89+&S126;1;0))	=S((C89+&S126+&S127;1;0))
90	66.493	=S((B90<=&S125;1;0))	=S((B90<=&S126+&S125;1;0))	=S((B90<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C90	=S((C90+&S126;1;0))	=S((C90+&S126+&S127;1;0))
91	65.811	=S((B91<=&S125;1;0))	=S((B91<=&S126+&S125;1;0))	=S((B91<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C91	=S((C91+&S126;1;0))	=S((C91+&S126+&S127;1;0))
92	64.236	=S((B92<=&S125;1;0))	=S((B92<=&S126+&S125;1;0))	=S((B92<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C92	=S((C92+&S126;1;0))	=S((C92+&S126+&S127;1;0))
93	62.888	=S((B93<=&S125;1;0))	=S((B93<=&S126+&S125;1;0))	=S((B93<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C93	=S((C93+&S126;1;0))	=S((C93+&S126+&S127;1;0))
94	61.652	=S((B94<=&S125;1;0))	=S((B94<=&S126+&S125;1;0))	=S((B94<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C94	=S((C94+&S126;1;0))	=S((C94+&S126+&S127;1;0))
95	61.118	=S((B95<=&S125;1;0))	=S((B95<=&S126+&S125;1;0))	=S((B95<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C95	=S((C95+&S126;1;0))	=S((C95+&S126+&S127;1;0))
95	60.417	=S((B96<=&S125;1;0))	=S((B96<=&S126+&S125;1;0))	=S((B96<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C96	=S((C96+&S126;1;0))	=S((C96+&S126+&S127;1;0))
97	60.424	=S((B97<=&S125;1;0))	=S((B97<=&S126+&S125;1;0))	=S((B97<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C97	=S((C97+&S126;1;0))	=S((C97+&S126+&S127;1;0))
98	58.335	=S((B98<=&S125;1;0))	=S((B98<=&S126+&S125;1;0))	=S((B98<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C98	=S((C98+&S126;1;0))	=S((C98+&S126+&S127;1;0))
99	56.875	=S((B99<=&S125;1;0))	=S((B99<=&S126+&S125;1;0))	=S((B99<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C99	=S((C99+&S126;1;0))	=S((C99+&S126+&S127;1;0))
100	56.75	=S((B100<=&S125;1;0))	=S((B100<=&S126+&S125;1;0))	=S((B100<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C100	=S((C100+&S126;1;0))	=S((C100+&S126+&S127;1;0))
101	55.8	=S((B101<=&S125;1;0))	=S((B101<=&S126+&S125;1;0))	=S((B101<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C101	=S((C101+&S126;1;0))	=S((C101+&S126+&S127;1;0))
102	55	=S((B102<=&S125;1;0))	=S((B102<=&S126+&S125;1;0))	=S((B102<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C102	=S((C102+&S126;1;0))	=S((C102+&S126+&S127;1;0))
103	54.755	=S((B103<=&S125;1;0))	=S((B103<=&S126+&S125;1;0))	=S((B103<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C103	=S((C103+&S126;1;0))	=S((C103+&S126+&S127;1;0))
104	53.782	=S((B104<=&S125;1;0))	=S((B104<=&S126+&S125;1;0))	=S((B104<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C104	=S((C104+&S126;1;0))	=S((C104+&S126+&S127;1;0))
105	52.316	=S((B105<=&S125;1;0))	=S((B105<=&S126+&S125;1;0))	=S((B105<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C105	=S((C105+&S126;1;0))	=S((C105+&S126+&S127;1;0))
106	51.632	=S((B106<=&S125;1;0))	=S((B106<=&S126+&S125;1;0))	=S((B106<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C106	=S((C106+&S126;1;0))	=S((C106+&S126+&S127;1;0))
107	50.899	=S((B107<=&S125;1;0))	=S((B107<=&S126+&S125;1;0))	=S((B107<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C107	=S((C107+&S126;1;0))	=S((C107+&S126+&S127;1;0))
108	50.278	=S((B108<=&S125;1;0))	=S((B108<=&S126+&S125;1;0))	=S((B108<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C108	=S((C108+&S126;1;0))	=S((C108+&S126+&S127;1;0))
109	49.335	=S((B109<=&S125;1;0))	=S((B109<=&S126+&S125;1;0))	=S((B109<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C109	=S((C109+&S126;1;0))	=S((C109+&S126+&S127;1;0))
110	48.519	=S((B110<=&S125;1;0))	=S((B110<=&S126+&S125;1;0))	=S((B110<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C110	=S((C110+&S126;1;0))	=S((C110+&S126+&S127;1;0))
111	47.146	=S((B111<=&S125;1;0))	=S((B111<=&S126+&S125;1;0))	=S((B111<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C111	=S((C111+&S126;1;0))	=S((C111+&S126+&S127;1;0))
112	46.571	=S((B112<=&S125;1;0))	=S((B112<=&S126+&S125;1;0))	=S((B112<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C112	=S((C112+&S126;1;0))	=S((C112+&S126+&S127;1;0))
113	45.154	=S((B113<=&S125;1;0))	=S((B113<=&S126+&S125;1;0))	=S((B113<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C113	=S((C113+&S126;1;0))	=S((C113+&S126+&S127;1;0))
114	44.749	=S((B114<=&S125;1;0))	=S((B114<=&S126+&S125;1;0))	=S((B114<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C114	=S((C114+&S126;1;0))	=S((C114+&S126+&S127;1;0))
115	43.824	=S((B115<=&S125;1;0))	=S((B115<=&S126+&S125;1;0))	=S((B115<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C115	=S((C115+&S126;1;0))	=S((C115+&S126+&S127;1;0))
116	42.824	=S((B116<=&S125;1;0))	=S((B116<=&S126+&S125;1;0))	=S((B116<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C116	=S((C116+&S126;1;0))	=S((C116+&S126+&S127;1;0))
117	41.995	=S((B117<=&S125;1;0))	=S((B117<=&S126+&S125;1;0))	=S((B117<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C117	=S((C117+&S126;1;0))	=S((C117+&S126+&S127;1;0))
118	41.75	=S((B118<=&S125;1;0))	=S((B118<=&S126+&S125;1;0))	=S((B118<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C118	=S((C118+&S126;1;0))	=S((C118+&S126+&S127;1;0))
119	40.986	=S((B119<=&S125;1;0))	=S((B119<=&S126+&S125;1;0))	=S((B119<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C119	=S((C119+&S126;1;0))	=S((C119+&S126+&S127;1;0))
120	40.744	=S((B120<=&S125;1;0))	=S((B120<=&S126+&S125;1;0))	=S((B120<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C120	=S((C120+&S126;1;0))	=S((C120+&S126+&S127;1;0))
121	40	=S((B121<=&S125;1;0))	=S((B121<=&S126+&S125;1;0))	=S((B121<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C121	=S((C121+&S126;1;0))	=S((C121+&S126+&S127;1;0))
122	39.13	=S((B122<=&S125;1;0))	=S((B122<=&S126+&S125;1;0))	=S((B122<=&S125+&S126-&S127;1;0))	=C122	=S((C122+&S126;1;0))	=S((C122+&S126+&S127;1;0))

	I	J	K	L	M	N	O	P	Absoluto
1	Rendimiento medio de la pieza i en el ESCENARIO1, pmi1	Rendimiento medio de la pieza i en el ESCENARIO1, pmi1	Absoluto p1=pmi1	Absoluto/p1	Promedio pmi2	Absoluto p1=pmi2	Absoluto/p1	Promedio pmi3	Absoluto p1=pmi3
2	3=A3*F3	=PROMEDIO.S(IF3:F12;1:A3:A12)	=SIF3=1,(ABS(A3-J53))0	=K3/A3	=PROMEDIO.S(G3:G12;1:A3:A12)	=SIF3=1,(ABS(A3-V53))0	=N3/A3	=PRIVMED O.S (H3:H12;-S1 H3-1;	
3	4=A4*F4	=SIF4=1,(ABS(A4-J53))0	=K4/A4			=SIF4=1,(ABS(A4-V53))0	=N4/A4		=S1 H4=1;
4	5=A5*F5	=SIF5=1,(ABS(A5-J53))0	=K5/A5			=SIF5=1,(ABS(A5-V53))0	=N5/A5		=S1 H5=1;
5	6=A6*F6	=SIF6=1,(ABS(A6-J53))0	=K6/A6			=SIF6=1,(ABS(A6-V53))0	=N6/A6		=S1 H6=1;
6	7=A7*F7	=SIF7=1,(ABS(A7-J53))0	=K7/A7			=SIF7=1,(ABS(A7-V53))0	=N7/A7		=S1 H7=1;
7	8=A8*F8	=SIF8=1,(ABS(A8-J53))0	=K8/A8			=SIF8=1,(ABS(A8-V53))0	=N8/A8		=S1 H8=1;
8	9=A9*F9	=SIF9=1,(ABS(A9-J53))0	=K9/A9			=SIF9=1,(ABS(A9-V53))0	=N9/A9		=S1 H9=1;
9	10=A10*F10	=SIF10=1,(ABS(A10-J53))0	=K10/A10			=SIF10=1,(ABS(A10-V53))0	=N10/A10		=S1 H10=1;
10	11=A11*F11	=SIF11=1,(ABS(A11-J53))0	=K11/A11			=SIF11=1,(ABS(A11-V53))0	=N11/A11		=S1 H11=1;
11	12=A12*F12	=SIF12=1,(ABS(A12-J53))0	=K12/A12			=SIF12=1,(ABS(A12-V53))0	=N12/A12		=S1 H12=1;
12	13=A13*F13	=SIF13=1,(ABS(A13-J53))0	=K13/A13			=SIF13=1,(ABS(A13-V53))0	=N13/A13		=S1 H13=1;
13	14=A14*F14	=SIF14=1,(ABS(A14-J53))0	=K14/A14			=SIF14=1,(ABS(A14-V53))0	=N14/A14		=S1 H14=1;
14	15=A15*F15	=SIF15=1,(ABS(A15-J53))0	=K15/A15			=SIF15=1,(ABS(A15-V53))0	=N15/A15		=S1 H15=1;
15	16=A16*F16	=SIF16=1,(ABS(A16-J53))0	=K16/A16			=SIF16=1,(ABS(A16-V53))0	=N16/A16		=S1 H16=1;
16	17=A17*F17	=SIF17=1,(ABS(A17-J53))0	=K17/A17			=SIF17=1,(ABS(A17-V53))0	=N17/A17		=S1 H17=1;
17	18=A18*F18	=SIF18=1,(ABS(A18-J53))0	=K18/A18			=SIF18=1,(ABS(A18-V53))0	=N18/A18		=S1 H18=1;
18	19=A19*F19	=SIF19=1,(ABS(A19-J53))0	=K19/A19			=SIF19=1,(ABS(A19-V53))0	=N19/A19		=S1 H19=1;
19	20=A20*F20	=SIF20=1,(ABS(A20-J53))0	=K20/A20			=SIF20=1,(ABS(A20-V53))0	=N20/A20		=S1 H20=1;
20	21=A21*F21	=SIF21=1,(ABS(A21-J53))0	=K21/A21			=SIF21=1,(ABS(A21-V53))0	=N21/A21		=S1 H21=1;
21	22=A22*F22	=SIF22=1,(ABS(A22-J53))0	=K22/A22			=SIF22=1,(ABS(A22-V53))0	=N22/A22		=S1 H22=1;
22	23=A23*F23	=SIF23=1,(ABS(A23-J53))0	=K23/A23			=SIF23=1,(ABS(A23-V53))0	=N23/A23		=S1 H23=1;
23	24=A24*F24	=SIF24=1,(ABS(A24-J53))0	=K24/A24			=SIF24=1,(ABS(A24-V53))0	=N24/A24		=S1 H24=1;
24	25=A25*F25	=SIF25=1,(ABS(A25-J53))0	=K25/A25			=SIF25=1,(ABS(A25-V53))0	=N25/A25		=S1 H25=1;
25	26=A26*F26	=SIF26=1,(ABS(A26-J53))0	=K26/A26			=SIF26=1,(ABS(A26-V53))0	=N26/A26		=S1 H26=1;
26	27=A27*F27	=SIF27=1,(ABS(A27-J53))0	=K27/A27			=SIF27=1,(ABS(A27-V53))0	=N27/A27		=S1 H27=1;
27	28=A28*F28	=SIF28=1,(ABS(A28-J53))0	=K28/A28			=SIF28=1,(ABS(A28-V53))0	=N28/A28		=S1 H28=1;
28	29=A29*F29	=SIF29=1,(ABS(A29-J53))0	=K29/A29			=SIF29=1,(ABS(A29-V53))0	=N29/A29		=S1 H29=1;
29	30=A30*F30	=SIF30=1,(ABS(A30-J53))0	=K30/A30			=SIF30=1,(ABS(A30-V53))0	=N30/A30		=S1 H30=1;
30	31=A31*F31	=SIF31=1,(ABS(A31-J53))0	=K31/A31			=SIF31=1,(ABS(A31-V53))0	=N31/A31		=S1 H31=1;
31	32=A32*F32	=SIF32=1,(ABS(A32-J53))0	=K32/A32			=SIF32=1,(ABS(A32-V53))0	=N32/A32		=S1 H32=1;
32	33=A33*F33	=SIF33=1,(ABS(A33-J53))0	=K33/A33			=SIF33=1,(ABS(A33-V53))0	=N33/A33		=S1 H33=1;
33	34=A34*F34	=SIF34=1,(ABS(A34-J53))0	=K34/A34			=SIF34=1,(ABS(A34-V53))0	=N34/A34		=S1 H34=1;
34	35=A35*F35	=SIF35=1,(ABS(A35-J53))0	=K35/A35			=SIF35=1,(ABS(A35-V53))0	=N35/A35		=S1 H35=1;
35	36=A36*F36	=SIF36=1,(ABS(A36-J53))0	=K36/A36			=SIF36=1,(ABS(A36-V53))0	=N36/A36		=S1 H36=1;
36	37=A37*F37	=SIF37=1,(ABS(A37-J53))0	=K37/A37			=SIF37=1,(ABS(A37-V53))0	=N37/A37		=S1 H37=1;
37	38=A38*F38	=SIF38=1,(ABS(A38-J53))0	=K38/A38			=SIF38=1,(ABS(A38-V53))0	=N38/A38		=S1 H38=1;
38	39=A39*F39	=SIF39=1,(ABS(A39-J53))0	=K39/A39			=SIF39=1,(ABS(A39-V53))0	=N39/A39		=S1 H39=1;
39	40=A40*F40	=SIF40=1,(ABS(A40-J53))0	=K40/A40			=SIF40=1,(ABS(A40-V53))0	=N40/A40		=S1 H40=1;
40	41=A41*F41	=SIF41=1,(ABS(A41-J53))0	=K41/A41			=SIF41=1,(ABS(A41-V53))0	=N41/A41		=S1 H41=1;
41	42=A42*F42	=SIF42=1,(ABS(A42-J53))0	=K42/A42			=SIF42=1,(ABS(A42-V53))0	=N42/A42		=S1 H42=1;
42	43=A43*F43	=SIF43=1,(ABS(A43-J53))0	=K43/A43			=SIF43=1,(ABS(A43-V53))0	=N43/A43		=S1 H43=1;
43	44=A44*F44	=SIF44=1,(ABS(A44-J53))0	=K44/A44			=SIF44=1,(ABS(A44-V53))0	=N44/A44		=S1 H44=1;
44	45=A45*F45	=SIF45=1,(ABS(A45-J53))0	=K45/A45			=SIF45=1,(ABS(A45-V53))0	=N45/A45		=S1 H45=1;

r	i	j	k	l	m	n	o	p	q
47	#A6*F46		=S(I\F6=-1,(ABS(A45-(S3))<0))	=C6/A46			=N6/A46		=S((H6=-1
47	#A47*F47		=S(I\F6=-1,(ABS(A47-(S3))<0))	=C7/A47			=N7/A47		=S((H7=-1
48	#A48*F48		=S(I\F6=-1,(ABS(A48-(S3))<0))	=C8/A48			=N8/A48		=S((H8=-1
49	#A49*F49		=S(I\F6=-1,(ABS(A49-(S3))<0))	=C9/A49			=N9/A49		=S((H9=-1
50	#A50*F50		=S(I\F6=-1,(ABS(A50-(S3))<0))	=C0/A50			=N0/A50		=S((H50=-1
51	#A51*F51		=S(I\F51=-1,(ABS(A51-(S3))<0))	=C51/A51			=N51/A51		=S((H51=-1
52	#A52*F52		=S(I\F52=-1,(ABS(A52-(S3))<0))	=C52/A52			=N52/A52		=S((H52=-1
53	#A53*F53		=S(I\F53=-1,(ABS(A53-(S3))<0))	=C53/A53			=N53/A53		=S((H53=-1
54	#A54*F54		=S(I\F54=-1,(ABS(A54-(S3))<0))	=C54/A54			=N54/A54		=S((H54=-1
55	#A55*F55		=S(I\F55=-1,(ABS(A55-(S3))<0))	=C55/A55			=N55/A55		=S((H55=-1
55	#A56*F56		=S(I\F56=-1,(ABS(A56-(S3))<0))	=C56/A56			=N56/A56		=S((H56=-1
57	#A57*F57		=S(I\F57=-1,(ABS(A57-(S3))<0))	=C57/A57			=N57/A57		=S((H57=-1
58	#A58*F58		=S(I\F58=-1,(ABS(A58-(S3))<0))	=C58/A58			=N58/A58		=S((H58=-1
59	#A59*F59		=S(I\F59=-1,(ABS(A59-(S3))<0))	=C59/A59			=N59/A59		=S((H59=-1
60	#A60*F60		=S(I\F60=-1,(ABS(A60-(S3))<0))	=C60/A60			=N60/A60		=S((H60=-1
61	#A61*F61		=S(I\F61=-1,(ABS(A61-(S3))<0))	=C61/A61			=N61/A61		=S((H61=-1
62	#A62*F62		=S(I\F62=-1,(ABS(A62-(S3))<0))	=C62/A62			=N62/A62		=S((H62=-1
63	#A63*F63		=S(I\F63=-1,(ABS(A63-(S3))<0))	=C63/A63			=N63/A63		=S((H63=-1
64	#A64*F64		=S(I\F64=-1,(ABS(A64-(S3))<0))	=C64/A64			=N64/A64		=S((H64=-1
65	#A65*F65		=S(I\F65=-1,(ABS(A65-(S3))<0))	=C65/A65			=N65/A65		=S((H65=-1
65	#A66*F66		=S(I\F66=-1,(ABS(A66-(S3))<0))	=C66/A66			=N66/A66		=S((H66=-1
67	#A67*F67		=S(I\F67=-1,(ABS(A67-(S3))<0))	=C67/A67			=N67/A67		=S((H67=-1
68	#A68*F68		=S(I\F68=-1,(ABS(A68-(S3))<0))	=C68/A68			=N68/A68		=S((H68=-1
69	#A69*F69		=S(I\F69=-1,(ABS(A69-(S3))<0))	=C69/A69			=N69/A69		=S((H69=-1
70	#A70*F70		=S(I\F70=-1,(ABS(A70-(S3))<0))	=C70/A70			=N70/A70		=S((H70=-1
71	#A71*F71		=S(I\F71=-1,(ABS(A71-(S3))<0))	=C71/A71			=N71/A71		=S((H71=-1
72	#A72*F72		=S(I\F72=-1,(ABS(A72-(S3))<0))	=C72/A72			=N72/A72		=S((H72=-1
73	#A73*F73		=S(I\F73=-1,(ABS(A73-(S3))<0))	=C73/A73			=N73/A73		=S((H73=-1
74	#A74*F74		=S(I\F74=-1,(ABS(A74-(S3))<0))	=C74/A74			=N74/A74		=S((H74=-1
75	#A75*F75		=S(I\F75=-1,(ABS(A75-(S3))<0))	=C75/A75			=N75/A75		=S((H75=-1
75	#A76*F76		=S(I\F76=-1,(ABS(A76-(S3))<0))	=C76/A76			=N76/A76		=S((H76=-1
77	#A77*F77		=S(I\F77=-1,(ABS(A77-(S3))<0))	=C77/A77			=N77/A77		=S((H77=-1
78	#A78*F78		=S(I\F78=-1,(ABS(A78-(S3))<0))	=C78/A78			=N78/A78		=S((H78=-1
79	#A79*F79		=S(I\F79=-1,(ABS(A79-(S3))<0))	=C79/A79			=N79/A79		=S((H79=-1
80	#A80*F80		=S(I\F80=-1,(ABS(A80-(S3))<0))	=C80/A80			=N80/A80		=S((H80=-1
81	#A81*F81		=S(I\F81=-1,(ABS(A81-(S3))<0))	=C81/A81			=N81/A81		=S((H81=-1
82	#A82*F82		=S(I\F82=-1,(ABS(A82-(S3))<0))	=C82/A82			=N82/A82		=S((H82=-1
83	#A83*F83		=S(I\F83=-1,(ABS(A83-(S3))<0))	=C83/A83			=N83/A83		=S((H83=-1
84	#A84*F84		=S(I\F84=-1,(ABS(A84-(S3))<0))	=C84/A84			=N84/A84		=S((H84=-1
85	#A85*F85		=S(I\F85=-1,(ABS(A85-(S3))<0))	=C85/A85			=N85/A85		=S((H85=-1
85	#A86*F86		=S(I\F86=-1,(ABS(A86-(S3))<0))	=C86/A86			=N86/A86		=S((H86=-1
87	#A87*F87		=S(I\F87=-1,(ABS(A87-(S3))<0))	=C87/A87			=N87/A87		=S((H87=-1
88	#A88*F88		=S(I\F88=-1,(ABS(A88-(S3))<0))	=C88/A88			=N88/A88		=S((H88=-1
89	#A89*F89		=S(I\F89=-1,(ABS(A89-(S3))<0))	=C89/A89			=N89/A89		=S((H89=-1
90	#A90*F90		=S(I\F90=-1,(ABS(A90-(S3))<0))	=C90/A90			=N90/A90		=S((H90=-1

	I	J	K	L	M	N	O	P
91	=A31*F51		=SIF91=1,ABS(A61-.53))0	=G1/A61		=S(G91=1,ABS(A91-M53))0	=A91/A91	=SIF91=
92	=A32*F52		=SIF92=1,ABS(A62-.53))0	=G2/A62		=S(G92=1,ABS(A92-M53))0	=A92/A92	=SIF92=
93	=A33*F53		=SIF93=1,ABS(A63-.53))0	=G3/A63		=S(G93=1,ABS(A93-M53))0	=A93/A93	=SIF93=
94	=A34*F54		=SIF94=1,ABS(A64-.53))0	=G4/A64		=S(G94=1,ABS(A94-M53))0	=A94/A94	=SIF94=
95	=A35*F55		=SIF95=1,ABS(A65-.53))0	=G5/A65		=S(G95=1,ABS(A95-M53))0	=A95/A95	=SIF95=
96	=A36*F56		=SIF96=1,ABS(A66-.53))0	=G6/A66		=S(G96=1,ABS(A96-M53))0	=A96/A96	=SIF96=
97	=A37*F57		=SIF97=1,ABS(A67-.53))0	=G7/A67		=S(G97=1,ABS(A97-M53))0	=A97/A97	=SIF97=
98	=A38*F58		=SIF98=1,ABS(A68-.53))0	=G8/A68		=S(G98=1,ABS(A98-M53))0	=A98/A98	=SIF98=
99	=A39*F59		=SIF99=1,ABS(A69-.53))0	=G9/A69		=S(G99=1,ABS(A99-M53))0	=A99/A99	=SIF99=
100	=A100*F.00		=SIF100=1,ABS(A100-.53))0	=C00/A100		=S(G100=1,ABS(A100-M53))0	=A100/A100	=SIF100=
101	=A101*F.01		=SIF101=1,ABS(A101-.53))0	=C01/A101		=S(G101=1,ABS(A101-M53))0	=A101/A101	=SIF101=
102	=A102*F.02		=SIF102=1,ABS(A102-.53))0	=C02/A102		=S(G102=1,ABS(A102-M53))0	=A102/A102	=SIF102=
103	=A103*F.03		=SIF103=1,ABS(A103-.53))0	=C03/A103		=S(G103=1,ABS(A103-M53))0	=A103/A103	=SIF103=
104	=A104*F.04		=SIF104=1,ABS(A104-.53))0	=C04/A104		=S(G104=1,ABS(A104-M53))0	=A104/A104	=SIF104=
105	=A105*F.05		=SIF105=1,ABS(A105-.53))0	=C05/A105		=S(G105=1,ABS(A105-M53))0	=A105/A105	=SIF105=
106	=A106*F.06		=SIF106=1,ABS(A106-.53))0	=C06/A106		=S(G106=1,ABS(A106-M53))0	=A106/A106	=SIF106=
107	=A107*F.07		=SIF107=1,ABS(A107-.53))0	=C07/A107		=S(G107=1,ABS(A107-M53))0	=A107/A107	=SIF107=
108	=A108*F.08		=SIF108=1,ABS(A108-.53))0	=C08/A108		=S(G108=1,ABS(A108-M53))0	=A108/A108	=SIF108=
109	=A109*F.09		=SIF109=1,ABS(A109-.53))0	=C09/A109		=S(G109=1,ABS(A109-M53))0	=A109/A109	=SIF109=
110	=A110*F.10		=SIF110=1,ABS(A110-.53))0	=C10/A110		=S(G110=1,ABS(A110-M53))0	=A110/A110	=SIF110=
111	=A111*F.11		=SIF111=1,ABS(A111-.53))0	=C11/A111		=S(G111=1,ABS(A111-M53))0	=A111/A111	=SIF111=
112	=A112*F.12		=SIF112=1,ABS(A112-.53))0	=C12/A112		=S(G112=1,ABS(A112-M53))0	=A112/A112	=SIF112=
113	=A113*F.13		=SIF113=1,ABS(A113-.53))0	=C13/A113		=S(G113=1,ABS(A113-M53))0	=A113/A113	=SIF113=
114	=A114*F.14		=SIF114=1,ABS(A114-.53))0	=C14/A114		=S(G114=1,ABS(A114-M53))0	=A114/A114	=SIF114=
115	=A115*F.15		=SIF115=1,ABS(A115-.53))0	=C15/A115		=S(G115=1,ABS(A115-M53))0	=A115/A115	=SIF115=
116	=A116*F.16		=SIF116=1,ABS(A116-.53))0	=C16/A116		=S(G116=1,ABS(A116-M53))0	=A116/A116	=SIF116=
117	=A117*F.17		=SIF117=1,ABS(A117-.53))0	=C17/A117		=S(G117=1,ABS(A117-M53))0	=A117/A117	=SIF117=
118	=A118*F.18		=SIF118=1,ABS(A118-.53))0	=C18/A118		=S(G118=1,ABS(A118-M53))0	=A118/A118	=SIF118=
119	=A119*F.19		=SIF119=1,ABS(A119-.53))0	=C19/A119		=S(G119=1,ABS(A119-M53))0	=A119/A119	=SIF119=
120	=A120*F.20		=SIF120=1,ABS(A120-.53))0	=C20/A120		=S(G120=1,ABS(A120-M53))0	=A120/A120	=SIF120=
121	=A121*F.21		=SIF121=1,ABS(A121-.53))0	=C21/A121		=S(G121=1,ABS(A121-M53))0	=A121/A121	=SIF121=
122	=A122*F.22		=SIF122=1,ABS(A122-.53))0	=C22/A122		=S(G122=1,ABS(A122-M53))0	=A122/A122	=SIF122=
123	=A123*F.23		=SUMA(L3:L2)	=SUMA(L3:L2)		=SUMA(O5:O12)	=SUMA(O5:O12)	=SIF123=
124	=SUMA(I3:I23)	suma	error 1	F_123*G_25	error2		=C123/8126	error3
125	=0124/8125	suma						
126								
127								
128								
129								
130								
131		p^1error1	=D08*L181					
132		p^2error2	=D125*O124					
133		p^3error3	=D127*R124					
134		suma	=SUMA(K:31:433)					
135								

A	B	C	D	E	F	G	H
111	=S(B113<=85125:1)/S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)	=S(B113<=85115-85125:1.0)
112	=S(B114<=85125:1)/S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)	=S(B114<=85115-85125:1.0)
113	=S(B115<=85125:1)/S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)	=S(B115<=85115-85125:1.0)
114	=S(B116<=85125:1)/S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)	=S(B116<=85115-85125:1.0)
115	=S(B117<=85125:1)/S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)	=S(B117<=85115-85125:1.0)
116	=S(B118<=85125:1)/S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)	=S(B118<=85115-85125:1.0)
117	=S(B119<=85125:1)/S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)	=S(B119<=85115-85125:1.0)
118	=S(B120<=85125:1)/S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)	=S(B120<=85115-85125:1.0)
119	=S(B121<=85125:1)/S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)	=S(B121<=85115-85125:1.0)
120	=S(B122<=85125:1)/S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)	=S(B122<=85115-85125:1.0)
123	suma	=SUMA(C3:C12)	=SUMA(D3:D12)	=SUMA(E3:E12)	=SUMA(F3:F12)	=SUMA(G3:G12)	=SUMA(H3:H12)
124	Variables	Probabilidades					
125	Indices	=B125/B5128					
126	Escenario 1, n1	=B126/B5128					
127	Escenario 2, n2	=B127/B5128					
128	Escenario 3, n3	=B127/B5128					
129	suma, n	=SUMA(E125:B127)					
130	restricciones	=B125+B125+B127	=	120	la suma de todos los selectores = máximo índice		
131		=B125	>=	0	los índices tienen que ser mayores que cero		
132		=B125	>=	0			
133		=B127	>=	0	Los índices tienen que ser enteros		
134							
135							
136							
137	Minimizar	probabilidad 1 x error 1 + probabilidad 2 x error 2 + probabilidad 3 x error 3					
138							
139		=D125*_124+D126*_C124+D127*_R124		=B139			
140							
141	La suma de los distintos	(f-psi)/pi					
142	de cada escenario dividido por el número total de elementos es el error total						
143	Escenario 1	=L123					
144	Escenario 2	=C123					
145	Escenario 3	=R123					
146	Suma	=SUMA(E143:B145)					
147	Elementos	120					
148	Error total	=B145/B147					
149							
150							
151							

Minimizar Error cuatro escenarios

A	B	C	D	E	F
109 49,335		=S!(B109<=85125;1,0)	=S!(E109<=85125+85125;1,0)	=S!(I109<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L109<=85125+85125+85127+85128;1,0)
110 43,519		=S!(B110<=85125;1,0)	=S!(E110<=85125+85125;1,0)	=S!(I110<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L110<=85125+85125+85127+85128;1,0)
111 47,146		=S!(B111<=85125;1,0)	=S!(E111<=85125+85125;1,0)	=S!(I111<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L111<=85125+85125+85127+85128;1,0)
112 45,371		=S!(B112<=85125;1,0)	=S!(E112<=85125+85125;1,0)	=S!(I112<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L112<=85125+85125+85127+85128;1,0)
113 45,154		=S!(B113<=85125;1,0)	=S!(E113<=85125+85125;1,0)	=S!(I113<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L113<=85125+85125+85127+85128;1,0)
114 44,749		=S!(B114<=85125;1,0)	=S!(E114<=85125+85125;1,0)	=S!(I114<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L114<=85125+85125+85127+85128;1,0)
115 43,824		=S!(B115<=85125;1,0)	=S!(E115<=85125+85125;1,0)	=S!(I115<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L115<=85125+85125+85127+85128;1,0)
116 42,824		=S!(B116<=85125;1,0)	=S!(E116<=85125+85125;1,0)	=S!(I116<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L116<=85125+85125+85127+85128;1,0)
117 41,999		=S!(B117<=85125;1,0)	=S!(E117<=85125+85125;1,0)	=S!(I117<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L117<=85125+85125+85127+85128;1,0)
118 41,75		=S!(B118<=85125;1,0)	=S!(E118<=85125+85125;1,0)	=S!(I118<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L118<=85125+85125+85127+85128;1,0)
119 40,988		=S!(B119<=85125;1,0)	=S!(E119<=85125+85125;1,0)	=S!(I119<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L119<=85125+85125+85127+85128;1,0)
120 40,744		=S!(B120<=85125;1,0)	=S!(E120<=85125+85125;1,0)	=S!(I120<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L120<=85125+85125+85127+85128;1,0)
121 40		=S!(B121<=85125;1,0)	=S!(E121<=85125+85125;1,0)	=S!(I121<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L121<=85125+85125+85127+85128;1,0)
122 39,13		=S!(B122<=85125;1,0)	=S!(E122<=85125+85125;1,0)	=S!(I122<=85125+85125+85127;1,0)	=S!(L122<=85125+85125+85127+85128;1,0)
123	Suma	=S!(MAX(C5:C122))	=S!(MAX(D5:D122))	=S!(MAX(E5:E122))	=S!(MAX(F5:F122))
124	Variables		Probabilidades		
125	selector 1		=E125/BS129		Reindimiento
126	selector 2		=E126/BS129		Reindimiento
127	selector 3		=E127/BS129		Reindimiento
128	selector 4		=E128/BS129		Reindimiento
129	Suma		=S!(SUMA(D125:D128))		
130	restricciones		=B125+8126+8127+8128	=120	la suma
131			=B125	=0	los indic
132			=B126	=0	
133			=B127	=0	
134			=B128	=0	
135					Los indic
136					
137	Minimizar	probabilidad 1x error 1 + probabilidad 2x error 2 + probabilidad 3x error 3 + probabilidad 4x error 4			
138					
139		=D125*M124+D126*M124+D127*M124+D128*M124			
140					
141	La suma de los distintos	(p-fps)/pi			de cada escenario dividido por el número total de elementos es el error total
142					
143	Escenario 1	=M125			
144	Escenario 2	=M126			
145	Escenario 3	=M127			
146	Escenario 4	=M128			
147	Suma	=S!(MAX(C143:C146))			
148	Elementos	120			
149	Error total	=C147/C148			
150					

GAMS:

Escenario 1:

\$TITLE PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN

Sets

i modelox / modelox1*modelox3 / ;

PARAMETERS

DEM(i) piezas necesarias [u.]

 / Modelox1 200

 Modelox2 240

 Modelox3 500 /

PV(i) precio de venta del modelo i [€]

 / Modelox1 200

 Modelox2 150

 Modelox3 36 /

PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]

 / Modelox1 300

 Modelox2 210

 Modelox3 40 /

PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]

 / Modelox1 10

 Modelox2 10

 Modelox3 10 /

R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]

 / Modelox1 0.75

 Modelox2 0.5

 Modelox3 0.65 /

C(i) Coste unitario de fabricación [€]

 / Modelox1 100

 Modelox2 75

 Modelox3 18 / ;

SCALARS

CD coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /

VARIABLES

modeloxc(i) moldes a colar

z BENEFICIO

PVEN(i) piezas vendidas

PNS(i) piezas no servidas

PS(i) piezas almacenadas ;

POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i) ;

EQUATIONS

BENEFICIO función objetivo

restr1 limita el número de coladas a realizar

restr2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

restr3(i) equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas menos

rendimiento por numero de moldes igual a cero

restr4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;

BENEFICIO.. $z = e = \text{sum}(i, C(i)*\text{modeloxc}(i)) + \text{sum}(i, \text{pen}(i)*\text{PNS}(i))$
 $+ \text{sum}(i, \text{PS}(i)*\text{PA}(i)) - \text{sum}(i, \text{PV}(i)*\text{PVEN}(i));$

restr1.. $\text{sum}(i, \text{modeloxc}(i)) = e = \text{CD} ;$

restr2(i).. $R(i)*\text{modeloxc}(i) + \text{PNS}(i) = g = \text{DEM}(i);$

restr3(i).. $\text{PVEN}(i) + \text{PS}(i) - R(i)*\text{modeloxc}(i) = e = 0;$

restr4(i).. $\text{PVEN}(i) = l = \text{DEM}(i);$

Model Escenario /all/ ;

solve escenario using lp minimizing z ;

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 03/06/11 09:36:30 Page 1

PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA

Compilation

2

3 Sets

4 i modelox / modelox1*modelox3 / ;

5

6 PARAMETERS

7

8 DEM(i) piezas necesarias [u.]

9 / Modelox1 200

10 Modelox2 240

11 Modelox3 500 /

12

13 PV(i) precio de venta del modelo i [€]

14 / Modelox1 200

15 Modelox2 150

16 Modelox3 36 /

17

18 PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]

19 / Modelox1 300

20 Modelox2 210

21 Modelox3 40 /

```
22
23     PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]
24     / Modelox1 10
25     Modelox2 10
26     Modelox3 10 /
27
28     R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]
29     / Modelox1 0.75
30     Modelox2 0.5
31     Modelox3 0.65 /
32
33     C(i) Coste unitario de fabricación [€]
34     / Modelox1 100
35     Modelox2 75
36     Modelox3 18 / ;
37
38 SCALARS
39     L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /
40
41 VARIABLES
42     modeloxc(i) moldes a colar
43     z BENEFICIO
44     PVEN(i) piezas vendidas
45     PNS(i) piezas no servidas
46     PS(i) piezas almacenadas ;
47
48 POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i);
49
50 EQUATIONS
51     BENEFICIO función objetivo
52     restri1 limita el número de coladas a realizar
53     restri2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor n
    necesarias
54     restri3(i) equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almace
    nadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero
55     restri4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;
56
57 BENEFICIO.. z =e= sum(i, C(i)*modeloxc(i))+sum(i,pen(i)*PNS(i))
58     +sum(i,PS(i)*PA(i))-sum(i, PV(i)*PVEN(i));
59 restri1.. sum(i, modeloxc(i)) =e= L ;
60 restri2(i).. R(i)*modeloxc(i)+PNS(i) =g= DEM(i);
61 restri3(i).. PVEN(i)+PS(i)-R(i)*modeloxc(i) =e= 0;
62 restri4(i).. PVEN(i) =l= DEM(i);
63
64 Model Escenario /all/ ;
65 solve escenario using lp minimizing z ;
66
67
68
69
COMPILE TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010
```

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 03/06/11 09:36:30 Page 2
 PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA
 Equation Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- BENEFICIO =E= función objetivo

BENEFICIO.. - 100*modeloxc(modelox1) - 75*modeloxc(modelox2)

- 18*modeloxc(modelox3) + z + 200*PVEN(modelox1) + 150*PVEN(modelox2)

+ 36*PVEN(modelox3) - 300*PNS(modelox1) - 210*PNS(modelox2)

- 40*PNS(modelox3) - 10*PS(modelox1) - 10*PS(modelox2) - 10*PS(modelox3)

=E= 0 ; (LHS = 0)

---- restri1 =E= limita el número de coladas a realizar

restri1.. modeloxc(modelox1) + modeloxc(modelox2) + modeloxc(modelox3) =E= 1200
 ; (LHS = 0, INFES = 1200 ****)

---- restri2 =G= rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesari
 as

restri2(modelox1).. 0.75*modeloxc(modelox1) + PNS(modelox1) =G= 200 ;

(LHS = 0, INFES = 200 ****)

restri2(modelox2).. 0.5*modeloxc(modelox2) + PNS(modelox2) =G= 240 ;

(LHS = 0, INFES = 240 ****)

restri2(modelox3).. 0.65*modeloxc(modelox3) + PNS(modelox3) =G= 500 ;

(LHS = 0, INFES = 500 ****)

---- restri3 =E= equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas m
 enos rendimiento por numero de moldes igual a cero

restri3(modelox1).. - 0.75*modeloxc(modelox1) + PVEN(modelox1) + PS(modelox1)

=E= 0 ; (LHS = 0)

restri3(modelox2).. - 0.5*modeloxc(modelox2) + PVEN(modelox2) + PS(modelox2)

=E= 0 ; (LHS = 0)

restri3(modelox3).. - 0.65*modeloxc(modelox3) + PVEN(modelox3) + PS(modelox3)

=E= 0 ; (LHS = 0)

---- restri4 =L= piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

restri4(modelox1).. PVEN(modelox1) =L= 200 ; (LHS = 0)

restri4(modelox2).. PVEN(modelox2) =L= 240 ; (LHS = 0)

restri4(modelox3).. PVEN(modelox3) =L= 500 ; (LHS = 0)

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 03/06/11 09:36:30 Page 3

PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA

Column Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- modeloxc moldes a colar

modeloxc(modelox1)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)

-100 BENEFICIO

1 restri1

0.75 restri2(modelox1)

-0.75 restri3(modelox1)

modeloxc(modelox2)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-75 BENEFICIO
1 restri1
0.5 restri2(modelox2)
-0.5 restri3(modelox2)
modeloxc(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-18 BENEFICIO
1 restri1
0.65 restri2(modelox3)
-0.65 restri3(modelox3)
---- z BENEFICIO
z
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
1 BENEFICIO
---- PVEN piezas vendidas
PVEN(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
200 BENEFICIO
1 restri3(modelox1)
1 restri4(modelox1)
PVEN(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
150 BENEFICIO
1 restri3(modelox2)
1 restri4(modelox2)
PVEN(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
36 BENEFICIO
1 restri3(modelox3)
1 restri4(modelox3)
---- PNS piezas no servidas
PNS(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-300 BENEFICIO
1 restri2(modelox1)
PNS(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-210 BENEFICIO
1 restri2(modelox2)
PNS(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-40 BENEFICIO
1 restri2(modelox3)

---- PS piezas almacenadas
PS(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10 BENEFICIO
1 restri3(modelox1)
PS(modelox2)

```

      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10  BENEFICIO
      1  restri3(modelox2)
PS(modelox3)
      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10  BENEFICIO
      1  restri3(modelox3)

```

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 03/06/11 09:36:30 Page 4
 PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA
 Model Statistics SOLVE Escenario Using LP From line 65

MODEL STATISTICS

```

BLOCKS OF EQUATIONS      5  SINGLE EQUATIONS      11
BLOCKS OF VARIABLES      5  SINGLE VARIABLES      13
NON ZERO ELEMENTS       34

```

```

GENERATION TIME   =   0.016 SECONDS   4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010
EXECUTION TIME   =   0.016 SECONDS   4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

```

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 03/06/11 09:36:30 Page 5
 PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA
 Solution Report SOLVE Escenario Using LP From line 65

S O L V E S U M M A R Y

```

MODEL Escenario      OBJECTIVE z
TYPE LP              DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX        FROM LINE 65

```

```

**** SOLVER STATUS   1 Normal Completion
**** MODEL STATUS    1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE -7568.0000

```

```

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.170 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 2 2000000000

```

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
 Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

```

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective : -7568.000000

```

```

      LOWER  LEVEL  UPPER  MARGINAL
---- EQU BENEFICIO      .      .      .      1.000
---- EQU restri1  1200.000 1200.000 1200.000 -31.400

```

BENEFICIO función objetivo

restr1 limita el número de coladas a realizar

---- EQU restr2 rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	200.000	200.000	+INF	.
modelox2	240.000	240.000	+INF	62.800
modelox3	500.000	500.000	+INF	40.000

---- EQU restr3 equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	.	-175.200
modelox2	.	.	.	-150.000
modelox3	.	.	.	-36.000

---- EQU restr4 piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	-INF	200.000	200.000	-24.800
modelox2	-INF	240.000	240.000	.
modelox3	-INF	294.667	500.000	.

---- VAR modeloxc moldes a colar

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	266.667	+INF	.
modelox2	.	480.000	+INF	.
modelox3	.	453.333	+INF	.

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR z -INF -7568.000 +INF .

z BENEFICIO

---- VAR PVEN piezas vendidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	200.000	+INF	.
modelox2	.	240.000	+INF	.
modelox3	.	294.667	+INF	.

---- VAR PNS piezas no servidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	+INF	300.000
modelox2	.	.	+INF	147.200
modelox3	.	205.333	+INF	.

---- VAR PS piezas almacenadas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	+INF	185.200
modelox2	.	.	+INF	160.000
modelox3	.	.	+INF	46.000

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

**** FILE SUMMARY

Input C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario1.gms
Output C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario1.lst

Escenario 2

\$TITLE PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA ESCENARIO 2

Sets

i modelox / modelox1*modelox3 / ;

PARAMETERS

DEM(i) piezas necesarias [u.]

 / Modelox1 200

 Modelox2 240

 Modelox3 500 /

PV(i) precio de venta del modelo i [€]

 / Modelox1 200

 Modelox2 150

 Modelox3 36 /

PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]

 / Modelox1 300

 Modelox2 210

 Modelox3 40 /

PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]

 / Modelox1 10

 Modelox2 10

 Modelox3 10 /

R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]

/ Modelox1 0.825

Modelox2 0.55

Modelox3 0.715 /

C(i) Coste unitario de fabricación [€]

/ Modelox1 100

Modelox2 75

Modelox3 18 / ;

SCALARS

CD coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /

VARIABLES

modeloxc(i) moldes a colar

z BENEFICIO

PVEN(i) piezas vendidas

PNS(i) piezas no servidas

PS(i) piezas almacenadas ;

POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i) ;

EQUATIONS

BENEFICIO función objetivo

restr1 limita el número de coladas a realizar

restr2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

restr3(i) equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas menos

rendimiento por numero de moldes igual a cero

restr4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;

BENEFICIO.. $z = e = \text{sum}(i, C(i)*\text{modeloxc}(i)) + \text{sum}(i, \text{pen}(i)*\text{PNS}(i))$

$+ \text{sum}(i, \text{PS}(i)*\text{PA}(i)) - \text{sum}(i, \text{PV}(i)*\text{PVEN}(i));$

restr1.. $\text{sum}(i, \text{modeloxc}(i)) = e = \text{CD} ;$

restr2(i).. $R(i)*\text{modeloxc}(i) + \text{PNS}(i) = g = \text{DEM}(i);$

restr3(i).. $\text{PVEN}(i) + \text{PS}(i) - R(i)*\text{modeloxc}(i) = e = 0;$

restr4(i).. $\text{PVEN}(i) = l = \text{DEM}(i);$

Model Escenario /all/ ;

solve escenario using lp minimizing z ;

PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 2

Compilation

2
3 Sets
4 i modelox / modelox1*modelox3 / ;
5
6 PARAMETERS
7
8 DEM(i) piezas necesarias [u.]
9 / Modelox1 200
10 Modelox2 240
11 Modelox3 500 /
12
13 PV(i) precio de venta del modelo i [€]
14 / Modelox1 200
15 Modelox2 150
16 Modelox3 36 /
17
18 PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]
19 / Modelox1 300
20 Modelox2 210
21 Modelox3 40 /
22
23 PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]
24 / Modelox1 10
25 Modelox2 10
26 Modelox3 10 /
27
28 R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]
29 / Modelox1 0.825
30 Modelox2 0.55
31 Modelox3 0.715 /
32
33 C(i) Coste unitario de fabricación [€]
34 / Modelox1 100
35 Modelox2 75
36 Modelox3 18 / ;
37
38 SCALARS
39 L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /
40
41 VARIABLES
42 modeloxc(i) moldes a colar
43 z BENEFICIO
44 PVEN(i) piezas vendidas
45 PNS(i) piezas no servidas
46 PS(i) piezas almacenadas ;
47
48 POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i);
49
50 EQUATIONS
51 BENEFICIO función objetivo
52 restri1 limita el número de coladas a realizar
53 restri2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias
54 restri3(i) equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos rendimiento por
numero de moldes igual a cero
55 restri4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;
56

```
57 BENEFICIO.. z =e= sum(i, C(i)*modeloxc(i))+sum(i,pen(i)*PNS(i))
58 +sum(i,PS(i)*PA(i))-sum(i, PV(i)*PVEN(i));
59 restri1.. sum(i, modeloxc(i)) =e= L ;
60 restri2(i).. R(i)*modeloxc(i)+PNS(i) =g= DEM(i);
61 restri3(i).. PVEN(i)+PS(i)-R(i)*modeloxc(i) =e= 0;
62 restri4(i).. PVEN(i) =l= DEM(i);
63
64 Model Escenario /all/ ;
65 solve escenario using lp minimizing z ;
66
67
68
69
```

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010
GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:08:31 Page 2
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 2
Equation Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- BENEFICIO =E= función objetivo

```
BENEFICIO.. - 100*modeloxc(modelox1) - 75*modeloxc(modelox2)
- 18*modeloxc(modelox3) + z + 200*PVEN(modelox1) + 150*PVEN(modelox2)
+ 36*PVEN(modelox3) - 300*PNS(modelox1) - 210*PNS(modelox2)
- 40*PNS(modelox3) - 10*PS(modelox1) - 10*PS(modelox2) - 10*PS(modelox3)
=E= 0 ; (LHS = 0)
```

---- restri1 =E= limita el número de coladas a realizar

```
restri1.. modeloxc(modelox1) + modeloxc(modelox2) + modeloxc(modelox3) =E= 1200
; (LHS = 0, INFES = 1200 *****)
```

---- restri2 =G= rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

```
restri2(modelox1).. 0.825*modeloxc(modelox1) + PNS(modelox1) =G= 200 ;
(LHS = 0, INFES = 200 *****)
```

```
restri2(modelox2).. 0.55*modeloxc(modelox2) + PNS(modelox2) =G= 240 ;
(LHS = 0, INFES = 240 *****)
```

```
restri2(modelox3).. 0.715*modeloxc(modelox3) + PNS(modelox3) =G= 500 ;
(LHS = 0, INFES = 500 *****)
```

---- restri3 =E= equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero

```
restri3(modelox1).. - 0.825*modeloxc(modelox1) + PVEN(modelox1) + PS(modelox1)
=E= 0 ; (LHS = 0)
```

restri3(modelox2).. - 0.55*modeloxc(modelox2) + PVEN(modelox2) + PS(modelox2)
=E= 0 ; (LHS = 0)

restri3(modelox3).. - 0.715*modeloxc(modelox3) + PVEN(modelox3) + PS(modelox3)
=E= 0 ; (LHS = 0)

---- restri4 =L= piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

restri4(modelox1).. PVEN(modelox1) =L= 200 ; (LHS = 0)

restri4(modelox2).. PVEN(modelox2) =L= 240 ; (LHS = 0)

restri4(modelox3).. PVEN(modelox3) =L= 500 ; (LHS = 0)

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:08:31 Page 3
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 2
Column Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- modeloxc moldes a colar

modeloxc(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-100 BENEFICIO
1 restri1
0.825 restri2(modelox1)
-0.825 restri3(modelox1)

modeloxc(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-75 BENEFICIO
1 restri1
0.55 restri2(modelox2)
-0.55 restri3(modelox2)

modeloxc(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-18 BENEFICIO
1 restri1
0.715 restri2(modelox3)
-0.715 restri3(modelox3)

---- z BENEFICIO

z
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
1 BENEFICIO

---- PVEN piezas vendidas

PVEN(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
200 BENEFICIO
1 restri3(modelox1)
1 restri4(modelox1)

PVEN(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
150 BENEFICIO
1 restri3(modelox2)
1 restri4(modelox2)

PVEN(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
36 BENEFICIO
1 restri3(modelox3)
1 restri4(modelox3)

---- PNS piezas no servidas

PNS(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-300 BENEFICIO
1 restri2(modelox1)

PNS(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-210 BENEFICIO
1 restri2(modelox2)

PNS(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-40 BENEFICIO
1 restri2(modelox3)

---- PS piezas almacenadas

PS(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10 BENEFICIO
1 restri3(modelox1)

PS(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10 BENEFICIO
1 restri3(modelox2)

PS(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-10 BENEFICIO
1 restri3(modelox3)

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:08:31 Page 4
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 2
Model Statistics SOLVE Escenario Using LP From line 65

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	5	SINGLE EQUATIONS	11
BLOCKS OF VARIABLES	5	SINGLE VARIABLES	13
NON ZERO ELEMENTS	34		

GENERATION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010
GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:08:31 Page 5
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 2
Solution Report SOLVE Escenario Using LP From line 65

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	Escenario	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	65

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
**** MODEL STATUS 1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE -17971.1515

RESOURCE USAGE, LIMIT	0.007	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	3	2000000000

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective : -17971.151515

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU BENEFICIO	.	.	.	1.000
---- EQU restril	1200.000	1200.000	1200.000	-36.340

BENEFICIO función objetivo
restril limita el número de coladas a realizar

---- EQU restril2 rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesaria
s

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1	200.000	200.000	+INF	.
modelox2	240.000	240.000	+INF	52.436
modelox3	500.000	500.000	+INF	40.000

---- EQU restril3 equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas me

nos rendimiento por numero de moldes igual a cero

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	.	-165.261
modelox2	.	.	.	-150.000
modelox3	.	.	.	-36.000

---- EQU restrí4 piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	-INF	200.000	200.000	-34.739
modelox2	-INF	240.000	240.000	.
modelox3	-INF	372.667	500.000	.

---- VAR modeloxc moldes a colar

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	242.424	+INF	.
modelox2	.	436.364	+INF	.
modelox3	.	521.212	+INF	.

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR z -INF -1.797E+4 +INF .

z BENEFICIO

---- VAR PVEN piezas vendidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	200.000	+INF	.
modelox2	.	240.000	+INF	.
modelox3	.	372.667	+INF	.

---- VAR PNS piezas no servidas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	+INF	300.000
modelox2	.	.	+INF	157.564
modelox3	.	127.333	+INF	.

---- VAR PS piezas almacenadas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1	.	.	+INF	175.261
modelox2	.	.	+INF	160.000
modelox3	.	.	+INF	46.000

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

**** FILE SUMMARY

Input C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario2.gms
Output C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario2.lst

Escenario 3:

\$TITLE PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 3

Sets

i modelox / modelox1*modelox3 / ;

PARAMETERS

DEM(i) piezas necesarias [u.]

/ Modelox1 200
Modelox2 240
Modelox3 500 /

PV(i) precio de venta del modelo i [€]

/ Modelox1 200
Modelox2 150
Modelox3 36 /

PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]

/ Modelox1 300
Modelox2 210
Modelox3 40 /

PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]

/ Modelox1 10
Modelox2 10
Modelox3 10 /

R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]

/ Modelox1 0.675
Modelox2 0.45
Modelox3 0.585 /

C(i) Coste unitario de fabricación [€]

/ Modelox1 100
Modelox2 75
Modelox3 18 / ;

SCALARS

CD coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /

VARIABLES

modeloxc(i) moldes a colar
z BENEFICIO
PVEN(i) piezas vendidas
PNS(i) piezas no servidas
PS(i) piezas almacenadas ;

POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i) ;

EQUATIONS

BENEFICIO función objetivo
restr1 limita el número de coladas a realizar
restr2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias
restr3(i) equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almacenadas menos
rendimiento por numero de moldes igual a cero
restr4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;

BENEFICIO.. z =e= sum(i, C(i)*modeloxc(i))+sum(i,pen(i)*PNS(i))
+sum(i,PS(i)*PA(i))-sum(i, PV(i)*PVEN(i));

restr1.. sum(i, modeloxc(i)) =e= CD ;

restr2(i).. R(i)*modeloxc(i)+PNS(i) =g= DEM(i);

restr3(i).. PVEN(i)+PS(i)-R(i)*modeloxc(i) =e= 0;

restr4(i).. PVEN(i) =l= DEM(i);

Model Escenario /all/ ;

solve escenario using lp minimizing z ;

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:17:26 Page 1
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 3
C o m p i l a t i o n

```
2
3 Sets
4   i modelox          / modelox1*modelox3 / ;
5
6 PARAMETERS
7
8   DEM(i) piezas necesarias [u.]
9   / Modelox1 200
10  Modelox2 240
```

11 Modelox3 500 /
12
13 PV(i) precio de venta del modelo i [€]
14 / Modelox1 200
15 Modelox2 150
16 Modelox3 36 /
17
18 PEN(i) penalización no servicio modelo i [€]
19 / Modelox1 300
20 Modelox2 210
21 Modelox3 40 /
22
23 PA(i) precio de almacenaje modelo i [€]
24 / Modelox1 10
25 Modelox2 10
26 Modelox3 10 /
27
28 R(i) rendimiento de cada pieza i [p.u.]
29 / Modelox1 0.675
30 Modelox2 0.45
31 Modelox3 0.585 /
32
33 C(i) Coste unitario de fabricación [€]
34 / Modelox1 100
35 Modelox2 75
36 Modelox3 18 / ;
37
38 SCALARS
39 L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /
40
41 VARIABLES
42 modeloxc(i) moldes a colar
43 z BENEFICIO
44 PVEN(i) piezas vendidas
45 PNS(i) piezas no servidas
46 PS(i) piezas almacenadas ;
47
48 POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),pven(i),pns(i),ps(i);
49
50 EQUATIONS
51 BENEFICIO función objetivo
52 restri1 limita el número de coladas a realizar
53 restri2(i) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor n
necesarias
54 restri3(i) equilibrio de piezas piezas vendidas más piezas almace
nadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero
55 restri4(i) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias ;
56
57 BENEFICIO.. z =e= sum(i, C(i)*modeloxc(i))+sum(i,pen(i)*PNS(i))
+sum(i,PS(i)*PA(i))-sum(i, PV(i)*PVEN(i));
58
59 restri1.. sum(i, modeloxc(i)) =e= L ;
60 restri2(i).. R(i)*modeloxc(i)+PNS(i) =g= DEM(i);
61 restri3(i).. PVEN(i)+PS(i)-R(i)*modeloxc(i) =e= 0;
62 restri4(i).. PVEN(i) =l= DEM(i);
63
64 Model Escenario /all/ ;
65 solve escenario using lp minimizing z ;

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:17:26 Page 2
PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA ESCENARIO 3
Equation Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- BENEFICIO =E= función objetivo

$$\begin{aligned} \text{BENEFICIO..} & - 100*\text{modeloxc}(\text{modelox1}) - 75*\text{modeloxc}(\text{modelox2}) \\ & - 18*\text{modeloxc}(\text{modelox3}) + z + 200*\text{PVEN}(\text{modelox1}) + 150*\text{PVEN}(\text{modelox2}) \\ & + 36*\text{PVEN}(\text{modelox3}) - 300*\text{PNS}(\text{modelox1}) - 210*\text{PNS}(\text{modelox2}) \\ & - 40*\text{PNS}(\text{modelox3}) - 10*\text{PS}(\text{modelox1}) - 10*\text{PS}(\text{modelox2}) - 10*\text{PS}(\text{modelox3}) \\ & =E= 0 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- restri1 =E= limita el número de coladas a realizar

$$\begin{aligned} \text{restri1..} & \text{modeloxc}(\text{modelox1}) + \text{modeloxc}(\text{modelox2}) + \text{modeloxc}(\text{modelox3}) =E= 1200 \\ & ; (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 1200 \text{ ****}) \end{aligned}$$

---- restri2 =G= rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

$$\begin{aligned} \text{restri2}(\text{modelox1}).. & 0.675*\text{modeloxc}(\text{modelox1}) + \text{PNS}(\text{modelox1}) =G= 200 ; \\ & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 200 \text{ ****}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{restri2}(\text{modelox2}).. & 0.45*\text{modeloxc}(\text{modelox2}) + \text{PNS}(\text{modelox2}) =G= 240 ; \\ & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 240 \text{ ****}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{restri2}(\text{modelox3}).. & 0.585*\text{modeloxc}(\text{modelox3}) + \text{PNS}(\text{modelox3}) =G= 500 ; \\ & (\text{LHS} = 0, \text{INFES} = 500 \text{ ****}) \end{aligned}$$

---- restri3 =E= equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero

$$\begin{aligned} \text{restri3}(\text{modelox1}).. & - 0.675*\text{modeloxc}(\text{modelox1}) + \text{PVEN}(\text{modelox1}) + \text{PS}(\text{modelox1}) \\ & =E= 0 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{restri3}(\text{modelox2}).. & - 0.45*\text{modeloxc}(\text{modelox2}) + \text{PVEN}(\text{modelox2}) + \text{PS}(\text{modelox2}) \\ & =E= 0 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{restri3}(\text{modelox3}).. & - 0.585*\text{modeloxc}(\text{modelox3}) + \text{PVEN}(\text{modelox3}) + \text{PS}(\text{modelox3}) \\ & =E= 0 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- restri4 =L= piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

$$\text{restri4}(\text{modelox1}).. \text{PVEN}(\text{modelox1}) =L= 200 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{restri4}(\text{modelox2}).. \text{PVEN}(\text{modelox2}) =L= 240 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{restri4}(\text{modelox3}).. \text{PVEN}(\text{modelox3}) =L= 500 ; (\text{LHS} = 0)$$

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:17:26 Page 3

PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA ESCENARIO 3

Column Listing SOLVE Escenario Using LP From line 65

---- modeloxc moldes a colar

modeloxc(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-100 BENEFICIO
1 restri1
0.675 restri2(modelox1)
-0.675 restri3(modelox1)

modeloxc(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-75 BENEFICIO
1 restri1
0.45 restri2(modelox2)
-0.45 restri3(modelox2)

modeloxc(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-18 BENEFICIO
1 restri1
0.585 restri2(modelox3)
-0.585 restri3(modelox3)

---- z BENEFICIO

z
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
1 BENEFICIO

---- PVEN piezas vendidas

PVEN(modelox1)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
200 BENEFICIO
1 restri3(modelox1)
1 restri4(modelox1)

PVEN(modelox2)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
150 BENEFICIO
1 restri3(modelox2)
1 restri4(modelox2)

PVEN(modelox3)
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
36 BENEFICIO
1 restri3(modelox3)
1 restri4(modelox3)

---- PNS piezas no servidas

PNS(modelox1)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -300 BENEFICIO
 1 restri2(modelox1)

PNS(modelox2)
 (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -210 BENEFICIO
 1 restri2(modelox2)

PNS(modelox3)
 (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -40 BENEFICIO
 1 restri2(modelox3)

---- PS piezas almacenadas

PS(modelox1)
 (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -10 BENEFICIO
 1 restri3(modelox1)

PS(modelox2)
 (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -10 BENEFICIO
 1 restri3(modelox2)

PS(modelox3)
 (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
 -10 BENEFICIO
 1 restri3(modelox3)

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:17:26 Page 4
 PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA ESCENARIO 3
 Model Statistics SOLVE Escenario Using LP From line 65

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	5	SINGLE EQUATIONS	11
BLOCKS OF VARIABLES	5	SINGLE VARIABLES	13
NON ZERO ELEMENTS	34		

GENERATION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 09/05/10 18:17:26 Page 5
 PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA ESCENARIO 3
 Solution Report SOLVE Escenario Using LP From line 65

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	Escenario	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MINIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 65

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
 **** MODEL STATUS 1 Optimal
 **** OBJECTIVE VALUE 3829.6296

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.006 1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT 4 2000000000

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
 Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

LP status(1): optimal
 Optimal solution found.
 Objective : 3829.629630

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU BENEFICIO . . . 1.000
 ---- EQU restril 1200.000 1200.000 1200.000 -26.460

BENEFICIO función objetivo
 restril limita el número de coladas a realizar

---- EQU restril2 rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesaria
 s

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1 200.000 200.000 +INF .
 modelox2 240.000 240.000 +INF 210.000
 modelox3 500.000 500.000 +INF 40.000

---- EQU restril3 equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas me
 nos rendimiento por numero de moldes igual a cero

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1 . . . -187.348
 modelox2 . . . -15.467
 modelox3 . . . -36.000

---- EQU restril4 piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1 -INF 200.000 200.000 -12.652
 modelox2 -INF 240.000 240.000 -134.533
 modelox3 -INF 216.667 500.000 .

---- VAR modeloxc moldes a colar

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1 . 296.296 +INF .
 modelox2 . 533.333 +INF .
 modelox3 . 370.370 +INF .

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR z -INF 3829.630 +INF .

z BENEFICIO

---- VAR PVEN piezas vendidas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1	.	200.000	+INF	.
modelox2	.	240.000	+INF	.
modelox3	.	216.667	+INF	.

---- VAR PNS piezas no servidas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1	.	.	+INF	300.000
modelox2	.	.	+INF	.
modelox3	.	283.333	+INF	.

---- VAR PS piezas almacenadas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1	.	.	+INF	197.348
modelox2	.	.	+INF	25.467
modelox3	.	.	+INF	46.000

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 2 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

**** FILE SUMMARY

Input C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario3.gms
Output C:\Users\BOLI\Documents\gamsdir\projdir\Escenario3.lst

Caso dos: Estocástico completo: Probabilidad y rendimientos distintos en cada escenario

\$TITLE PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA

Sets

i modelox / modelox1*modelox3 /
s escenarios rendim / esc1*esc3/ ;

PARAMETERS

PV(i) precio de venta del modelo i [€]

/ Modelox1 200
Modelox2 150
Modelox3 36 /

P(i) penalización no servicio modelo i [€]

/ Modelox1 300
Modelox2 210
Modelox3 40 /

A(i) coste de almacenamiento modelo i [€]

/ Modelox1 10
Modelox2 10
Modelox3 10 /

C(i) Coste de fabricación del modelo i [€]

/ Modelox1 100
Modelox2 75
Modelox3 18 / ;

TABLE PR(i,s) Probabilidad por pieza [p.u.]

	esc1	esc2	esc3
Modelox1	0.6	0.1	0.3

Modelox2	0.5	0.2	0.3
Modelox3	0.7	0.1	0.2

TABLE R(i,s) rendimiento por pieza y escenario [p.u.]

	esc1	esc2	esc3
Modelox1	0.75	0.30	0.675
Modelox2	0.5	0.55	0.45
Modelox3	0.65	0.715	0.585

TABLE DEM(i,s) piezas necesarias [u.]

	esc1	esc2	esc3
Modelox1	200	200	200
Modelox2	240	240	240
Modelox3	500	500	500

SCALARS

L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /

VARIABLES

modeloxc(i) moldes a colar

z BENEFICIO

XV(i,s) piezas vendidas

XN(i,s) piezas no servidas

XA(i,s) piezas almacenadas

XF(i,s) piezas fabricadas ;

POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),xv(i,s),xn(i,s),xa(i,s),xf(i,s) ;

EQUATIONS

BENEFICIO función objetivo

restr1 limita el número de coladas a realizar

restr2(i,s) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

restr3(i,s) equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos
rendimiento por numero de moldes igual a cero

restr4(i,s) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

piezasf (i,s) piezas fabricadas en el taller P1 ;

BENEFICIO.. $z = e = \sum(i, C(i)*modeloxc(i)) + \sum((s,i), PR(i,s)*(p(i)*XN(i,s) + a(i)*XA(i,s) - PV(i)*XV(i,s)))$;

restr1.. $\sum(i, modeloxc(i)) = e = L$;

restr2(i,s).. $R(i,s)*modeloxc(i) + XN(i,s) = g = DEM(i,s)$;

restr3(i,s).. $XV(i,s) + XA(i,s) - R(i,s)*modeloxc(i) = e = 0$;

restr4(i,s).. $XV(i,s) = l = DEM(i,s)$;

piezasf(i,s).. $XF(i,s) = e = R(i,s)*modeloxc(i)$;

Model Escenario /all/ ;

solve escenario using lp minimizing z ;

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.2 x86/MS Windows 09/08/10 11:36:51 Page 1

PLANIFICACION PRODUCCION ESTOCASTICA

Compilation

2

3 Sets

4 i modelox / modelox1*modelox3 /

5 s escenarios rendim / esc1*esc3/ ;

6

7 PARAMETERS

8

9

10 PV(i) precio de venta del modelo i [€]

11 / Modelox1 200

12 Modelox2 150

13 Modelox3 36 /

14

15 P(i) penalización no servicio modelo i [€]

16 / Modelox1 300

17 Modelox2 210

18 Modelox3 40 /

19

20 A(i) coste de almacenamiento modelo i [€]

21 / Modelox1 10

22 Modelox2 10

23 Modelox3 10 /

24

25 C(i) Coste de fabricación del modelo i [€]

26 / Modelox1 100

27 Modelox2 75

28 Modelox3 18 / ;

29

30 TABLE PR(i,s) Probabilidad por pieza [p.u.]

31 esc1 esc2 esc3

32 Modelox1 0.6 0.1 0.3

33 Modelox2 0.5 0.2 0.3

34 Modelox3 0.7 0.1 0.2

35

36 TABLE R(i,s) rendimiento por pieza y escenario [p.u.]

37 esc1 esc2 esc3

38 Modelox1 0.75 0.30 0.675

39 Modelox2 0.5 0.55 0.45

40 Modelox3 0.65 0.715 0.585

41

42 TABLE DEM(i,s) piezas necesarias [u.]

43 esc1 esc2 esc3

44 Modelox1 200 200 200

45 Modelox2 240 240 240

46 Modelox3 500 500 500

47
48 SCALARS
49 L coladas disponibles en el periodo considerado [u] / 1200 /
50
51 VARIABLES
52 modeloxc(i) moldes a colar
53 z BENEFICIO
54 XV(i,s) piezas vendidas
55 XN(i,s) piezas no servidas
56 XA(i,s) piezas almacenadas
57 XF(i,s) piezas fabricadas ;
58
59 POSITIVE VARIABLES modeloxc(i),xv(i,s),xn(i,s),xa(i,s),xf(i,s) ;
60
61 EQUATIONS
62 BENEFICIO función objetivo
63 restri1 limita el número de coladas a realizar
64 restri2(i,s) rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor
necesarias
65 restri3(i,s) equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas
menos rendimiento por numero de moldes igual a cero
66 restri4(i,s) piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias
67 piezasf (i,s) piezas fabricadas en el taller P1 ;
68
69 BENEFICIO.. $z = e = \sum(i, C(i)*modeloxc(i)) + \sum((s,i), PR(i,s)*(p(i)*XN(i,s) + a(i)*XA(i,s) - PV(i)*XV(i,s)))$;
70 restri1.. $\sum(i, modeloxc(i)) = e = L$;
71 restri2(i,s).. $R(i,s)*modeloxc(i) + XN(i,s) = g = DEM(i,s)$;
72 restri3(i,s).. $XV(i,s) + XA(i,s) - R(i,s)*modeloxc(i) = e = 0$;
73 restri4(i,s).. $XV(i,s) = l = DEM(i,s)$;
74 piezasf(i,s).. $XF(i,s) = e = R(i,s)*modeloxc(i)$;
75
76 Model Escenario /all/ ;
77 solve escenario using lp minimizing z ;
78
79
80
81

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Aug 17, 2010

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.2 x86/MS Windows 28/08/10 11:36:51 Page 2

PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA

Equation Listing SOLVE Escenario Using LP From line 77

---- BENEFICIO =E= función objetivo

BENEFICIO.. - 100*modeloxc(modelox1) - 75*modeloxc(modelox2)
- 18*modeloxc(modelox3) + z + 120*XV(modelox1,esc1) + 20*XV(modelox1,esc2)
+ 60*XV(modelox1,esc3) + 75*XV(modelox2,esc1) + 30*XV(modelox2,esc2)
+ 45*XV(modelox2,esc3) + 25.2*XV(modelox3,esc1) + 3.6*XV(modelox3,esc2)
+ 7.2*XV(modelox3,esc3) - 180*XN(modelox1,esc1) - 30*XN(modelox1,esc2)
- 90*XN(modelox1,esc3) - 105*XN(modelox2,esc1) - 42*XN(modelox2,esc2)
- 63*XN(modelox2,esc3) - 28*XN(modelox3,esc1) - 4*XN(modelox3,esc2)
- 8*XN(modelox3,esc3) - 6*XA(modelox1,esc1) - XA(modelox1,esc2)
- 3*XA(modelox1,esc3) - 5*XA(modelox2,esc1) - 2*XA(modelox2,esc2)
- 3*XA(modelox2,esc3) - 7*XA(modelox3,esc1) - XA(modelox3,esc2)
- 2*XA(modelox3,esc3) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- restri1 =E= limita el número de coladas a realizar

restri1.. modeloxc(modelox1) + modeloxc(modelox2) + modeloxc(modelox3) =E= 1200
; (LHS = 0, INFES = 1200 ****)

---- restri2 =G= rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

restri2(modelox1,esc1).. 0.75*modeloxc(modelox1) + XN(modelox1,esc1) =G= 200 ;
(LHS = 0, INFES = 200 ****)

restri2(modelox1,esc2).. 0.3*modeloxc(modelox1) + XN(modelox1,esc2) =G= 200 ;
(LHS = 0, INFES = 200 ****)

restri2(modelox1,esc3).. 0.675*modeloxc(modelox1) + XN(modelox1,esc3) =G= 200 ;
(LHS = 0, INFES = 200 ****)

REMAINING 6 ENTRIES SKIPPED

---- restri3 =E= equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos rendimiento por numero de moldes igual a cero

restri3(modelox1,esc1).. - 0.75*modeloxc(modelox1) + XV(modelox1,esc1)
+ XA(modelox1,esc1) =E= 0 ; (LHS = 0)

restri3(modelox1,esc2).. - 0.3*modeloxc(modelox1) + XV(modelox1,esc2)
+ XA(modelox1,esc2) =E= 0 ; (LHS = 0)

restri3(modelox1,esc3).. - 0.675*modeloxc(modelox1) + XV(modelox1,esc3)
+ XA(modelox1,esc3) =E= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 6 ENTRIES SKIPPED

---- restri4 =L= piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

restri4(modelox1,esc1).. XV(modelox1,esc1) =L= 200 ; (LHS = 0)

restri4(modelox1,esc2).. XV(modelox1,esc2) =L= 200 ; (LHS = 0)

restri4(modelox1,esc3).. XV(modelox1,esc3) =L= 200 ; (LHS = 0)

REMAINING 6 ENTRIES SKIPPED

---- piezasf =E= piezas fabricadas en el taller P1

piezasf(modelox1,esc1).. - 0.75*modeloxc(modelox1) + XF(modelox1,esc1) =E= 0 ;
(LHS = 0)

piezasf(modelox1,esc2).. - 0.3*modeloxc(modelox1) + XF(modelox1,esc2) =E= 0 ;
(LHS = 0)

piezasf(modelox1,esc3).. - 0.675*modeloxc(modelox1) + XF(modelox1,esc3) =E= 0 ;
(LHS = 0)

REMAINING 6 ENTRIES SKIPPED

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	Escenario	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	77

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 4295.9467

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.015 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 17 2000000000

IBM ILOG CPLEX Aug 18, 2010 23.5.2 WIN 19143.19383 VS8 x86/MS Windows

Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

LP status(1): optimal

Optimal solution found.

Objective : 4295.946667

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU BENEFICIO . . . 1.000

---- EQU restril 1200.000 1200.000 1200.000 -30.906

BENEFICIO función objetivo

restril limita el número de coladas a realizar

---- EQU restril2 rendimiento por piezas coladas más no servidas mayor necesarias

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1.esc1 200.000 200.000 +INF 25.541

modelox1.esc2 200.000 200.000 +INF 30.000

modelox1.esc3 200.000 200.000 +INF 90.000

modelox2.esc1 240.000 240.000 +INF 105.000

modelox2.esc2 240.000 264.000 +INF .

modelox2.esc3 240.000 240.000 +INF 63.000

modelox3.esc1 500.000 500.000 +INF 28.000

modelox3.esc2 500.000 500.000 +INF 4.000

modelox3.esc3 500.000 500.000 +INF 8.000

---- EQU restrí3 equilibrio de piezas vendidas más piezas almacenadas menos
 rendimiento por numero de moldes igual a cero

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	.	.	6.000
modelox1.esc2	.	.	.	-20.000
modelox1.esc3	.	.	.	-60.000
modelox2.esc1	.	.	.	-11.812
modelox2.esc2	.	.	.	2.000
modelox2.esc3	.	.	.	-45.000
modelox3.esc1	.	.	.	-25.200
modelox3.esc2	.	.	.	-3.600
modelox3.esc3	.	.	.	-7.200

---- EQU restrí4 piezas vendidas menor o igual que pieza necesarias

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	-INF	200.000	200.000	-126.000
modelox1.esc2	-INF	80.000	200.000	.
modelox1.esc3	-INF	180.000	200.000	.
modelox2.esc1	-INF	240.000	240.000	-63.188
modelox2.esc2	-INF	240.000	240.000	-32.000
modelox2.esc3	-INF	216.000	240.000	.
modelox3.esc1	-INF	294.667	500.000	.
modelox3.esc2	-INF	324.133	500.000	.
modelox3.esc3	-INF	265.200	500.000	.

---- EQU piezasf piezas fabricadas en el taller P1

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1.esc1	.	.	.	EPS
modelox1.esc2	.	.	.	EPS
modelox1.esc3	.	.	.	EPS
modelox2.esc1	.	.	.	EPS
modelox2.esc2	.	.	.	EPS
modelox2.esc3	.	.	.	EPS
modelox3.esc1	.	.	.	EPS
modelox3.esc2	.	.	.	EPS
modelox3.esc3	.	.	.	EPS

---- VAR modeloxc moldes a colar

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1	.	266.667	+INF	.
modelox2	.	480.000	+INF	.
modelox3	.	453.333	+INF	.

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR z -INF 4295.947 +INF .

z BENEFICIO

---- VAR XV piezas vendidas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1.esc1	.	200.000	+INF	.
modelox1.esc2	.	80.000	+INF	.

modelox1.esc3	.	180.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc2	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	216.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	294.667	+INF	.
modelox3.esc2	.	324.133	+INF	.
modelox3.esc3	.	265.200	+INF	.

---- VAR XN piezas no servidas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1.esc1	.	.	+INF	154.459
modelox1.esc2	.	120.000	+INF	.
modelox1.esc3	.	20.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	.	+INF	.
modelox2.esc2	.	.	+INF	42.000
modelox2.esc3	.	24.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	205.333	+INF	.
modelox3.esc2	.	175.867	+INF	.
modelox3.esc3	.	234.800	+INF	.

---- VAR XA piezas almacenadas

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

modelox1.esc1	.	.	+INF	.
modelox1.esc2	.	.	+INF	21.000
modelox1.esc3	.	.	+INF	63.000
modelox2.esc1	.	.	+INF	16.812
modelox2.esc2	.	24.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	.	+INF	48.000

modelox3.esc1	.	.	+INF	32.200
modelox3.esc2	.	.	+INF	4.600
modelox3.esc3	.	.	+INF	9.200

---- VAR XF piezas fabricadas

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
modelox1.esc1	.	200.000	+INF	.
modelox1.esc2	.	80.000	+INF	.
modelox1.esc3	.	180.000	+INF	.
modelox2.esc1	.	240.000	+INF	.
modelox2.esc2	.	264.000	+INF	.
modelox2.esc3	.	216.000	+INF	.
modelox3.esc1	.	294.667	+INF	.
modelox3.esc2	.	324.133	+INF	.
modelox3.esc3	.	265.200	+INF	.

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 2 Mb WIN235-235 Aug 17, 2010

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY

Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000

