

TESIS DOCTORAL

AÑO 2022-2023

**Sistema de toma de decisiones basado en análisis  
multicriterio y metodología Lean para optimizar costes de  
calidad en fabricación**

**LORENA PÉREZ FERNÁNDEZ**

Ingeniera Industrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**DIRECTOR D. Miguel Ángel Sebastián Pérez**

**DIRECTORA D<sup>a</sup>. Cristina González Gaya**



The logo for UNED, consisting of the letters 'UNED' in a bold, white, sans-serif font on a dark green square background.The logo for EIDUNED, consisting of the text 'EIDUNED' followed by 'Escuela Internacional de Doctorado' in a smaller, white, sans-serif font, all on a dark green square background.

*A mi hijo, Dante y mi marido, Ismael,*

*a mis padres, Yolanda y Enrique*

*y a mi hermano, Néstor.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi familia, en concreto a mi hijo Dante que me ha dado la fuerza para terminar esta tesis, aunque también ha hecho que todo en mi vida pase a un segundo plano, excepto él. A mis padres, por haberme inculcado desde niña la importancia del esfuerzo, por haberme transmitido la valía del sacrificio y por haber alimentado mi autoestima para hacerme creer que era capaz de todo lo que me propusiese. Gracias por toda vuestra generosidad, se que muchas veces habéis dejado a un lado vuestros sueños, para que los míos se hiciesen realidad. A mi hermano que, siempre ha sido uno de los pilares de mi vida, con tu bondad aprendo cada día. A mis abuelos Pepe y Anisia, habeis sido una fuente de amor y buenos consejos y siempre habéis confiado y cuidado de mi. Y por último, gracias a mi marido, Ismael, por tu apoyo incondicional, por tu comprensión, por confiar en mi, sea cual sea el proyecto, por acompañarme siempre en cada momento de la vida. Sin vosotros no hubiese sido posible llegar hasta aquí, así que sois parte importante y activa de esta Tesis.*

*También quiero expresar mi agradecimiento a mis directores de esta Tesis Doctoral, D. Miguel Ángel Sebastián Pérez y Dña. Cristina González Gaya, por su inestimable ayuda en el desarrollo de esta investigación, por la orientación para conseguir superar de forma eficiente cada uno de los hitos y completar este arduo trabajo.*



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA**

**Tesis Doctoral**

**TÍTULO: Sistema de toma de decisiones basado en análisis multicriterio y metodología Lean para optimizar costes de calidad en fabricación**

**AÑO: 2023**

**AUTORA: Lorena Pérez Fernández**

**DIRECTORES: Miguel Ángel Sebastián Pérez y Cristina González Gaya**

**RESUMEN:**

La optimización de costes de calidad de fabricación es una prioridad en cualquier sector manufacturero debido a que los problemas de calidad afectan la reputación de las empresas, sitúa a dichas empresas en desventaja competitiva y tiene consecuencias financieras.

Los costes de calidad están compuestos por costes tangibles e intangibles, sin embargo, actualmente sólo se analizan los costes tangibles debido a que no existe una metodología adecuada para medir los costes intangibles.

En este contexto, se va a desarrollar un innovador sistema de decisión con base empírica, aplicando análisis multicriterio Analytical Hierarchy Process (AHP), Analytical Network Process (ANP) y metodología Lean para reducir y optimizar todos los costes de calidad de forma eficiente.

En los departamentos de calidad, las percepciones, pensamientos y juicios (costes intangibles) no se miden, ni controlan. Este estudio desarrolla una metodología novedosa que permite abordar este asunto de manera efectiva.

Otra gran innovación es la aplicación de ambas metodologías multicriterio para obtener el mejor resultado combinado para la toma de decisiones y la optimización de dicho resultado, desarrollando una matriz esfuerzo-impacto basada en la metodología Lean manufacturing. Este sistema agiliza el proceso de toma de decisiones y asegura su eficiencia para aplicarlo en cualquier departamento de calidad. Además, este sistema de toma de decisión puede ser escalable a cualquier planta de fabricación en cualquier sector industrial.

**ABSTRACT:**

Manufacturing quality cost optimization is a priority in any manufacturing sector due to quality issues impacting companies' reputations and has financial consequences. Quality costs are composed of tangible and intangible costs, however, only tangible costs used to be analyzed because there is no suitable methodology for measuring intangible costs. In this context, an innovative decision support system is developed with an empirical base, applying Analytical Hierarchy Process (AHP), Analytical Network Process (ANP), and Lean methodology to reduce all quality costs in an efficient way. In quality departments, perceptions, thoughts, and judgments (intangible costs) are not measured and controlled. This study develops an innovative methodology that allows to address this issue in an effective way. Another major innovation is the application of both multi-criteria methodologies to obtain the best combined result for decision making and the optimization of this result, developing an effort–impact matrix based on Lean manufacturing methodology. This system speeds up the decision-making process and assures its efficiency for quality department applications. Moreover, this decision support system may be applicable to any manufacturing sector.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>1.1. Estado del arte</b> .....	14
<b>1.2. Objetivo</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	18
<b>METODOLOGÍA</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	21
<b>PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL AHP Y SU APLICACIÓN PRÁCTICA</b> .....	21
<b>3.1. Principios Teóricos del AHP</b> .....	22
<b>3.1.1. Estructuración del problema</b> .....	24
<b>3.1.2. Definición del objetivo</b> .....	25
<b>3.1.3. Determinación de los criterios y subcriterios</b> .....	25
<b>3.1.4. Identificación de las alternativas</b> .....	28
<b>3.1.5. Determinación de prioridades</b> .....	28
<b>3.1.6. Determinación de las preferencias</b> .....	28
<b>3.1.7. Sintetización de los resultados</b> .....	32
<b>3.1.8. Determinación de la consistencia</b> .....	35
<b>3.1.8.1. Índice de consistencia de la matriz a estudiar (IC)</b> .....	36
<b>3.1.8.2. Índice de consistencia aleatoria (IA)</b> .....	38
<b>3.1.8.3. Determinación de la razón de consistencia (RC)</b> .....	41

<b>3.2. Aplicación práctica del proceso analítico jerárquico (AHP) para la reducción de costes intangibles y tangibles .....</b>	<b>41</b>
3.2.1. Identificación de las alternativas .....	41
3.2.2. Determinación de los criterios.....	43
3.2.3. Jerarquía del AHP para la reducción de costes intangibles y tangibles .....	44
3.2.4. Diseño de la aplicación excel para el cálculo de preferencias .....	45
3.2.5. Determinación de las preferencias.....	54
3.2.6. Matrices de juicios y resultado del AHP del gerente customer care .....	56
3.2.7. Resultado del AHP del supervisor de ingenieros de campo.....	65
3.2.8. Resultado del AHP de la supervisora de garantías.....	68
3.2.9. Resultado del AHP del supervisor técnico .....	70
3.3. Comparativa de resultados de los AHP de los 5 directivos.....	74
3.4. Análisis de robustez .....	75
3.4.1. Estadística robusta.....	75
3.4.2. Aplicación de la media recortada, para obtener el resultado final del AHP .....	78
3.5. Análisis de sensibilidad para el AHP .....	81
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>90</b>
<b>PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL ANP Y SU APLICACIÓN PRÁCTICA .....</b>	<b>90</b>
4.1. Descripción del ANP .....	91
4.2. Aplicación práctica del proceso analítico en red (ANP) para la reducción de costes intangibles y tangibles .....	96
4.3. Modelado del problema de decisión como una red.....	97
4.4. Comparaciones pareadas entre elementos .....	100
4.5. Supermatriz no ponderada u original.....	104
4.6. Supermatriz ponderada estocástica .....	106

4.7. Supermatriz límite .....	107
4.8. Visualización del resultado final del ANP [11, 35].....	109
<b>CAPÍTULO 5.</b> .....	112
<b>CONCLUSIONES DEL AHP Y ANP</b> .....	112
5.1. Conclusiones del AHP .....	113
5.2. Conclusiones del ANP.....	114
5.3. Comparativa ANP Y AHP .....	116
<b>CAPÍTULO 6.</b> .....	118
<b>APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN, MATRIZ IMPACTO-ESFUERZO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COSTES</b> .....	118
<b>CAPÍTULO 7.</b> .....	123
<b>CONCLUSIONES DE LA TESIS</b> .....	123
7.1. Conclusiones Generales .....	124
7.2. Conclusiones Particulares .....	125
7.3. Futuras líneas de investigación .....	126
<b>CAPÍTULO 8.</b> .....	127
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	127

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a_{ij}$  - expresa la preferencia en valor numérico, del elemento de la fila  $i$  cuando se compara con el elemento de la columna  $j$ , en la matriz de comparaciones pareadas.

**A** – Matriz de comparaciones pareadas.

**CR** – Razón de consistencia.

**EE (T)** – Error estándar de la media recortada

**g** - Número de observaciones que deben ser eliminadas de cada extremo de la distribución para calcular la media recortada.

**i** – Indica el Número de la fila de la matriz de comparaciones pareadas.

**IA** – Índice de consistencia aleatorio.

**IC** – Índice de consistencia

**j** - Indica el número de la columna de la matriz de comparaciones pareadas.

**M** – total elementos a comparar.

**n** - Número de filas o columnas de la matriz de comparaciones pareadas.

$n_{mm}$  - expresa la preferencia en valor numérico, del elemento de la fila  $mm$  cuando se compara con el elemento de la columna  $m$ , en la matriz de comparaciones pareadas normalizada.

**N** – Matriz comparaciones pareadas normalizada.

**p** - casos sustituidos en cada extremo para calcular la media winsorizada.

**P1, P2,..Pm** – Prioridades.

**s** - Varianza.

$s^2$  – Desviación estándar.

$s_W^2$  – Varianza winsorizada

$s_T^2$  – Varianza recortada

$SDC(W)$  - Suma de desviaciones cuadráticas winsorizada.

$T(p)$  – Media recortada.

$\nu$  - Número de observaciones que quedan después de recortar una proporción  $p$ .

$W(p)$  – Media winsorizada.

$\bar{x}$  - Media aritmética.

$\mu_T$  – Intervalo de confianza

$\lambda_{\max}$  – Lambda máxima

$\Sigma$  – Sumatorio

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Escala fundamental para comparaciones por pares de Saaty (T. L. Saaty 1997) .....	29
Tabla 2. Índice de consistencia aleatorio (T. L. Saaty 1997).....	39
Tabla 3. Índice de consistencia aleatorio (Toskano Hurtado 2005) .....	39
Tabla 4: Top ten piezas según el gasto en garantía.....	42
Tabla 5: Escala de Saaty empleada para obtener peso de los criterios. ....	55
Tabla 6: Ejemplo Matriz de Dominación Interfactorial .....	92
Tabla 7: Influencia de $e_{12}$ y $e_{13}$ sobre $e_{11}$ . ....	93
Tabla 8: Ejemplo de Supermatriz No Ponderada u Original.....	94
Tabla 9: Matriz de comparación pareada de la influencia de los Clúster C1 y C2 sobre los elementos del Clúster C1.....	94
Tabla 10: Supermatriz Ponderada .....	95
Tabla 11: Supermatriz Ponderada Estocástica .....	95
Tabla 12: Supermatriz Límite.....	96
Tabla 13. Costes de reingeniería y resultados ANP y AHP .....	120
Tabla 14. Resultado (Piezas prioritarias para acciones de reingeniería) y resumen financiero .	122

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Fases del proceso analítico jerárquico .....	23
Figura 2: Jerarquía .....	25
Figura 3: Jerarquía completa de 4 niveles .....	26
Figura 4: Jerarquía incompleta de 4 niveles .....	27
Figura 5. Matriz de comparaciones pareadas .....	30
Figura 6. Matriz de comparaciones pareadas. juicios recíprocos .....	31
Figura 7. Sumatorio de los elementos de cada una de las columnas .....	32
Figura 8. Matriz de comparaciones pareadas normalizada .....	33
Figura 9. Determinación de las prioridades .....	33
Figura 10. Obtención de prioridades relativas y generales .....	34
Figura 11. Determinación de las prioridades de las alternativas .....	34
Figura 12. Prioridad total de las alternativas .....	35
Figura 13. Reciprocidad matriz consistente .....	37
Figura 14. Matriz normalizada totalmente consistente .....	37
Figura 15. Obtención de lambda máx .....	38
Figura 16. Jerarquía AHP .....	45
Figura 17. Descripción matriz comparación de criterios .....	47
Figura 18. Descripción matriz comparación de alternativas en función de cada criterio .....	48
Figura 19. Consistencia de los juicios .....	49
Figura 20. Cálculo del resultado final del AHP .....	50
Figura 21. Comparativa resultados de los AHP de todos emisores de juicios .....	51
Figura 22. Análisis de robustez .....	52
Figura 23. Análisis de sensibilidad .....	53

Figura 24. Matriz comparación criterios y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care...	57
Figura 25. Matriz comparación alternativas en función de la imagen marca y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	57
Figura 26. Matriz comparación alternativas en función de la satisfacción de cliente y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	58
Figura 27. Matriz comparación alternativas en función de la perdida de ventas por mala imagen de marca y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	59
Figura 28. Matriz comparación alternativas en función de la perdida de ventas por insatisfacción de clientes y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	60
Figura 29. Matriz comparación alternativas en función de la desmotivación de los trabajadores y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	61
Figura 30. Matriz comparación alternativas en función de la inseguridad de los vendedores y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care .....	62
Figura 31. Resultado AHP del Gerente de Customer Care .....	63
Figura 32. Gráfico resultado AHP del Gerente de Customer Care .....	64
Figura 33. Resultado AHP del Supervisor de ingenieros de campo .....	66
Figura 34. Gráfico resultado AHP del Supervisor de ingenieros de campo .....	67
Figura 35. Resultado AHP de la Supervisora de garantías.....	68
Figura 36. Gráfico resultado AHP de la Supervisora de garantías.....	69
Figura 37. Resultado AHP del Supervisor técnico .....	70
Figura 38. Gráfico resultado AHP del Supervisor técnico.....	71
Figura 39. Resultado AHP del Responsable técnico .....	72
Figura 40. Gráfico resultado AHP del Responsable técnico .....	73
Figura 41. Comparativa de resultados de los 5 AHP .....	74
Figura 42. Análisis de robustez y resultado final AHP .....	79

Figura 43. Análisis de sensibilidad intervalo 1 (0-2%) .....	81
Figura 44. Análisis de sensibilidad intervalo 2 (2-9%) .....	82
Figura 45. Análisis de sensibilidad intervalo 3 (9-10%) .....	83
Figura 46. Análisis de sensibilidad intervalo 4 (10-11%) .....	84
Figura 47. Análisis de sensibilidad intervalo 5 (11-13%) .....	85
Figura 48. Análisis de sensibilidad intervalo 6 (13-24%) .....	86
Figura 49. Análisis de sensibilidad intervalo 7 (24-25%) .....	87
Figura 50. Resultado final análisis sensibilidad .....	88
Figura 51. Esquema general del ANP.....	92
Figura 52. Esquema red del ANP según “Superdecisiones” .....	98
Figura 53. Matriz dominación interfactorial.....	99
Figura 54. Ejemplo comparaciones pareadas para alternativas .....	101
Figura 55. Ejemplo comparaciones pareadas para criterios con respecto a las alternativas .....	102
Figura 56. Ejemplo comparaciones pareadas para criterios con respecto a los criterios.....	103
Figura 57. Supermatriz no ponderada u original del ANP.....	105
Figura 58. Supermatriz ponderada del ANP .....	107
Figura 59. Supermatriz límite del ANP .....	109
Figura 60. Resultado del ANP .....	110
Figura 61. Potencial de reducción de costes intangibles y costes de garantía, suponiendo “Cero Defectos” en 4 piezas prioritarias según AHP. ....	114
Figura 62. Potencial de reducción de costes intangibles y costes de garantía, suponiendo “Cero Defectos” en 4 piezas prioritarias según ANP. ....	115
Figura 63. Matriz de Impacto-Esfuerzo .....	121

## **CAPÍTULO 1.**

### **INTRODUCCIÓN**

En el siglo XXI, las empresas son conscientes que el valor añadido y lo que las diferencia, es lo inmaterial: la imagen de la marca, la reputación corporativa, el conocimiento, las habilidades de la gente, la responsabilidad social corporativa. Estos elementos intangibles son los que realmente diferencian a algunas empresas, ya que los productos en general son de muy alta calidad e innovar para lanzar algo realmente diferente es muy difícil. Las grandes empresas se están moviendo inexorablemente hacia la gestión de los denominados activos intangibles, recursos que constituyen más del 70% del valor de las grandes organizaciones. Este fenómeno está produciendo que todas las acciones de comunicación que las organizaciones hacen a su público: las relaciones que establecen, la publicidad que desarrollan, estén dejando de enfocarse sólo en los productos, para centrarse más en la imagen de marca. Las grandes corporaciones, sobre todo las del sector de telecomunicaciones y financieras, son las que más rápidamente se han apuntado a esta tendencia y están dedicando más recursos para potenciar su "Imagen de Marca". Pero actualmente los grandes fabricantes de otros sectores industriales, aún no se han orientado hacia estas nuevas estrategias de gestión, siguiendo centrados en el "producto" en vez de en la "marca".

Los análisis de costes tradicionales pasan por alto un grupo de costes de calidad, como son los costes intangibles por la mala calidad, ya que no están diseñados para recogerlos. En esta situación en la que las empresas de fabricación no analizan todos los costes de calidad, se provocan desventajas competitivas, ya que se están despreciando oportunidades de mejora por no intentar disminuir los costes ocultos de la mala calidad. Impidiendo de esta forma a la dirección de la empresa, aplicar medidas correctoras que eviten situaciones financieras peligrosas motivadas por los costes totales de la mala calidad.

La finalidad principal de un sistema de información de costes es cuantificar el tamaño de los problemas de calidad. La valoración de estos costes hará visible el efecto de los costes de calidad sobre el beneficio de la empresa y facilitará la toma de decisiones para reducir esos costes.

Los costes intangibles o de oportunidad tienen un marcado carácter subjetivo y cualitativo, por lo que en general, no suelen ser considerados contablemente por las organizaciones, pero existe evidencia empírica de su existencia y su efecto. Para conseguir la norma de cero defectos [ 12, 13, 14, 15, 16, 41] y la satisfacción de los clientes, deben ser controlados y cuantificados, así como deben tener su traducción en el ámbito contable, para analizar su incidencia en los resultados empresariales.

Como dice Phil Crosby (Creador del Principio de "hacerlo correctamente la primera vez" "doing it right the first time" DIRFT), "la calidad no cuesta, pues es rentable desde todos los puntos de vista" [42]. Y para poder mejorar en cualquier proceso, es necesario un sistema de medición que identifique todas las desviaciones; por ello es imprescindible establecer indicadores en los que basar la estrategia a seguir y poder cuantificar las mejoras observadas.

Por otro lado, con las mejoras optimizadas en el ámbito de la calidad en los procesos industriales, estaremos apoyando la sostenibilidad y preservando el medio ambiente, ya que evitaremos la fabricación de productos con defectos y por lo tanto, ahorraremos recursos evitando desperdicio. Los procesos industriales deben ser diseñados para adaptarse a las necesidades de desarrollo actuales, pero garantizando la sostenibilidad, para evitar impacto en las generaciones futuras. Gobiernos, comunidad educativa, empresa y la sociedad en general, tenemos que abogar para que los procesos industriales tengan el menor impacto posible y sean lo menos perjudiciales para el medio ambiente.

Con estas mejoras en la calidad de fabricación, se realizará una contribución a la sostenibilidad, reduciendo los residuos producidos, el consumo energético y las emisiones gaseosas propias de la mayoría de los procesos industriales.

### **1.1. Estado del arte**

Como ya se adelantaba en la introducción, los grandes fabricantes de importantes sectores industriales, aún no se han orientado hacia la cuantificación y optimización de los costes

intangibles en la fabricación y esto está impactando en sus activos inmateriales como son la reputación y la imagen de marca. Atendiendo a esta necesidad, se ha pensado diseñar un sistema de decisión con base empírica que permita medir y controlar todos los costes de calidad, tangibles e intangibles que impactan directamente en los activos inmateriales de las empresas de producción como la reputación, imagen de marca, RSC (Responsabilidad Social Corporativa).

Tras un estudio exhaustivo del caso a tratar, se ha llegado a la conclusión que al ser un problema en el que pueden existir diferentes soluciones, todas ellas influenciadas por condicionantes claramente cualitativos, es necesario encontrar alguna metodología que permita cuantificar lo intangible y a su vez lo tangible, y dar prioridad a la solución más óptima, dentro de las soluciones posibles.

Analizando diferentes documentos que abordan problemas de toma de decisiones multicriterio aplicando el Proceso Analítico Jerárquico [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y el Proceso Analítico en Red [11, 35] se establece que ambas metodologías pueden ser de aplicación y cubrir parte del problema que se presenta. La tipología de problemas que se pueden abordar y resolver aplicando ambos procesos son prácticamente infinitas. Vemos distintos ejemplos de aplicación:

- La medición de la competitividad entre municipios. (A. Berumen y Llamazares Redondo 2007). [33]
- La determinación de la ubicación óptima de un edificio. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera 2008), (Alvarez Alonso, Arquedo Hidalgo y Martínez Izquierdo 2011). [9]
- Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. (María Fernanda Herrera Umaña, Juan Carlos Osorio Gómez, 2006) [34]
- Selección de Proyectos de Energía Solar Fotovoltaica mediante Proceso Analítico en Red (ANP). (Aragonés, P.; Chaparro, F.; Pastor, J.P.; Rodríguez, F., 2008) [35]

- Propuesta metodológica mediante ANP para la Evaluación de las Memorias de Sostenibilidad del Sector Agroalimentario Español. (Amparo Baviera-Puig, Gabriel García-Martínez y Tomás Gómez-Navarro, 2014) [11]

No se ha encontrado en la bibliografía, aplicación de las metodologías AHN y ANP a problemas de calidad en fabricación, por lo tanto, la aplicación de ambas técnicas en esta materia es totalmente novedosa.

Por otro lado, tras estudiar a fondo ambas metodologías, se identifica una posible mejora, ya que los resultados arrojados por ambas metodologías, no contemplan ningún tipo de optimización en aras de la reducción de costes y la sostenibilidad, de ahí que se pensase en la aplicación de la metodología de mejora continua Lean [26,27,28,29,30], para optimizar la toma de decisiones de forma que se obtenga la solución con mayor impacto en la calidad y con el menor coste posible.

### **1.2. Objetivo**

Desarrollar un sistema de decisión con base empírica que permita cuantificar y controlar todos los costes de calidad, aplicando análisis multicriterio Analytical Hierarchy Process (AHP) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34], Analytical Network Process (ANP) [11, 35] y metodología Lean [26,27,28,29,30] para reducir y optimizar todos los costes de calidad de forma eficiente.

Con este estudio se pretende plasmar la importancia de mejorar la calidad en cierto grupo de piezas, que tienen tasas de fallo que suponen un alto impacto en los costes externos de las compañías, así como también, tienen gran impacto en los costes intangibles de la imagen de marca, satisfacción de clientes, pérdida de ventas por mala imagen, etc.... Se asentarán las bases para tomar las decisiones adecuadas en cuanto a la priorización de mejorar la calidad en ciertas piezas, utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y por otro lado, el Proceso Analítico en Red (ANP) [11, 35] y se compararán sus resultados.

Con esto se conseguirá a futuro, reducir los costes de garantía y a su vez mitigar el impacto que las reparaciones en garantía suponen en varios criterios intangibles que son claves, como la imagen de marca, satisfacción de clientes, etc...

En concreto para realizar el estudio y la demostración empírica, se partirá del análisis de costes reales, tangibles e intangibles de un fabricante de componentes para un sector industrial puntero.

Sabiendo en que componentes recae la mayor parte de los costes en garantía de 2 años, se aplicará la metodología diseñada para optimizar dichos costes de calidad.

## **CAPÍTULO 2.**

### **METODOLOGÍA**

Conociendo las piezas con mayores tasas de fallo durante los 2 primeros años de vida y su impacto económico y el número de piezas sustituidas para un fabricante industrial, a través del pago del importe de las garantías y conociendo cuales son varias de las causas que provocan mayores costes intangibles; se evaluará mediante dos Análisis Multicriterio, el orden de prioridad en cuanto a la mejora de calidad en dichas piezas sustituidas en garantía, para así mejorar los costes tangibles e intangibles dentro de la organización. Para ello utilizaremos el Proceso Analítico Jerárquico AHP (Por sus siglas en inglés: Analytic Hierarchy Process) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y el Proceso Analítico en Red ANP (Por sus siglas en inglés: Analytic Network Process) [11, 35] y compararemos sus resultados.

Una vez realizada la selección de las piezas a priorizar combinando los resultados de los procesos AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y ANP [11, 35], se introducirá una nueva variable que serán los costes de reingeniería para la mejora de calidad de cada una de las piezas seleccionadas. Para incluir esta nueva variable de forma que se optimice aún más el sistema de toma de decisión, se aplicará metodología Lean [26,27,28,29,30], en concreto una matriz de impacto-esfuerzo que determinará que piezas serán las prioritarias teniendo en cuenta los costes tangibles, intangibles y de reingeniería.

Esta tesis es apoyada por la dirección del fabricante de componentes, mediante la involucración de los Gerentes y Supervisores de diferentes áreas, en un estudio prospectivo [3,39], cuyos datos serán evaluados estadísticamente, para comprobar su consistencia [23], e incorporados en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y en el Proceso Analítico en Red (ANP) [11, 35].

Para el proceso AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] se desarrollará una aplicación automatizada basada en Microsoft Excel 2013, mediante la cual se podrán introducir los datos de las valoraciones de cada uno de los responsables de la organización. Con dichas valoraciones, el listado de piezas con mayores tasas de fallo en garantía y la cuantificación de los criterios intangibles por los directivos, obtendremos un ranking con el orden de prioridad, para actuar sobre la mejora de calidad de las piezas sustituidas en período de garantía.

Una vez obtenido este ranking, se realizará con la aplicación automática basada en Microsoft Office Excel 2013, un Análisis de Robustez de los Datos proporcionados por los directivos, así como un Análisis de Sensibilidad para evaluar como variaría el ranking de las piezas sobre las que mejorar la calidad, si modificamos la escala de valores en cuanto a los criterios intangibles.

En el proceso ANP [11, 35] se utilizará el software “Superdecisions”

(<https://superdecisions.com>) [44], que es un software gratuito para la toma de decisiones que implementa tanto el proceso AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34], como el ANP [11, 35] y se utilizará para introducir las comparaciones pareadas, para realizar el cálculo de las matrices y para obtener el resultado del ANP [11, 35].

En la última fase del estudio se introducirá la matriz de impacto-esfuerzo, que se extrae de la metodología Lean [26,27,28,29,30] para optimizar el resultado de los procesos AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] y ANP [11, 35], teniendo en cuenta el parámetro de coste de reingeniería.

## **CAPÍTULO 3.**

### **PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL AHP Y SU APLICACIÓN PRÁCTICA**

### 3.1. Principios Teóricos del AHP

Para resolver problemas en los que hay que tener en cuenta diversos criterios y un número finito de alternativas, Tomas L. Saaty propuso una nueva metodología [36], el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]. Este método de toma de decisiones multicriterio se caracteriza por descomponer y organizar el problema de forma visual en una estructura jerárquica. Una vez se tiene el problema estructurado jerárquicamente, se realizan comparaciones por pares (criterio a criterio; subcriterio a subcriterio; alternativa a alternativa) para determinar la importancia e influencia de los factores que componen el problema, emitiendo juicios de valor que permiten comparar con la misma escala numérica tanto criterios cuantitativos y cualitativos. Además, permite verificar la consistencia [23] de los juicios de valor, aportando la comprobación matemática para asegurar la fiabilidad en la toma de la decisión.

El método Analítico Jerárquico combina los dos enfoques fundamentales de resolución de problemas, el enfoque deductivo y el enfoque de sistemas. El enfoque deductivo se centra en el estudio de las partes, y en el Análisis Jerárquico esto se corresponde a la descomposición en partes del problema y la estructuración en una jerárquica, viendo cómo interactúan las distintas partes entre sí. El enfoque de sistemas consiste en considerar la situación como un todo, en el Proceso Analítico Jerárquico [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] se realiza mediante la consolidación de los resultados de cada parte, para evaluar el impacto que tiene el problema total.

El Análisis Jerárquico mejora la toma de decisiones, simplificando y dotando de rigor científico la evaluación paso a paso del proceso. Incorpora aspectos del pensamiento humano cualitativos (definir el problema y establecer la jerarquía) y cuantitativos (expresar juicios y preferencias de manera concisa).

Emplea escalas numéricas para reflejar aspectos intangibles como pueden ser opiniones, intuiciones, sensaciones, experiencias subjetivas, así como para medir aspectos tangibles, esto

hace que los tangibles e intangibles, tengan en mismo peso matemático y puedan ser comparables. Las escalas numéricas ayudan a reflejar valoraciones o juicios que debido a su complejidad no se pueden expresar correctamente con palabras.

Los resultados numéricos permiten reflejar matices muy sutiles entre las distintas soluciones posibles, aportando racionalidad y lógica al proceso de decisión. La elección tomada queda completamente justificada al basarnos en los resultados numéricos, favoreciendo la objetividad y la transparencia del proceso.

La objetividad de la decisión tomada se ve reforzada debido a que en el Método Analítico Jerárquico se tienen en cuenta las opiniones de todas las personas que intervienen en la decisión, tanto al definir el problema y establecer la jerarquía, como en la emisión de juicios y valoraciones.

Para resolver un problema de decisión, en el cual debemos escoger una de las alternativas que se nos plantean, mediante el empleo del Proceso Analítico Jerárquico, las fases a seguir son las siguientes reflejadas en la figura 1.



**Figura 1: Fases del proceso analítico jerárquico**

### 3.1.1. Estructuración del problema

La representación jerárquica, facilita la comprensión y visualización de todos los elementos de un problema, agrupándolos según su importancia e influencia en conjuntos a distintos niveles, para comprender las relaciones existentes entre dichos elementos del problema y como cada elemento impacta en el problema total de una forma holística.

Las jerarquías se subdividen en grupos estructurales y funcionales. Las estructurales organizan las partes constitutivas del problema en orden descendente de acuerdo con sus características estructurales, analizan la complejidad descomponiendo un elemento en grupos estos en subgrupos y así sucesivamente. Las jerarquías funcionales descomponen un elemento en sus partes constituyentes, de acuerdo con sus relaciones esenciales. Las jerarquías funcionales lineales, son las empleadas en el Proceso de Análisis Jerárquico, en las que se puede descender o ascender de forma lineal de un nivel a otro. [36]

Para estructurar un problema de forma jerárquica se debe tener un conocimiento pormenorizado de dicho problema, así como de las diferentes soluciones y variables que impactan en las posibles soluciones. Por ello, es indispensable que, en la estructuración de la jerarquía, participen personas de diferentes ámbitos pero que todas ellas tengan conocimiento y sean expertas, para aportar diferentes puntos de vista para la resolución.

Los niveles mínimos que presentará una jerarquía son 3: el objetivo o meta del problema, los criterios y las alternativas.

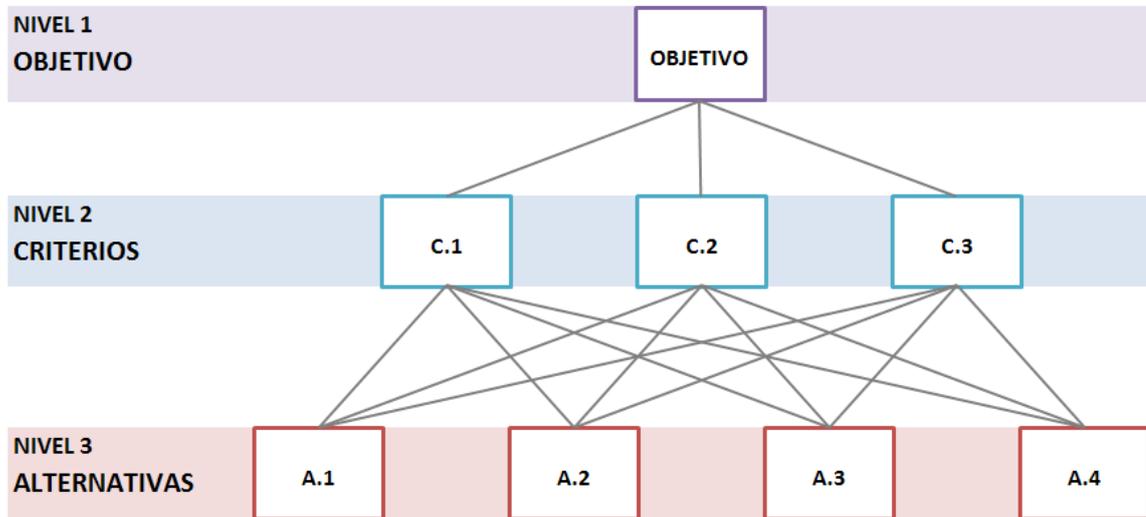


Figura 2: Jerarquía

### 3.1.2. Definición del objetivo

El objetivo o meta del problema describe lo que el decisor o grupo de decisores quiere alcanzar, al escoger entre las diferentes alternativas que se plantean.

En la jerarquía el objetivo se sitúa en el primer nivel y es independiente del resto de niveles y elementos (criterios, subcriterios y alternativas).

### 3.1.3. Determinación de los criterios y subcriterios

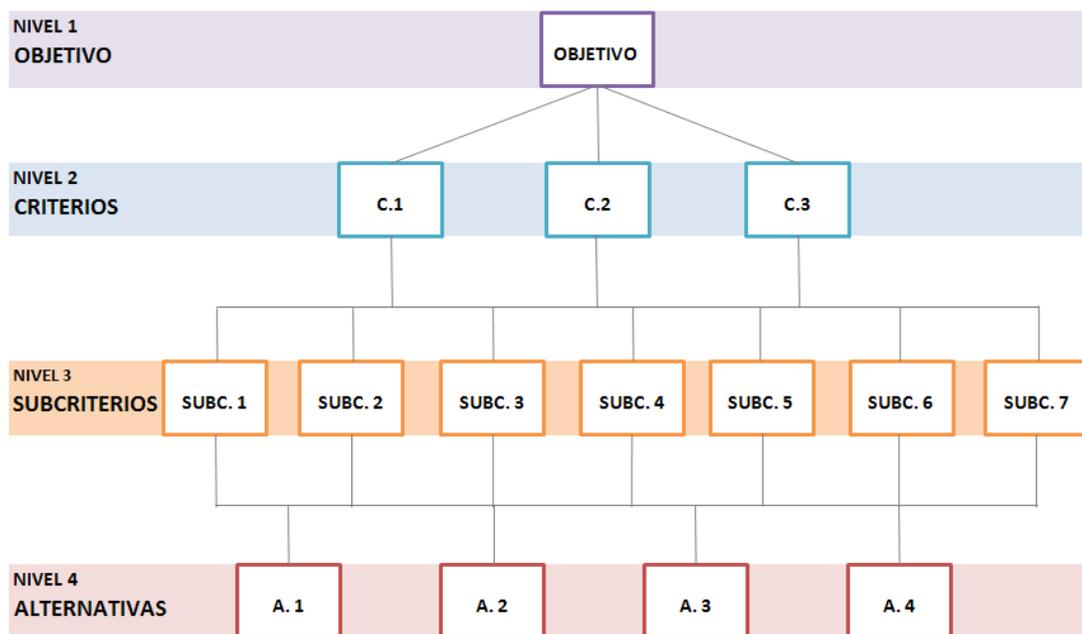
Los criterios son los factores que los expertos determinan que son imprescindibles para estructurar y analizar el problema. Dichos criterios pueden exponerse en un solo nivel de la jerarquía o se pueden introducir niveles adicionales, a estos se los denomina subcriterios y vendrían posicionados entre las alternativas y los criterios.

Los criterios y subcriterios se comparan mediante comparaciones dos a dos, para determinar cómo influyen los criterios en el objetivo y los subcriterios en los criterios y viceversa. Hay que

tener en cuenta que el número de elementos para los que se realiza la comparación relativa no debe superar el valor  $7 \pm 2$ , el “número mágico” [37].

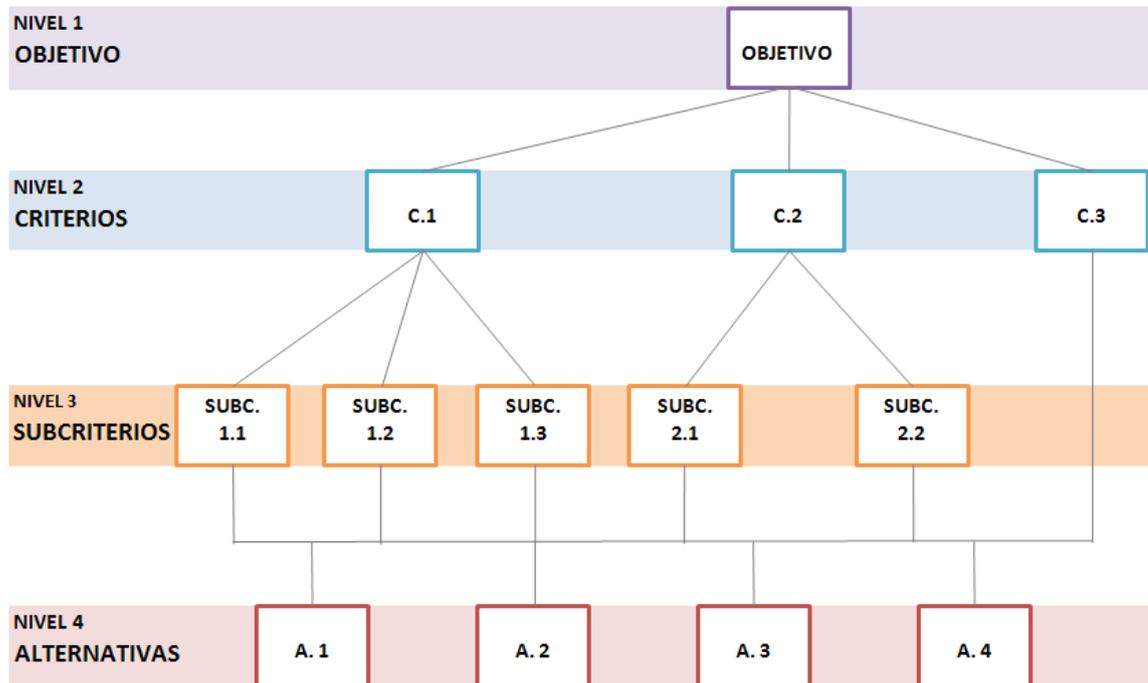
Los elementos de los niveles inferiores deben compararse con al menos un criterio del nivel superior, para evaluar el impacto de los niveles inferiores en los superiores y en el conjunto del problema. En función de cómo se comparen los subcriterios en relación con los criterios del nivel superior, podemos diferenciar entre jerarquías completas e incompletas.

Jerarquía completa se define cuando los subcriterios del mismo nivel se comparan entre sí y a su vez con todos los criterios del nivel superior [36]. La figura 6 muestra un ejemplo de jerarquía completa de 4 niveles, en la que podemos observar que todos los subcriterios están relacionados con todos los criterios.



**Figura 3: Jerarquía completa de 4 niveles**

Jerarquía incompleta: Cuando los subcriterios no se comparan con todos los criterios del nivel superior (T. L. Saaty, Como Analizar y Estructurar Jerarquías 1997).



**Figura 4: Jerarquía incompleta de 4 niveles**

Tal y como se muestra en la Figura 7, los subcriterios en este caso no se compararán todos entre sí en función de todos los criterios. Los subcriterios que sirven para analizar más detalladamente el criterio 1 (SUBC. 1.1, SUBC. 1.2 y SUBC. 1.3) se comparan entre sí mediante comparaciones pareadas, en función del criterio 1. Lo mismo ocurre con los subcriterios del criterio 2 (SUBC. 2.1 y 2.2).

Las jerarquías no son rígidas ni cerradas. Si una vez concluida la jerarquía nos damos cuenta de que hay algún criterio o subcriterio que no hemos considerado o que necesitamos insertar más niveles para analizar bien un criterio, podemos realizar los cambios necesarios. Las jerarquías son flexibles.

#### **3.1.4. Identificación de las alternativas**

Las alternativas son las diferentes soluciones al problema expuesto. Entre las que debemos escoger una, que nos permita cumplir nuestro objetivo o acercarnos lo más posible a él. La alternativa elegida será la mejor de entre todas las planteadas, pero no tiene por qué ser la más óptima.

Las alternativas siempre se establecen en el nivel inferior de la jerarquía, por debajo de los criterios y subcriterios.

Del mismo modo que los criterios, las alternativas se compararán por pares, con los criterios y subcriterios, para obtener la alternativa que mejor cumpla con el objetivo.

#### **3.1.5. Determinación de prioridades**

Una vez representado el problema de decisión a través de una jerarquía, debemos determinar las prioridades de los criterios, subcriterios y alternativas. Para ello, tendremos que realizar en primer lugar, comparaciones por pares de los criterios y alternativas. Estas comparaciones reflejan la preferencia que cada elemento tiene sobre otro en relación con el elemento situado en el nivel inmediatamente superior.

Tras determinar las preferencias de todos los elementos, se sintetizan los resultados y obtendremos un número único que determina las prioridades de cada uno de los elementos (subcriterios, criterios y alternativas). Con estos resultados ya podemos tomar una decisión, y escoger la alternativa que presente la prioridad mayor. [36]

#### **3.1.6. Determinación de las preferencias**

La determinación de las preferencias de los elementos, se determinará exponiendo de forma numérica la importancia relativa que tiene un elemento sobre otro, al compararlo con un elemento de la jerarquía superior. Al realizar las comparaciones, dependiendo de la experiencia

de la persona que emite el juicio, de los datos que dispone, del conocimiento que tiene del problema y de su intuición, se obtendrán valoraciones distintas.

Por este motivo, es importante que el establecimiento de los juicios se haga considerando la opinión de diversas personas, que representen puntos de vista distintos, pero no totalmente extremos ya que sería muy complicado llegar a un acuerdo. Las opiniones se pueden consensuar en una reunión en la que todos los expertos estén presentes y participen dando su valoración y posteriormente las preferencias se voten. Otra forma, es expresar las opiniones individuales en un cuestionario, estos cuestionarios se consolidarán en uno final del que se extraerá la media geométrica.

Para comparar la importancia subjetiva entre los diferentes elementos, se utilizará la escala numérica propuesta por Saaty (Tabla.1). [36]

**Tabla 1. Escala fundamental para comparaciones por pares de Saaty [36]**

CALIFICACIÓN NUMÉRICA	ESCALA VERBAL DE LA PREFERENCIA	DEFINICIÓN
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
9	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Términos medios	Valores intermedios, que se emplean para expresar preferencias que se encuentran entre dos de las anteriormente indicadas.
2	Igual – Moderada	Importancia entre igual y moderada de un elemento sobre otro.
4	Moderada- Fuerte	Importancia entre moderada y fuerte de un elemento sobre otro.
6	Fuerte – Muy Fuerte	Importancia entre fuerte y muy fuerte de un elemento sobre otro.
8	Muy Fuerte- Extrema	Importancia entre muy fuerte y extrema de un elemento sobre otro.

La escala de preferencias está formada por 9 juicios de valor, que van de desde el 1 al 9, siendo los números 2, 4, 6, y 8 utilizados para establecer juicios intermedios.

La herramienta para realizar las comparaciones es la matriz de comparaciones pareadas. Esta matriz representa de una forma visual e intuitiva cuales son los elementos dominantes sobre el resto de elementos.

La matriz **A** de comparaciones pareadas es una matriz cuadrada  $n \times n$ , en la que  $a_{ij}$ , expresa la preferencia en valor numérico, cuando se compara un elemento de la fila  $i$  con un elemento de la columna  $j$ . Cuando  $i=j$  el valor de  $a_{ij} = 1$ , por lo tanto, se compara un elemento consigo mismo.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

**Figura 5. Matriz de comparaciones pareadas**

Para la elaboración de la matriz, el Proceso Analítico Jerárquico [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] se basa en 4 axiomas (Toskano Hurtado 2005) [31]:

**Axioma 1: Reciprocidad.** Juicios recíprocos.

$$a_{ij} = 1 / a_{ji}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

**Figura 6. Matriz de comparaciones pareadas. juicios recíprocos**

**Axioma 2: Homogeneidad.** Los elementos que se comparan son del mismo orden, magnitud o nivel jerárquico.

**Axioma 3: Dependencia.** Existe dependencia jerárquica entre elementos de dos niveles consecutivos.

**Axioma 4: Consistencia.** [23] Cuando la matriz de comparaciones pareadas es perfectamente consistente se cumple que:  $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$  para  $i, j$  y  $k = 1, 2, 3 \dots n$ .

Para rellenar la matriz, primero completaremos la diagonal, toda con números 1, ya que se está comparando cada elemento consigo mismo. A continuación, se rellenarán los valores por encima de la diagonal aplicando la escala de Saaty [36]. El número concreto de comparaciones a realizar se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$((n \times n) - n) / 2 \quad n = \text{número de elementos comparados}$$

**(Ecuación 1. Comparaciones necesarias para rellenar una matriz)**

Los valores situados por debajo de la diagonal, serán los valores recíprocos de los establecidos por encima de la diagonal.

Una vez completada la matriz de comparaciones pareadas, procedemos a sintetizar los juicios reflejados en ella, para de esa forma obtener un único valor numérico que determine la prioridad de cada elemento comparado.

### 3.1.7. Sintetización de los resultados

Se aplicará un método de aproximación para calcular las prioridades de los juicios expuestos en la matriz de comparaciones. Lo primero es normalizar la matriz, sumando los valores de las columnas y con el valor obtenido, se dividirá cada elemento de la matriz de comparaciones.

C.1, C.2,....C.M = Columnas

Se corresponderán a los criterios, subcriterios o alternativas comparadas.

$\Sigma$  C.1;  $\Sigma$  C.2;..... ;  $\Sigma$  C.M Sumatorios de los elementos de cada columna.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 \text{c.1} & \text{c.2} & \dots & \text{c.M} \\
 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\
 a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{m1} & a_{m2} & \vdots & 1 \\
 \hline
 \Sigma \text{ c.1} & \Sigma \text{ c.2} & \dots & \Sigma \text{ c.M}
 \end{array} \\
 \mathbf{A} = \left( \begin{array}{cccc}
 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\
 a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{m1} & a_{m2} & \vdots & 1 \\
 \hline
 \Sigma \text{ c.1} & \Sigma \text{ c.2} & \dots & \Sigma \text{ c.M}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Figura 7. Suma columnas matriz de comparaciones

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} \text{C.1} & \text{C.2} & \dots & \text{C.M} \\ 1/\sum \text{C.1} & a_{12}/\sum \text{C.2} & \dots & a_{1n}/\sum \text{C.M} \\ a_{21}/\sum \text{C.1} & 1/\sum \text{C.2} & \dots & a_{2m}/\sum \text{C.M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1}/\sum \text{C.1} & a_{m2}/\sum \text{C.2} & \dots & 1/\sum \text{C.M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{pmatrix}$$

**Figura 8. Matriz de comparaciones pareadas normalizada**

Para calcular la prioridad relativa de cada elemento, se realiza promediando las filas de la matriz normalizada.

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{pmatrix} \begin{matrix} \longrightarrow \\ \longrightarrow \\ \longrightarrow \\ \longrightarrow \end{matrix} \begin{matrix} (n_{11} + n_{12} + \dots + n_{1m}) / m = P_1 \\ (n_{21} + n_{22} + \dots + n_{2m}) / m = P_2 \\ \vdots \\ (n_{m1} + n_{m2} + \dots + n_{mm}) / m = P_m \end{matrix}$$

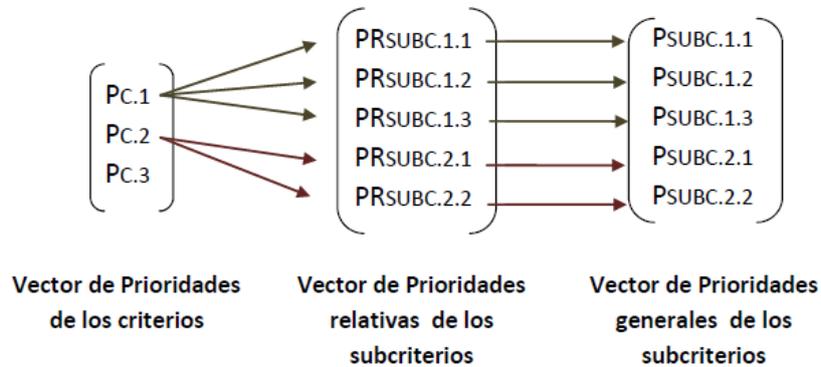
**Promedios** **Prioridades**

**m** = Total de elementos a comparar.

**Figura 9. Determinación de las prioridades**

En el caso de jerarquías en las que hay criterios y subcriterios (Fig. 5), las prioridades de los criterios se determinan en función del objetivo y tienen los valores más grandes.

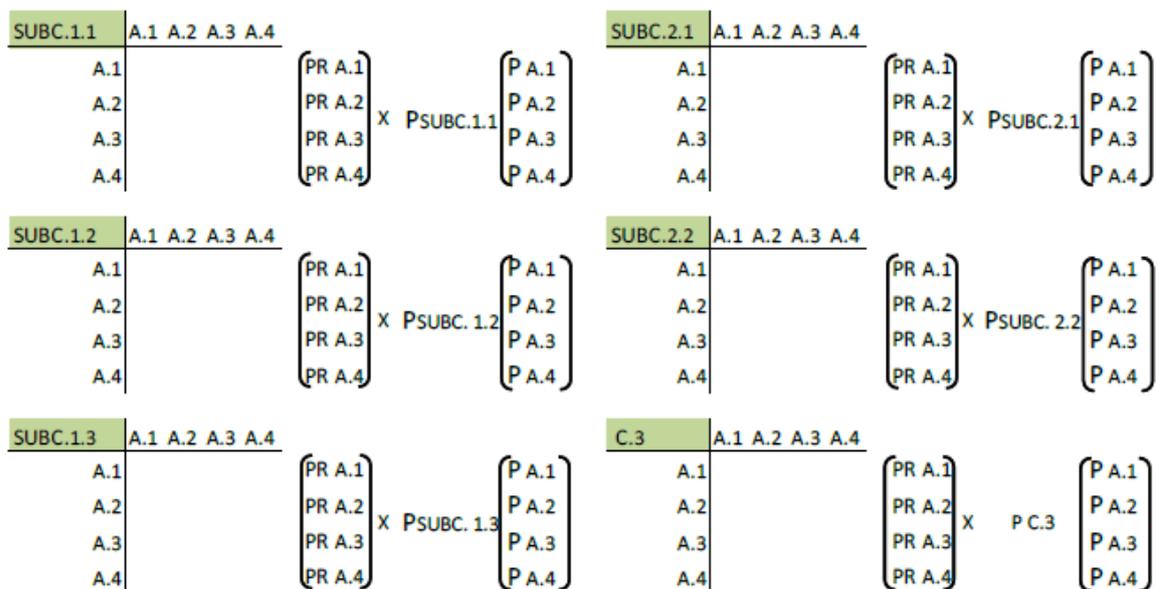
Posteriormente se realizarán las matrices de comparaciones de los subcriterios que están relacionados con un determinado criterio. Una vez tengamos las prioridades relativas de cada subcriterio, tendremos que multiplicarlas por la prioridad del criterio asociado, para saber cómo impactan en el objetivo.



**Figura 10. Obtención de prioridades relativas y generales**

Para determinar la prioridad de cada una de las alternativas, se deberán hacer tantas matrices de comparación como subcriterios haya además de los criterios, en el caso de que estos no estén desglosados en subcriterios. A continuación, se calculará la prioridad relativa de las alternativas respecto al criterio o subcriterio correspondiente.

Multiplicando la prioridad relativa por la prioridad general del criterio o subcriterio con el que se compara, obtendremos prioridad general de cada alternativa respecto al criterio o subcriterio correspondiente.



**Figura 11. Determinación de las prioridades de las alternativas**

Finalmente sumamos todas las prioridades de cada alternativa y obtenemos la prioridad de cada una de ellas respecto al objetivo.

SUBC.1.1	SUBC.1.2	SUBC.1.3	SUBC.2.1	SUBC.2.2	C.3.	PRIORIDAD
P A.1	P A.1	$\sum$ P A.1				
P A.2	P A.2	$\sum$ P A.2				
P A.3	P A.3	$\sum$ P A.3				
P A.4	P A.4	$\sum$ P A.4				

**Figura 12. Prioridad total de las alternativas**

### 3.1.8. Determinación de la consistencia

Tras determinar las prioridades de los elementos, debemos tener la seguridad de que los resultados obtenidos son válidos para tomar decisiones. Por lo que habrá que analizar si los juicios realizados en las matrices de comparaciones son consistentes. Es muy difícil que obtengamos la consistencia al 100%, por lo que es aceptable un grado controlado de inconsistencia. [36]

Una matriz consistente al 100% debe cumplir que  $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$  para  $i, j$  y  $k = 1, 2, 3...m$ . Esta propiedad requiere que todas las columnas de una matriz sean dependientes. Las columnas en cualquier matriz de comparación 2 x 2 son totalmente dependientes, por lo que siempre son consistentes.

Como hemos adelantado, el resto de matrices es probable que tengan algún grado de inconsistencia. Por lo que el AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] establece que se debe medir la inconsistencia con la razón de consistencia [23]. Para matrices de 3 por 3 el valor

de la proporción de consistencia no debe superar el 5%, no superará el 9% en el caso de matrices de 4 por 4 y para el resto de matrices será del 10% o menor.

Cuando más cerca estemos de los valores anteriormente citados, más consistentes serán los juicios establecidos en las comparaciones pareadas. Si superamos estos valores, quiere decir que los juicios son inconsistentes y aleatorios, por lo que se deben repasar y corregir.

El proceso Analítico Jerárquico [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] determina la proporción de consistencia o razón de consistencia como el cociente entre el Índice de Consistencia real de la matriz estudiada y el Índice de Consistencia Aleatorio [23].

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

**IC** = Índice de Consistencia

**IA** = Índice de Consistencia Aleatorio

**(Ecuación 2. Razón de Consistencia)**

A continuación, se expondrá como calcular los índices de inconsistencia.

#### **3.1.8.1. Índice de consistencia de la matriz a estudiar (IC)**

Para que una matriz sea consistente, la suma de los elementos de las columnas y la suma normalizada de sus filas, tienen que ser recíprocos. Es decir, al multiplicarlos darán 1.

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{C.1} & \text{C.2} & \dots & \text{C.M} \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix} & \begin{matrix} \rightarrow (1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m \\ \rightarrow (a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m \\ \rightarrow \vdots \\ \rightarrow (a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m \end{matrix} \\ \begin{matrix} \sum \text{C.1} & \sum \text{C.2} & \dots & \sum \text{C.M} \end{matrix} & \end{matrix}$$

$$\begin{aligned}
 \sum \text{C.1} \times ((1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m) &= 1 \\
 \sum \text{C.2} \times ((a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m) &= 1 \\
 \sum \text{C.M} \times ((a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m) &= 1
 \end{aligned}$$

**Figura 13. Reciprocidad matriz consistente**

Si la Matriz A es totalmente consistente, entonces la matriz N (Matriz A normalizada), tendrá todas las columnas iguales. Por tanto, el valor de cada elemento de la columna es igual a la suma normalizada de su fila correspondiente.

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{pmatrix} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{matrix} \begin{matrix} n_{11} = n_{12} = \dots = n_{1m} \\ n_{21} = n_{22} = \dots = n_{2m} \\ n_{m1} = n_{m2} = \dots = n_{mm} \end{matrix} \\
 \downarrow \\
 \begin{matrix} n_{11} = (n_{11} + n_{12} + \dots + n_{1m}) / m \\ n_{12} = (n_{21} + n_{22} + \dots + n_{2m}) / m \\ n_{m1} = (n_{m1} + n_{m2} + \dots + n_{mm}) / m \end{matrix}$$

**Figura 14. Matriz normalizada totalmente consistente**

La suma normalizada de sus filas y la suma de los elementos de las columnas, también son recíprocos, como ocurría con la matriz antes de normalizarla.

Si sumamos los resultados obtenidos al multiplicar el sumatorio de cada columna por su fila normalizada, obtenemos el valor  $m$ , igual al orden de la matriz, es decir igual al número de elementos comparados en la matriz. Este valor es conocido como  $\lambda_{\max}$  (lambda máx).

$$\begin{array}{l}
 \sum C.1 \times ((n_{11} + n_{12} + \dots + n_{1m}) / m) = \\
 \sum C.2 \times ((n_{21} + n_{22} + \dots + n_{2m}) / m) = \\
 \vdots \\
 \sum C.M \times ((n_{m1} + n_{m2} + \dots + n_{mm}) / m) =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 1 \\
 1 \\
 \vdots \\
 1
 \end{array}
 \xrightarrow{\Sigma / m}
 \boxed{m = \lambda_{\max}}$$

**Figura 15. Obtención de lambda máx**

Cuando una matriz no es consistente  $\lambda_{\max}$  es mayor a  $m$  y cuando más se aleje del valor  $m$ , mayor será el valor obtenido en el Índice de Consistencia.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad m: \text{Total de elementos comparados}$$

(Ecuación 3. Índice de Consistencia)

### 3.1.8.2. Índice de consistencia aleatoria (IA)

El índice de Consistencia Aleatoria [23], es el Índice de Consistencia de una matriz de comparaciones pareadas  $m \times m$ , en la que se han realizado las comparaciones de forma

aleatoria. El valor del índice depende del número de elementos comparados. Además, en base a la información consultada existen diferentes índices aleatorios de consistencia del mismo tipo de matriz, a continuación, se pueden observar las tablas 2 y 3 :

**Tabla 2. Índice de consistencia aleatorio (T. L. Saaty 1990) [36]**

Nº de Elementos Comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatorio de Consistencia	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45

**Tabla 3. Índice de consistencia aleatorio (Toskano Hurtado 2005) [31]**

Nº de Elementos Comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatorio de Consistencia	0	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,4	1,45

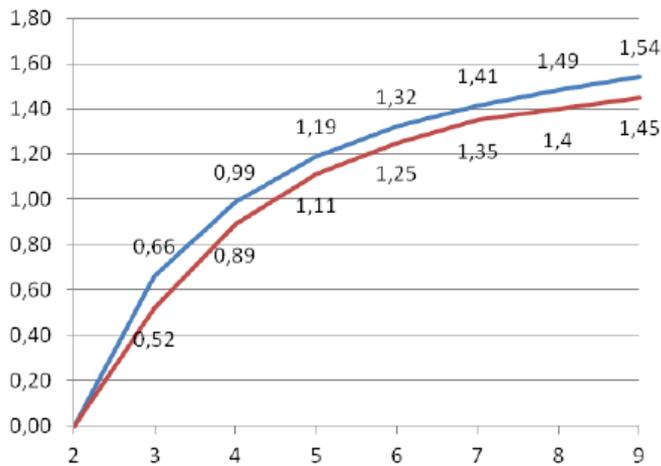
Otra forma de determinar el índice de Consistencia Aleatorio es mediante la siguiente fórmula (Toskano Hurtado 2005) [31]:

$$IA = \frac{1,98(m-2)}{m}$$

**m:** Total de elementos comparados

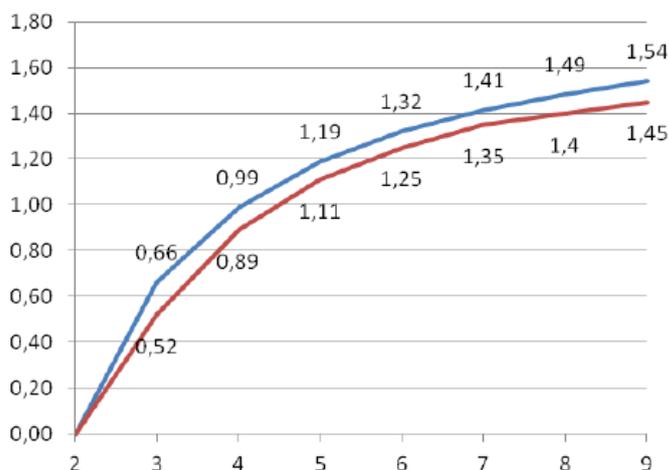
**(Ecuación 4. Índice de Consistencia Aleatoria)**

Al comparar los resultados obtenidos con la fórmula 4 y los reflejados en las diferentes tablas 2 y 3, vemos una diferencia considerable en los resultados.



**Gráfico 1: VALORES IA SEGÚN FÓRMULA (Toskano Hurtado 2005) VS ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (T. L. Saaty 1990) [36]**

$m$	2	3	4	5	6	7	8	9
$(1,98 \times (m-2))/m$	0	0,66	0,99	1,19	1,32	1,41	1,49	1,54
$IA$	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,4	1,45



**Gráfico 2: VALORES IA SEGÚN FÓRMULA (Toskano Hurtado 2005) VS ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (Toskano Hurtado 2005) [31]**

$m$	2	3	4	5	6	7	8	9
$(1,98 \times (m-2))/m$	0	0,66	0,99	1,19	1,32	1,41	1,49	1,54
$IA$	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45

### 3.1.8.3. Determinación de la razón de consistencia (RC)

Una vez obtenido el índice de consistencia **IC** y el Índice Aleatorio de Consistencia **IA**, podemos calcular la Razón de Consistencia en (o **CR** por sus siglas en inglés-Consistency Ratio). Los resultados obtenidos al realizar el cociente pueden ser  $CR \leq 0,10$  o  $CR > 0,10$ .

Cuando el resultado es mayor que 0,10 significa que los juicios establecidos en la matriz de comparaciones pareadas son inconsistentes, por lo que las prioridades obtenidas no son válidas para tomar una decisión y el decisor o grupo de decisores debe reconsiderar los juicios establecidos.

Para  $CR \leq 0,10$  la consistencia es aceptable, por lo que las prioridades son válidas, para tomar una decisión.

Para matrices 3x3 la RC deberá ser  $\leq 0,05$  para que la consistencia sea aceptable. Si son matrices 4x4 la RC tendrá que ser  $\leq 0,09$  para que la consistencia sea aceptable.

## 3.2. Aplicación práctica del proceso analítico jerárquico (AHP) para la reducción de costes intangibles y tangibles

### 3.2.1. Identificación de las alternativas

A partir de los datos de averías en garantía de 2 años en una de las marcas de un fabricante de componentes, se genera un informe con un resumen de las piezas sustituidas en garantía ordenadas de mayor a menor, según el gasto que ha supuesto cada referencia de pieza, para la organización en estos 2 años. Para tener una visión más completa del impacto de estas piezas,

se especifica también el número de casos que hay registrados para cada referencia de pieza, para saber que averías afectan a un mayor número de clientes.

Del total de piezas se hace una selección del Top 10 en cuanto a coste, verificando que, a parte de un alto coste, también el número de casos es elevado, para así tener claro que han impactado en un gran número de clientes.

Para saber matemáticamente el impacto en coste y número de casos de estas piezas, se calcula el peso de cada una de estas 10, en comparación con el total de gasto y total de casos. El peso en coste de las 10 piezas, es el 30,03% del gasto en garantía de los 2 años y el peso por número de casos es del 10,83%. A continuación, se detallan las cifras en la Tabla 4:

**Tabla 4: Top ten piezas según el gasto en garantía**

<b>Top 10 PIEZAS SUSTITUIDAS 2 AÑOS</b>	<b>Número Casos</b>	<b>Coste total 2014-2015</b>	<b>Ranking Gasto</b>
PIEZA 1	859	608.854 €	1
PIEZA 2	245	575.147 €	2
PIEZA 3	113	503.982 €	3
PIEZA 4	266	498.370 €	4
PIEZA 5	2.535	375.083 €	5
PIEZA 6	267	229.793 €	6
PIEZA 7	1.726	209.398 €	7
PIEZA 8	275	205.560 €	8
PIEZA 9	204	195.430 €	9
PIEZA 10	255	157.582 €	10
<b>Total general</b>	<b>6.745</b>	<b>3.559.200 €</b>	

<b>Total Garantía 2 AÑOS</b>	62.256	11.852.87 8 €
<b>Peso del top 10 en comparación con total Garantía</b>	<b>10,83%</b>	<b>30,03%</b>

De las cifras anteriores se puede concluir que la muestra es lo suficientemente significativa ya que la mejora de la calidad en estas 10 piezas, supondrían un ahorro muy importante para el fabricante. Su impacto en la imagen de marca y la satisfacción de los clientes también tiene un valor importante, ya que el 10% de las averías en garantía se focaliza en estas 10 piezas.

Una vez visto que realizar acciones de mejora de la calidad sobre **estas 10 piezas**, puede suponer una mejora sustancial en la mejora de la calidad general del producto, tendremos que concluir en qué orden de prioridad debemos hacer las mejoras, ya que el presupuesto para ello es limitado. Estas 10 piezas **serán las Alternativas tanto en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] como en el Proceso Analítico en Red (ANP) [11, 35].**

### 3.2.2. Determinación de los criterios

Vamos a determinar 6 consecuencias intangibles de la No Calidad que en la organización están identificadas como puntos clave, aunque no se miden, ni se controlan y que evidentemente se traducirán en costes intangibles:

- a) **Imagen de Marca:** Cuando se vende un producto con algún problema de calidad la imagen de marca puede verse seriamente afectada. Una gran imagen de marca es el mejor “marketing” que puede tener una empresa.
- b) **Satisfacción de los clientes:** Tener a la mayoría de los clientes satisfechos, supone tener una alta probabilidad de que esos clientes sean fieles y aumenta la probabilidad de repetir la compra de la misma marca.
- c) **Pérdida de Ventas por tener mala Imagen de Marca:** Es evidente que una mala imagen de marca supone una pérdida de ventas importante, pero ¿cómo de importante? Este es un dato que a priori no se puede medir.

- d) **Pérdida de Ventas por Insatisfacción de Clientes:** Este es un dato que tampoco podemos medir con exactitud.
- e) **Los Empleados dejan de ser Embajadores de la Marca:** Como consecuencia directa de la falta de calidad en los productos fabricados, los propios empleados sienten una desmotivación que provoca falta de rendimiento y hace que dejen de sentirse orgullosos de la empresa en la que trabajan y consecuentemente abandonan su función de embajadores de la marca.
- f) **Vendedores sin seguridad en el producto:** Si los vendedores perciben que hay falta de calidad en el producto que venden, les genera inseguridad para poder venderlo a los clientes, esto se traduce directamente en menores ventas.

### 3.2.3. Jerarquía del AHP para la reducción de costes intangibles y tangibles

Ahora ya tenemos tanto las 10 Alternativas como los 6 Criterios, para poder mostrar la Jerarquía del Proceso AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] en la Figura 16:

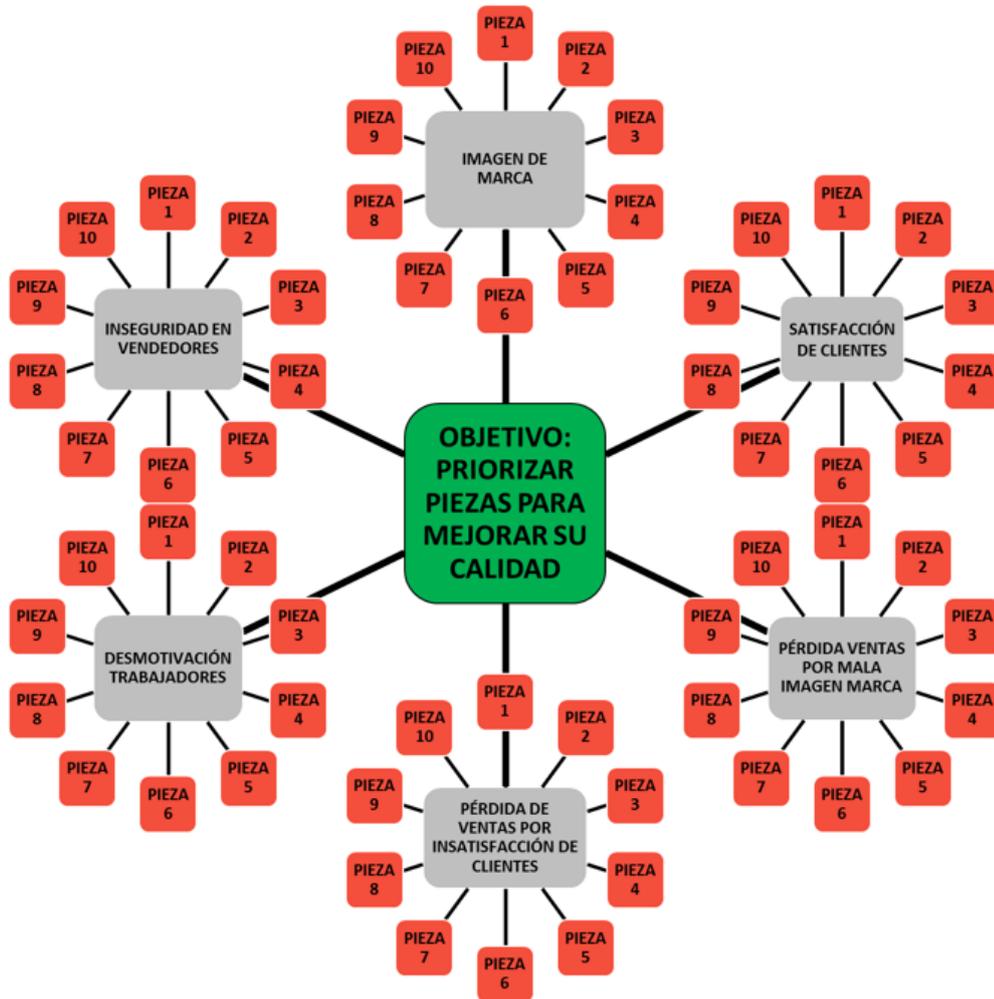


Figura 16. Jerarquía AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]

### 3.2.4. Diseño de la aplicación excel para el cálculo de preferencias

Para la determinación de las preferencias, se ha diseñado una aplicación informática automatizada, basada en Microsoft Excel 2013.

La aplicación permite recoger los juicios emitidos por varios de los responsables del fabricante en las comparaciones de los criterios y de las alternativas. Una vez determinados todos los juicios dicha aplicación obtendrá las prioridades a partir de los juicios dados, empleando un método de aproximación.

Se establecen las matrices de comparaciones pareadas para los Criterios y para las Alternativas en función de cada uno de los Criterios, formulando en Excel dichas matrices basándonos en los 4 axiomas enunciados en el apartado 2.6.

A continuación, se muestra la estructura de las Matrices de Comparación de Criterios y de Alternativas en las Figuras 17 y 18.

Promedio de los Elementos de  
cada Fila de la Matriz  
Normalizada-PRIORIDADES



Juicios de los Responsables  
Aplicando Escala Saaty.

MATRIZ COMPARACION CRITERIOS													
	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCION CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	MATRIZ NORMALIZADA						VECTOR PROMEDIO
IMAGEN DE MARCA	1	1	7	7	9	9	0,399	0,399	0,420	0,420	0,346	0,346	0,388
SATISFACCION CLIENTES	1,000	1	7	7	9	9	0,399	0,399	0,420	0,420	0,346	0,346	0,388
PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	0,143	0,143	1	1	3	3	0,057	0,057	0,060	0,060	0,115	0,115	0,077
PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCION CLIENTES	0,143	0,143	1,000	1	3	3	0,057	0,057	0,060	0,060	0,115	0,115	0,077
DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	0,111	0,111	0,333	0,333	1	1	0,044	0,044	0,020	0,020	0,038	0,038	0,034
VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	0,111	0,111	0,333	0,333	1,000	1	0,044	0,044	0,020	0,020	0,038	0,038	0,034
SUMA	2,508	2,508	16,667	16,667	26,000	26,000							

Recíprocos de los juicios de los Responsables:  

$$\frac{1}{\text{Juicios de los Responsables}}$$

Normalización de la matriz:  

$$\frac{\text{Cada Elemento de Matriz}}{\sum \text{Elementos de cada columna}}$$

Figura 17. Descripción matriz comparación de criterios

Juicios de los Responsables  
Aplicando Escala Saaty.

Promedio de los Elementos de cada Fila de la Matriz Normalizada-PRIORIDADES

IMAGEN DE MARCA																					
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA								VECTOR PROMEDIO		
Pieza 4	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	0,115	0,222	0,229	0,110	0,102	0,054	0,034	0,047	0,047	0,065	0,103
Pieza 2	1	1	1	3	7	5	7	5	5	7	0,115	0,222	0,229	0,329	0,239	0,270	0,240	0,234	0,147	0,152	0,217
Pieza 1	1	1	1	3	7	7	7	5	5	7	0,115	0,222	0,229	0,329	0,239	0,270	0,240	0,234	0,236	0,152	0,227
Pieza 3	1,000	0,333	0,333	1	7	3	7	5	7	7	0,115	0,074	0,076	0,110	0,239	0,162	0,240	0,234	0,330	0,152	0,173
Pieza 9	0,333	0,143	0,143	0,143	1	1	1	1	1	3	0,038	0,032	0,033	0,016	0,034	0,054	0,034	0,047	0,047	0,065	0,040
Pieza 5	1,000	0,200	0,200	0,333	1,000	1	3	1	1	5	0,115	0,044	0,046	0,037	0,034	0,054	0,103	0,047	0,047	0,109	0,064
Pieza 8	1,000	0,143	0,143	0,143	1,000	0,333	1	1	1	5	0,115	0,032	0,033	0,016	0,034	0,018	0,034	0,047	0,047	0,109	0,048
Pieza 7	1,000	0,200	0,200	0,200	1,000	1,000	1	1	1	3	0,115	0,044	0,046	0,022	0,034	0,054	0,034	0,047	0,047	0,109	0,051
Pieza 6	1,000	0,333	0,200	0,143	1,000	1,000	1	1	1	7	0,115	0,074	0,046	0,016	0,034	0,054	0,034	0,047	0,047	0,109	0,058
Pieza 10	0,333	0,143	0,143	0,143	0,333	0,200	0,200	0,333	0,200	1	0,038	0,032	0,033	0,016	0,011	0,011	0,007	0,016	0,009	0,022	0,019
SUMA	8,667	4,495	4,367	9,105	29,333	18,333	29,200	21,333	21,200	46											

Recíprocos  
de los juicios  
de los  
Responsables

Normalización de la  
matriz:  $\frac{\text{Cada Elemento de Matriz}}{\sum \text{Elementos de cada columna}}$

Figura 18. Descripción matriz comparación de alternativas en función de cada criterio

La aplicación Excel se ha diseñado con más funcionalidades, una de las más importantes es el **cálculo de la consistencia de los juicios para cada una de las matrices de Criterios y de Alternativas**, ya que como hemos comentado anteriormente, debemos tener la seguridad de que los resultados obtenidos son válidos para tomar decisiones, por lo tanto, es imprescindible saber si los juicios emitidos por los responsables son consistentes o no. En la Figura 19 se visualiza la plantilla para el cálculo de la consistencia para cada matriz de Criterios o Alternativas.

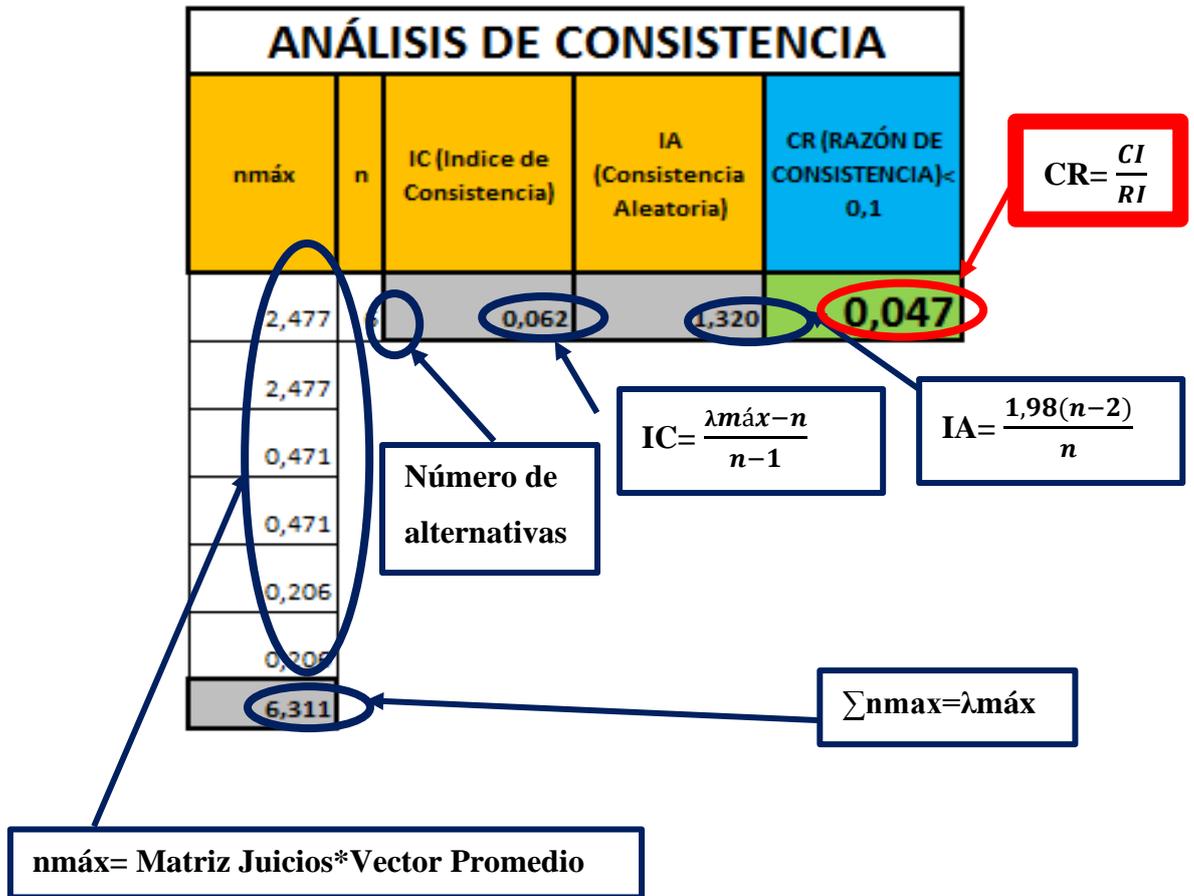


Figura 19. Consistencia de los juicios

Después de obtener las prioridades de la Matriz de Comparación de Criterios y las prioridades de las Matrices de Comparación de las Alternativas en función de cada Criterio y de realizar el cálculo de la Consistencia para cada una de ellas, se diseña otra hoja de Excel que realice el cálculo del resultado final del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]. En la Figura 20 se mostrará el cálculo de dicho resultado.

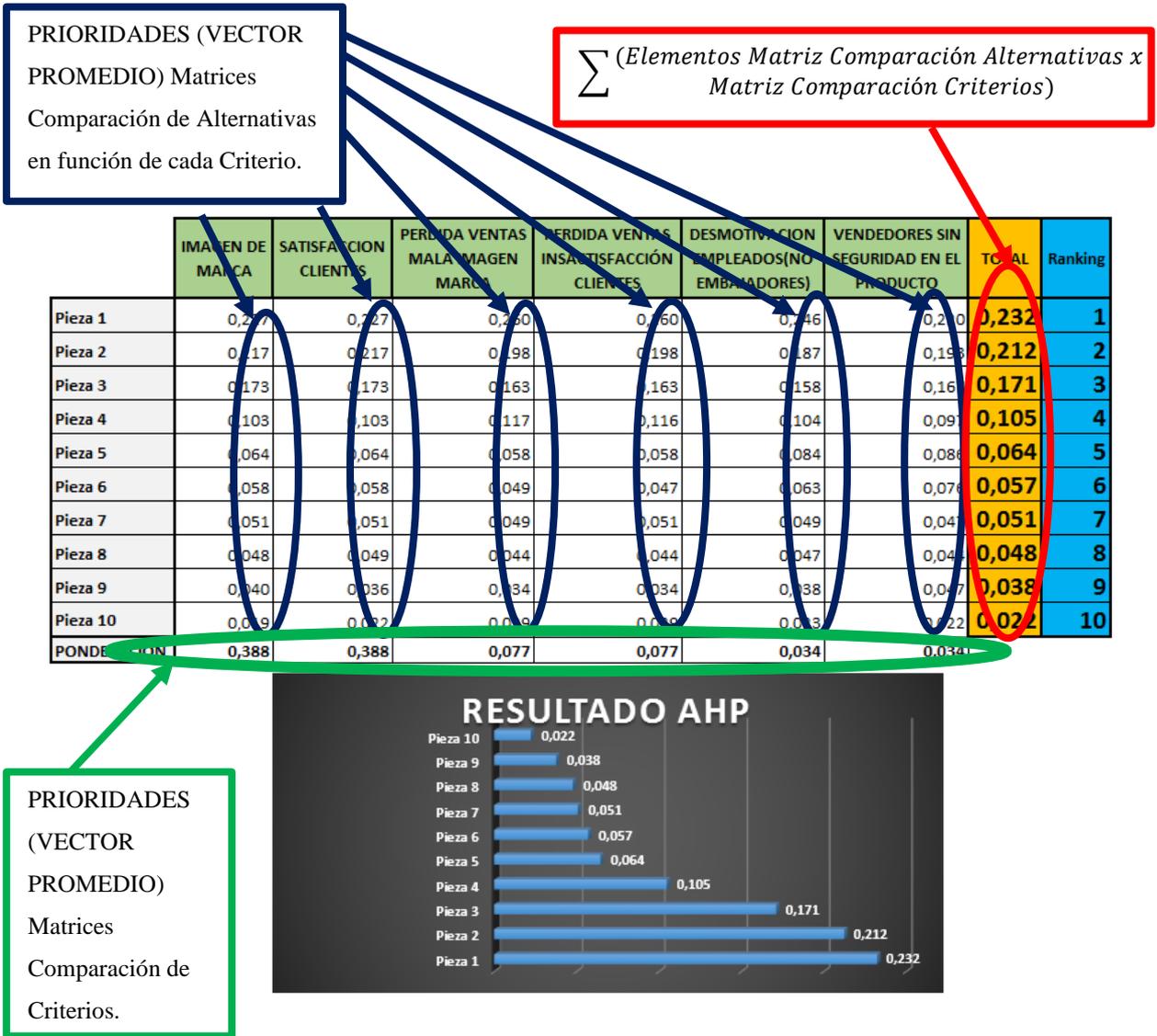


Figura 20. Cálculo del resultado final del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]

En el libro Excel existirá una Matriz de comparación de Criterios, 6 Matrices de Comparación de Alternativas (1 por cada Criterio) y una hoja de Resultado de AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34], por cada uno de los participantes en la realización de juicios.

Se generará en el mismo libro Excel una hoja, a modo de resumen, donde se compararán los Resultados del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] de cada uno de los responsables que emitan juicios. Ver Figura 21.

COMPARATIVA RESULTADOS DE LOS AHP										
	TOTAL S.GARANTIA	TOTAL R.TÉCNICO	TOTAL S.TÉCNICO	TOTAL S. EQUIPO ING.	TOTAL G. CUST.CARE	Ranking S. GARANTÍA	Ranking R.TÉCNICO	Ranking S.TÉCNICO	Ranking S. EQUIPO ING.	Ranking G. CUST.CARE
Pieza 1	0,232	0,189	0,246	0,257	0,257	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,212	0,152	0,221	0,220	0,229	2	3	2	2	2
Pieza 3	0,171	0,176	0,141	0,155	0,155	3	2	3	3	3
Pieza 4	0,105	0,115	0,123	0,130	0,109	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,064	0,047	0,044	0,033	0,038	5	8	8	9	7
Pieza 6	0,057	0,109	0,066	0,059	0,066	6	5	5	5	5
Pieza 7	0,051	0,042	0,031	0,031	0,028	7	9	9	10	10
Pieza 8	0,048	0,052	0,051	0,042	0,044	8	7	7	6	6
Pieza 9	0,038	0,079	0,054	0,039	0,037	9	6	6	7	8
Pieza 10	0,022	0,039	0,023	0,033	0,037	10	10	10	8	9

**Figura 21. Comparativa resultados de los AHP de todos emisores de juicios**

En esta misma hoja Excel se ha realizado la formulación para calcular el Análisis de Robustez y el Análisis de Sensibilidad basándonos en los resultados obtenidos en la tabla Comparativa de Resultados de los AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]. Ver Figura 22 y 23.

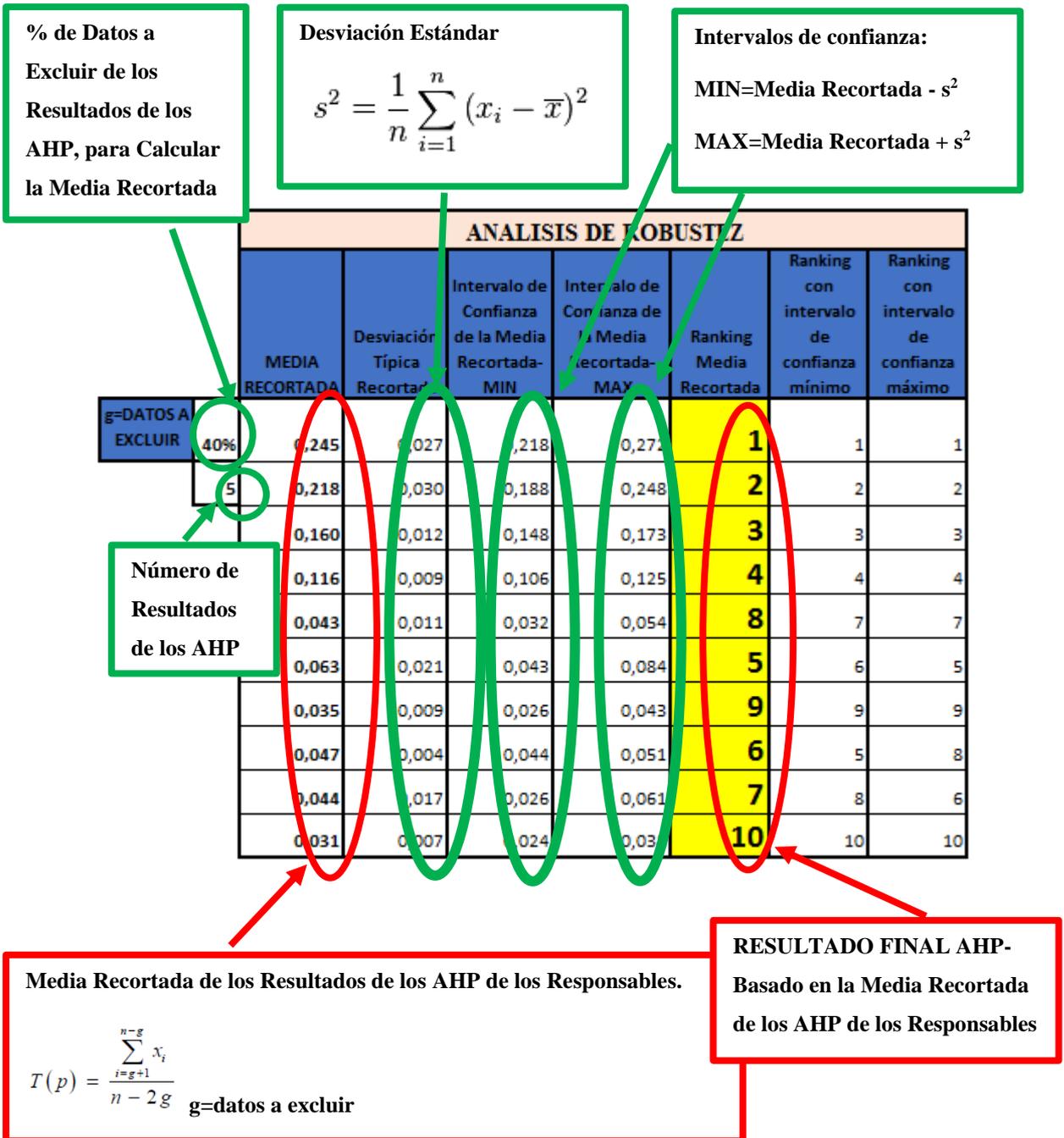


Figura 22. Análisis de robustez

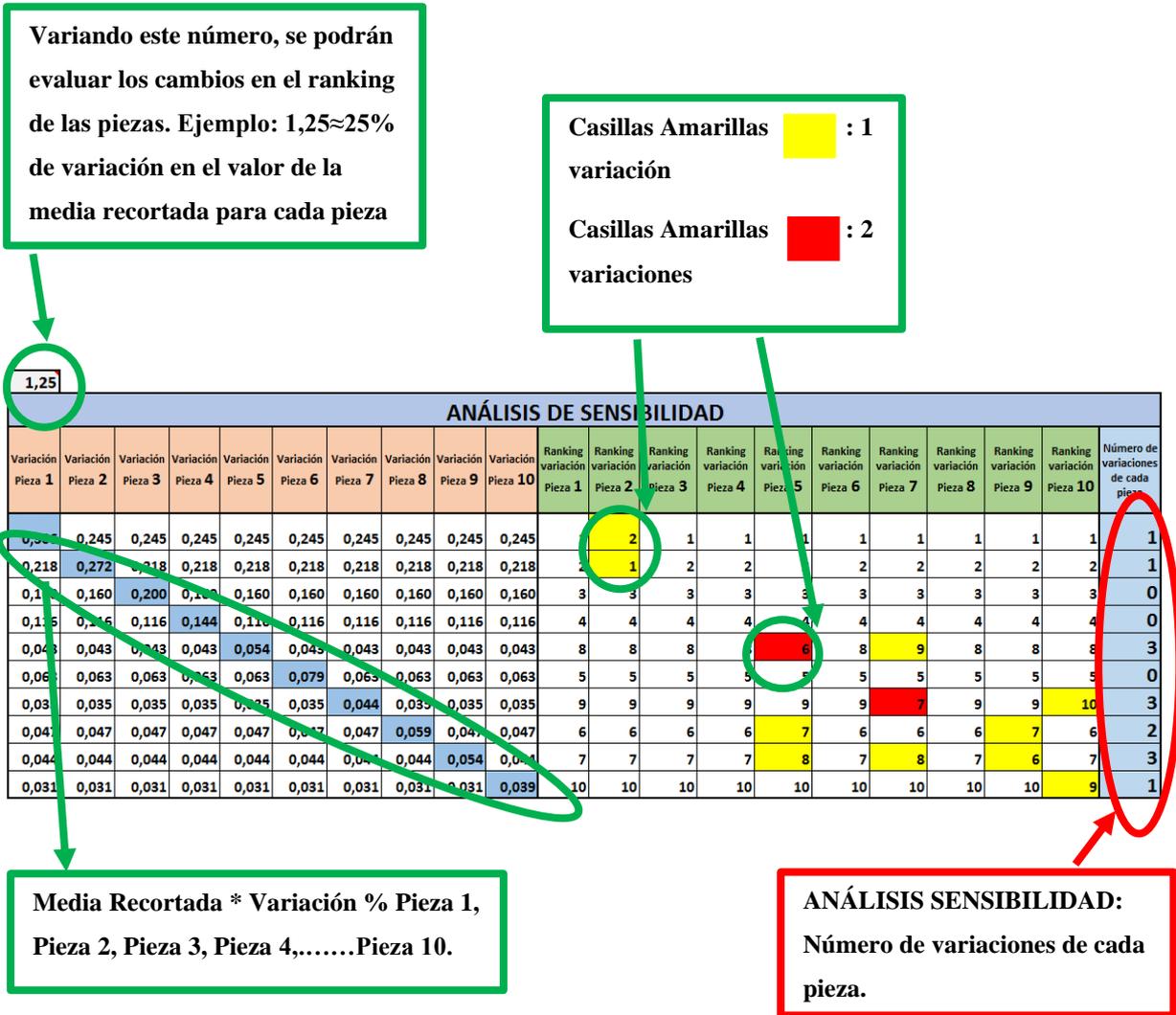


Figura 23. Análisis de sensibilidad

### 3.2.5. Determinación de las preferencias

La preferencia de los elementos se determinará basándonos en juicios que emitirán los responsables del Departamento de Atención al Cliente del fabricante, sobre la importancia relativa que tiene un criterio o alternativa sobre otro, al compararlo con un criterio o alternativa del nivel superior.

Se han elegido a los responsables del fabricante, cuyos conocimientos son los más adecuados para poder emitir juicios a cerca del asunto que estamos abordando. Estos directivos son los máximos expertos en los ámbitos de Atención al Cliente, Análisis de incidentes de Calidad de Producto, Análisis de Costes de Garantías, etc. Y aunque sus juicios no serán idénticos, se asemejarán bastante, para obtener un resultado homogéneo. En concreto se ha solicitado la opinión de los siguientes directivos y mandos intermedios:

- Gerente del Departamento de Atención al Cliente.
- Supervisor del Equipo de Ingenieros de Campo.
- Supervisor Área Técnica.
- Supervisora de Garantías.
- Responsable Técnico.

A cada uno de ellos se les ha solicitado que emitan juicios en las matrices pareadas de Criterios y de Alternativas, dispuestas a tal fin, en la herramienta Excel. Aplicando una escala del 1 al 9 (Escala de Preferencias de Saaty [36]) para realizar el juicio de valor a través de comparaciones pareadas.

Tabla 5: Escala de Saaty [36] empleada para obtener peso de los criterios.

GRADO DE IMPORTANCIA				
IGUAL	MODERADA	FUERTE	MUY FUERTE	EXTREMA
1	3	5	7	9

A cada uno de los participantes se les hace entrega de la herramienta Excel, donde tendrán que rellenar las matrices de comparaciones pareadas en base a la escala de Saaty[36]. Tendrán que rellenar un total de 7 matrices:

- Matriz Comparación Criterios.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Imagen de Marca**.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Satisfacción de Cliente**.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Perdida de Ventas por Mala Imagen**.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Perdida de Ventas por Insatisfacción de Clientes**.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Desmotivación de Trabajadores**.
- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de **Inseguridad Vendedores**.

Ninguno de los participantes está influenciado por los resultados del resto de participantes, cada uno hace la evaluación de forma individual.

Una vez emitidos los juicios de los responsables, se evalúa la consistencia de los resultados de cada matriz y en caso de existir alguna matriz inconsistente, se les pide rehacer el juicio, hasta que sea consistente.

### 3.2.6. Matrices de juicios y resultado del AHP del gerente customer care

En la matriz de comparación de criterios y en todas las matrices de comparación de alternativas, el Gerente de Customer de Care debe rellenar con los valores de la Escala de Saaty [36] las casillas que están por encima de la diagonal (Se señalan en azul para su fácil identificación). Una vez completadas todas las casillas por encima de la diagonal, el resto de los cálculos se realizan automáticamente.

- **Matriz Comparación Criterios.**

MATRIZ COMPARACIÓN CRITERIOS													
	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCIÓN CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSATISFACCIÓN CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS (NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	MATRIZ NORMALIZADA					VECTOR PROMEDIO	
IMAGEN DE MARCA	1	1	7	7	5	5	0,372	0,409	0,389	0,318	0,250	0,250	0,331
SATISFACCIÓN CLIENTES	1,000	1	9	9	9	9	0,372	0,409	0,500	0,409	0,450	0,450	0,432
PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	0,143	0,111	1	3	3	3	0,053	0,045	0,056	0,136	0,150	0,150	0,098
PERDIDA VENTAS POR INSATISFACCIÓN CLIENTES	0,143	0,111	0,333	1	1	1	0,053	0,045	0,019	0,045	0,050	0,050	0,044
DESMOTIVACION EMPLEADOS (NO EMBAJADORES)	0,200	0,111	0,333	1,000	1	1	0,074	0,045	0,019	0,045	0,050	0,050	0,047
VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	0,200	0,111	0,333	1,000	1,000	1	0,074	0,045	0,019	0,045	0,050	0,050	0,047
SUMA	2,686	2,444	18,000	22,000	20,000	20,000							

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA			
nmáx	n	CI (Índice de Consistencia)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
2,232	6	0,115	0,087
2,895			
0,609			
0,267			
0,285			
0,285			
6,573			

**Figura 24. Matriz comparación criterios y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care**

Para identificar los criterios de mayor importancia, hay que fijarse en el vector promedio. Los de mayor importancia corresponden a los valores más altos de dicho vector. En este caso el número uno es “Satisfacción de los Clientes” y en segundo lugar “Imagen de Marca”. La matriz es consistente, ya que la Razón de Consistencia es menor o igual a 0,1.

- **Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Imagen de Marca.**

IMAGEN DE MARCA												ANÁLISIS DE CONSISTENCIA										
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO	
Pieza 4	1	1	1	1	3	1	3	1	1	1	0,115	0,202	0,210	0,172	0,125	0,052	0,079	0,029	0,036	0,029	0,105	
Pieza 2	1	1	1	1	7	3	9	9	7	9	0,115	0,202	0,210	0,172	0,292	0,156	0,237	0,265	0,250	0,265	0,216	
Pieza 1	1	1	1	1	7	7	9	9	7	9	0,115	0,202	0,210	0,172	0,292	0,365	0,237	0,265	0,250	0,265	0,237	
Pieza 3	1	1	1	1	1	5	7	7	5	7	0,115	0,202	0,210	0,172	0,042	0,260	0,184	0,206	0,179	0,206	0,178	
Pieza 9	0,333	0,143	0,143	1	1	1	1	1	1	1	0,038	0,029	0,030	0,172	0,042	0,052	0,026	0,029	0,036	0,029	0,048	
Pieza 5	1,000	0,333	0,143	0,200	1	1	5	3	3	3	0,115	0,067	0,030	0,034	0,042	0,052	0,132	0,088	0,107	0,088	0,076	
Pieza 8	0,333	0,111	0,111	0,143	1,000	0,200	1	1	1	1	0,038	0,022	0,023	0,025	0,042	0,010	0,026	0,029	0,036	0,029	0,028	
Pieza 7	1,000	0,111	0,111	0,143	1,000	0,333	1	1	1	1	0,115	0,022	0,023	0,025	0,042	0,017	0,026	0,029	0,036	0,029	0,037	
Pieza 6	1,000	0,143	0,143	0,200	1,000	0,333	1	1	1	1	0,115	0,029	0,030	0,034	0,042	0,017	0,026	0,029	0,036	0,029	0,039	
Pieza 10	1,000	0,111	0,111	0,143	1,000	0,333	1	1	1	1	0,115	0,022	0,023	0,025	0,042	0,017	0,026	0,029	0,036	0,029	0,037	
SUMA	8,667	4,952	4,762	5,829	24,000	19,200	38	34	28	34												

nmáx	n	CI (Índice de Consistencia)	RI (Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,153	10,000	0,156	1,584	<b>0,098</b>
2,485				
2,787				
2,065				
0,541				
0,847				
0,314				
0,394				
0,419				
0,394				
11,400				

**Figura 25. Matriz comparación alternativas en función de la imagen marca y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care**

Se observa que la matriz es Consistente, por lo tanto, el juicio es válido.

Para saber cuál es la prioridad en cuanto a las diferentes alternativas (Piezas), tenemos que analizar de nuevo el vector promedio, donde el mayor valor será la alternativa (Pieza) que tenga más prioridad y la de menor prioridad la de menor valor del vector promedio. En este caso, la pieza a la que hay que dar mayor prioridad sería la PIEZA 1 y la de menor prioridad PIEZA 8.

- **Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Satisfacción de Cliente.**

SATISFACCIÓN CLIENTES																						
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO	
Pieza 4	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0,119	0,205	0,258	0,085	0,156	0,048	0,147	0,033	0,037	0,033	0,112	
Pieza 2	1	1	1	1	9	3	9	9	9	9	0,119	0,205	0,258	0,085	0,281	0,145	0,265	0,300	0,329	0,300	0,229	
Pieza 1	1	1	1	7	7	7	9	9	9	9	0,119	0,205	0,258	0,597	0,219	0,339	0,265	0,300	0,329	0,300	0,293	
Pieza 3	1	1	0,143	1	5	5	3	3	3	3	0,119	0,205	0,037	0,085	0,156	0,242	0,088	0,100	0,110	0,100	0,124	
Pieza 9	0,200	0,111	0,143	0,2	1	1	1	1	1	1	0,024	0,023	0,037	0,017	0,031	0,048	0,029	0,033	0,037	0,033	0,031	
Pieza 5	1,000	0,333	0,143	0,200	1	1	3	3	1	1	0,119	0,068	0,037	0,017	0,031	0,048	0,088	0,100	0,037	0,033	0,058	
Pieza 8	0,200	0,111	0,111	0,333	1,000	0,333	1	1	1	1	0,024	0,023	0,029	0,028	0,031	0,016	0,029	0,033	0,037	0,033	0,028	
Pieza 7	1,000	0,111	0,111	0,333	1,000	0,333	1	1	1	1	0,119	0,023	0,029	0,028	0,031	0,016	0,029	0,033	0,037	0,033	0,038	
Pieza 6	1,000	0,111	0,111	0,333	1,000	1,000	1	1	1	3	0,119	0,023	0,029	0,028	0,031	0,048	0,029	0,033	0,037	0,100	0,048	
Pieza 10	1,000	0,111	0,111	0,333	1,000	1,000	1	1	0,333	1	0,119	0,023	0,029	0,028	0,031	0,048	0,029	0,033	0,012	0,033	0,039	
SUMA	8,400	4,889	3,873	11,733	32,000	20,667	34	30	27,333	30												

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA				
nmáx	n	Ci(Índice de Consistencia)	Ri(Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,239	10,000	0,158	1,584	<b>0,099</b>
2,588				
3,502				
1,411				
0,356				
0,630				
0,325				
0,415				
0,531				
0,422				
<b>11,418</b>				

Figura 26. Matriz comparación alternativas en función de la satisfacción de cliente y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care

La matriz es consistente y la alternativa prioritaria es la PIEZA 1 y la de menor prioridad la PIEZA 8.

- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Perdida de Ventas por Mala Imagen.

PERDIDAS VENTAS POR MALA IMAGEN DE MARCA																					
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO
Pieza 4	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0,119	0,210	0,211	0,209	0,132	0,039	0,119	0,031	0,036	0,028	0,113
Pieza 2	1	1	1	1	9	7	9	7	7	9	0,119	0,210	0,211	0,209	0,237	0,272	0,214	0,219	0,250	0,250	0,219
Pieza 1	1	1	1	1	9	7	9	9	7	9	0,119	0,210	0,211	0,209	0,237	0,272	0,214	0,281	0,250	0,250	0,225
Pieza 3	1	1	1,000	1	9	7	9	7	7	7	0,119	0,210	0,211	0,209	0,237	0,272	0,214	0,219	0,250	0,194	0,214
Pieza 9	0,200	0,111	0,111	0,111	1	1	1	1	1	1	0,024	0,023	0,023	0,023	0,026	0,039	0,024	0,031	0,036	0,028	0,028
Pieza 5	1,000	0,143	0,143	0,143	1	1	5	3	1	5	0,119	0,030	0,030	0,030	0,026	0,039	0,119	0,094	0,036	0,139	0,066
Pieza 8	0,200	0,111	0,111	0,111	1,000	0,200	1	1	1	1	0,024	0,023	0,023	0,023	0,026	0,008	0,024	0,031	0,036	0,028	0,025
Pieza 7	1,000	0,143	0,111	0,143	1,000	0,333	1	1	1	1	0,119	0,030	0,023	0,030	0,026	0,013	0,024	0,031	0,036	0,028	0,036
Pieza 6	1,000	0,143	0,143	0,143	1,000	1,000	1	1	1	1	0,119	0,030	0,030	0,030	0,026	0,039	0,024	0,031	0,036	0,028	0,039
Pieza 10	1,000	0,111	0,111	0,143	1,000	0,200	1	1	1	1	0,119	0,023	0,023	0,030	0,026	0,008	0,024	0,031	0,036	0,028	0,035
SUMA	8,400	4,762	4,730	4,794	38,000	25,733	42	32	28,000	36											

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA				
nmáx	n	CI (Índice de Consistencia)	RI (Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,210	10	0,154	1,584	<b>0,097</b>
2,547				
2,619				
2,477				
0,324				
0,746				
0,272				
0,385				
0,436				
0,369				
<b>11,383</b>				

Figura 27. Matriz comparación alternativas en función de la perdida de ventas por mala imagen de marca y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care

La matriz es consistente y la alternativa prioritaria es la PIEZA 1 y la de menor prioridad la PIEZA 8.

- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Perdida de Ventas por Insatisfacción de Clientes.

PERDIDAS VENTAS POR INSATISFACCIÓN DE CLIENTES																						
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO	
Pieza 4	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0,119	0,211	0,253	0,101	0,156	0,049	0,132	0,036	0,039	0,029	0,113	
Pieza 2	1	1	1	1	9	7	9	9	7	9	0,119	0,211	0,253	0,101	0,281	0,343	0,237	0,321	0,276	0,265	0,241	
Pieza 1	1	1	1	5	9	5	9	9	9	9	0,119	0,211	0,253	0,507	0,281	0,245	0,237	0,321	0,355	0,265	0,279	
Pieza 3	1	1	0,200	1	3	3	5	3	3	3	0,119	0,211	0,051	0,101	0,094	0,147	0,132	0,107	0,118	0,088	0,117	
Pieza 9	0,200	0,111	0,111	0,333	1	1	1	1	1	1	0,024	0,023	0,028	0,034	0,031	0,049	0,026	0,036	0,039	0,029	0,032	
Pieza 5	1,000	0,143	0,200	0,333	1	1	5	1	1	5	0,119	0,030	0,051	0,034	0,031	0,049	0,132	0,036	0,039	0,147	0,067	
Pieza 8	0,200	0,111	0,111	0,200	1,000	0,200	1	1	1	1	0,024	0,023	0,028	0,020	0,031	0,010	0,026	0,036	0,039	0,029	0,027	
Pieza 7	1,000	0,111	0,111	0,333	1,000	1,000	1	1	1	1	0,119	0,023	0,028	0,034	0,031	0,049	0,026	0,036	0,039	0,029	0,042	
Pieza 6	1,000	0,143	0,111	0,333	1,000	1,000	1	1	1	3	0,119	0,030	0,028	0,034	0,031	0,049	0,026	0,036	0,039	0,088	0,048	
Pieza 10	1,000	0,111	0,111	0,333	1,000	0,200	1	1	0,333	1	0,119	0,023	0,028	0,034	0,031	0,010	0,026	0,036	0,013	0,029	0,035	
SUMA	8,400	4,730	3,956	9,867	32,000	20,400	38	28	25,333	34												

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA				
nmáx	n	CI (Índice de Consistencia)	RI (Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,235	10	0,147	1,584	<b>0,093</b>
2,772				
3,202				
1,330				
0,370				
0,739				
0,301				
0,460				
0,537				
0,374				
<b>11,320</b>				

Figura 28. Matriz comparación alternativas en función de la perdida de ventas por insatisfacción de clientes y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care

La matriz es consistente y la alternativa prioritaria es la PIEZA 1 y la de menor prioridad la PIEZA 8.

- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Desmotivación de Trabajadores.

DESMOTIVACIÓN TRABAJADORES (NO EMBAJADORES)																						
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA									VECTOR PROMEDIO		
Pieza 4	1	1	1	1	3	1	5	1	1	1	0,117	0,208	0,206	0,175	0,115	0,050	0,125	0,033	0,037	0,026	0,109	
Pieza 2	1	1	1	1	9	5	9	7	7	9	0,117	0,208	0,206	0,175	0,346	0,250	0,225	0,233	0,256	0,237	0,225	
Pieza 1	1	1	1	1	7	5	9	7	7	9	0,117	0,208	0,206	0,175	0,269	0,250	0,225	0,233	0,256	0,237	0,218	
Pieza 3	1	1	1,000	1	1	5	9	7	7	9	0,117	0,208	0,206	0,175	0,038	0,250	0,225	0,233	0,256	0,237	0,195	
Pieza 9	0,333	0,111	0,143	1,000	1	1	1	1	1	1	0,039	0,023	0,029	0,175	0,038	0,050	0,025	0,033	0,037	0,026	0,048	
Pieza 5	1,000	0,200	0,200	0,200	1	1	3	3	1	3	0,117	0,042	0,041	0,035	0,038	0,050	0,075	0,100	0,037	0,079	0,061	
Pieza 8	0,200	0,111	0,111	0,111	1,000	0,333	1	1	1	1	0,023	0,023	0,023	0,019	0,038	0,017	0,025	0,033	0,037	0,026	0,027	
Pieza 7	1,000	0,143	0,143	0,143	1,000	0,333	1	1	1	1	0,117	0,030	0,029	0,025	0,038	0,017	0,025	0,033	0,037	0,026	0,038	
Pieza 6	1,000	0,143	0,143	0,143	1,000	1,000	1	1	1	3	0,117	0,030	0,029	0,025	0,038	0,050	0,025	0,033	0,037	0,079	0,046	
Pieza 10	1,000	0,111	0,111	0,111	1,000	0,333	1	1	0,333	1	0,117	0,023	0,023	0,019	0,038	0,017	0,025	0,033	0,012	0,026	0,033	
SUMA	8,533	4,819	4,851	5,708	26,000	20,000	40	30	27,333	38												

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA				
nmáx	n	CI(Índice de Consistencia)	RI(Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,201	10	0,154	1,584	<b>0,097</b>
2,611				
2,516				
2,230				
0,540				
0,685				
0,305				
0,413				
0,520				
0,361				
<b>11,384</b>				

Figura 29. Matriz comparación alternativas en función de la desmotivación de los trabajadores y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care

La matriz es consistente y la alternativa prioritaria es la PIEZA 2 y la de menor prioridad la PIEZA 8.

- Matriz Comparación Alternativas en función del Criterio de Inseguridad en los Vendedores.

INSEGURIDAD VENDEDORES																						
	Pieza 4	Pieza 2	Pieza 1	Pieza 3	Pieza 9	Pieza 5	Pieza 8	Pieza 7	Pieza 6	Pieza 10	MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO	
Pieza 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,100	0,306	0,134	0,100	0,045	0,050	0,036	0,036	0,047	0,033	0,089	
Pieza 2	1	1	3	5	9	7	9	9	7	9	0,100	0,306	0,402	0,500	0,409	0,350	0,321	0,321	0,328	0,300	0,334	
Pieza 1	1	0,3333	1	1	5	3	5	5	3	5	0,100	0,102	0,134	0,100	0,227	0,150	0,179	0,179	0,141	0,167	0,148	
Pieza 3	1	0,2	1,000	1	1	5	5	5	5	5	0,100	0,061	0,134	0,100	0,045	0,250	0,179	0,179	0,234	0,167	0,145	
Pieza 9	1,000	0,111	0,200	1,000	1	1	1	1	1	1	0,100	0,034	0,027	0,100	0,045	0,050	0,036	0,036	0,047	0,033	0,051	
Pieza 5	1,000	0,143	0,333	0,200	1	1	3	3	1	3	0,100	0,044	0,045	0,020	0,045	0,050	0,107	0,107	0,047	0,100	0,067	
Pieza 8	1,000	0,111	0,200	0,200	1,000	0,333	1	1	1	1	0,100	0,034	0,027	0,020	0,045	0,017	0,036	0,036	0,047	0,033	0,039	
Pieza 7	1,000	0,111	0,200	0,200	1,000	0,333	1	1	1	1	0,100	0,034	0,027	0,020	0,045	0,017	0,036	0,036	0,047	0,033	0,039	
Pieza 6	1,000	0,143	0,333	0,200	1,000	1,000	1	1	1	3	0,100	0,044	0,045	0,020	0,045	0,050	0,036	0,036	0,047	0,100	0,052	
Pieza 10	1,000	0,111	0,200	0,200	1,000	0,333	1	1	0,333	1	0,100	0,034	0,027	0,020	0,045	0,017	0,036	0,036	0,016	0,033	0,036	
SUMA	10,000	3,263	7,467	10,000	22,000	20,000	28	28	21,333	30												

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA				
nmáx	n	CI(Índice de Consistencia)	RI(Consistencia Aleatoria)	CR (RAZÓN DE CONSISTENCIA)
1,000	10	0,154	1,584	<b>0,098</b>
3,916				
1,679				
1,669				
0,585				
0,730				
0,425				
0,425				
0,572				
0,390				
<b>11,390</b>				

Figura 30. Matriz comparación alternativas en función de la inseguridad de los vendedores y consistencia. Juicio del Gerente de Customer Care

La matriz es consistente y la alternativa prioritaria es la PIEZA 2 y las de menor prioridad la PIEZA 7 y 8, con el mismo valor en el vector promedio 0,039.

### Resultado AHP Gerente Customer Care:

Una vez que tenemos todas las matrices, tanto de comparación de criterios, como de alternativas en función de cada uno de los criterios, podemos visualizar cuál es el resultado del AHP en base a la opinión del Gerente de Customer Care.

	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCIÓN CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	TOTAL	Ranking
Pieza 1	0,237	0,293	0,225	0,279	0,218	0,148	<b>0,257</b>	<b>1</b>
Pieza 2	0,216	0,229	0,219	0,241	0,225	0,334	<b>0,229</b>	<b>2</b>
Pieza 3	0,178	0,124	0,214	0,117	0,195	0,145	<b>0,155</b>	<b>3</b>
Pieza 4	0,105	0,112	0,113	0,113	0,109	0,089	<b>0,109</b>	<b>4</b>
Pieza 9	0,048	0,031	0,028	0,032	0,048	0,051	<b>0,038</b>	<b>7</b>
Pieza 5	0,076	0,058	0,066	0,067	0,061	0,067	<b>0,066</b>	<b>5</b>
Pieza 8	0,028	0,028	0,025	0,027	0,027	0,039	<b>0,028</b>	<b>10</b>
Pieza 6	0,039	0,048	0,039	0,048	0,046	0,052	<b>0,044</b>	<b>6</b>
Pieza 7	0,037	0,038	0,036	0,042	0,038	0,039	<b>0,037</b>	<b>8</b>
Pieza 10	0,037	0,039	0,035	0,035	0,033	0,036	<b>0,037</b>	<b>9</b>
PONDERACION	0,331	0,432	0,098	0,044	0,047	0,047		

Figura 31. Resultado AHP del Gerente de Customer Care



Figura 32. Gráfico resultado AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] del Gerente de Customer Care

Se puede apreciar que las 3 piezas a las que le da mayor prioridad son: PIEZA 1, 2 Y 3, en ese orden. Si tuviésemos sólo en cuenta su juicio tendríamos que mejorar la calidad prioritariamente en estas 3 piezas, para reducir los Costes en Garantía y a su vez mejorar la Imagen de Marca, la Satisfacción de los Clientes, no tener Pérdida de Ventas por Mala Imagen de Marca y por Insatisfacción de los Clientes, tener a los

**Trabajadores Motivados y que se conviertan en embajadores de la marca y conseguir que los Vendedores tengan Seguridad en la calidad del producto.**

### **3.2.7. Resultado del AHP del supervisor de ingenieros de campo.**

Las matrices de juicios tanto de comparación de criterios como las de comparación de alternativas, para cada uno de los responsables se realizan con la misma aplicación y metodología que en el caso del Gerente de Customer y el resultado del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] para el Supervisor de Ingenieros de Campo es el mostrado a continuación en la figura.

	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCIÓN CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	TOTAL	Ranking
Pieza 1	0,267	0,240	0,259	0,262	0,255	0,251	<b>0,257</b>	<b>1</b>
Pieza 2	0,182	0,268	0,214	0,211	0,248	0,251	<b>0,220</b>	<b>2</b>
Pieza 3	0,153	0,131	0,190	0,176	0,167	0,154	<b>0,155</b>	<b>3</b>
Pieza 4	0,139	0,154	0,107	0,107	0,102	0,108	<b>0,130</b>	<b>4</b>
Pieza 9	0,036	0,031	0,030	0,032	0,030	0,034	<b>0,033</b>	<b>9</b>
Pieza 5	0,071	0,041	0,052	0,065	0,056	0,058	<b>0,059</b>	<b>5</b>
Pieza 8	0,037	0,028	0,025	0,030	0,027	0,025	<b>0,031</b>	<b>10</b>
Pieza 6	0,045	0,036	0,043	0,046	0,040	0,041	<b>0,042</b>	<b>6</b>
Pieza 7	0,036	0,034	0,051	0,048	0,040	0,038	<b>0,039</b>	<b>7</b>
Pieza 10	0,033	0,036	0,030	0,022	0,036	0,039	<b>0,033</b>	<b>8</b>
<b>PONDERACION</b>	<b>0,384</b>	<b>0,249</b>	<b>0,109</b>	<b>0,103</b>	<b>0,070</b>	<b>0,085</b>		

**Figura 33. Resultado AHP del Supervisor de ingenieros de campo**

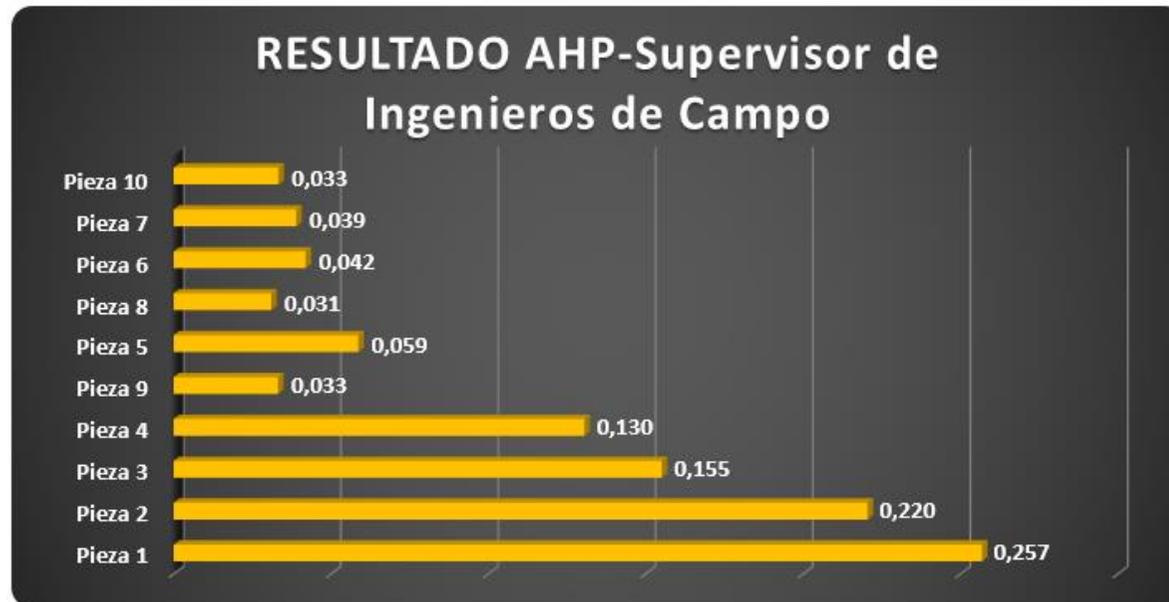


Figura 34. Gráfico resultado AHP del Supervisor de ingenieros de campo

Se puede apreciar que las 3 piezas a las que le da mayor prioridad son: PIEZA 1, 2 Y 3, en ese orden.

### 3.2.8. Resultado del AHP de la supervisora de garantías.

Una vez que tenemos todas las matrices, tanto de comparación de criterios, como de alternativas en función de cada uno de los criterios, podemos observar cuál es el resultado del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] en base a la opinión de la Supervisora de Garantías.

	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS INSACTISFACCIÓN CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	TOTAL	Ranking
Pieza 1	0,227	0,227	0,260	0,260	0,246	0,220	<b>0,232</b>	<b>1</b>
Pieza 2	0,217	0,217	0,198	0,198	0,187	0,193	<b>0,212</b>	<b>2</b>
Pieza 3	0,173	0,173	0,163	0,163	0,158	0,167	<b>0,171</b>	<b>3</b>
Pieza 4	0,103	0,103	0,117	0,116	0,104	0,097	<b>0,105</b>	<b>4</b>
Pieza 5	0,064	0,064	0,058	0,058	0,084	0,086	<b>0,064</b>	<b>5</b>
Pieza 6	0,058	0,058	0,049	0,047	0,063	0,076	<b>0,057</b>	<b>6</b>
Pieza 7	0,051	0,051	0,049	0,051	0,049	0,047	<b>0,051</b>	<b>7</b>
Pieza 8	0,048	0,049	0,044	0,044	0,047	0,044	<b>0,048</b>	<b>8</b>
Pieza 9	0,040	0,036	0,034	0,034	0,038	0,047	<b>0,038</b>	<b>9</b>
Pieza 10	0,019	0,022	0,029	0,029	0,023	0,022	<b>0,022</b>	<b>10</b>
PONDERACION	0,388	0,388	0,077	0,077	0,034	0,034		

Figura 35. Resultado AHP de la Supervisora de garantías



Figura 36. Gráfico resultado AHP de la Supervisora de garantías

Se puede apreciar que las 3 piezas a las que le da mayor prioridad son: PIEZA 1, 2 Y 3, en ese orden.

### 3.2.9. Resultado del AHP del supervisor técnico

Una vez que tenemos todas las matrices, tanto de comparación de criterios, como de alternativas en función de cada uno de los criterios, podemos observar cuál es el resultado del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] en base a la opinión del Supervisor Técnico.

	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCIÓN CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	TOTAL	Ranking
Pieza 1	0,253	0,261	0,220	0,249	0,213	0,238	<b>0,246</b>	<b>1</b>
Pieza 2	0,230	0,224	0,220	0,203	0,235	0,179	<b>0,221</b>	<b>2</b>
Pieza 3	0,157	0,122	0,163	0,135	0,126	0,163	<b>0,141</b>	<b>3</b>
Pieza 4	0,114	0,124	0,144	0,124	0,102	0,135	<b>0,123</b>	<b>4</b>
Pieza 9	0,035	0,039	0,037	0,066	0,063	0,048	<b>0,044</b>	<b>8</b>
Pieza 5	0,061	0,061	0,072	0,060	0,097	0,071	<b>0,066</b>	<b>5</b>
Pieza 8	0,027	0,036	0,028	0,030	0,031	0,035	<b>0,031</b>	<b>9</b>
Pieza 6	0,048	0,050	0,047	0,051	0,057	0,063	<b>0,051</b>	<b>7</b>
Pieza 7	0,047	0,063	0,041	0,061	0,054	0,049	<b>0,054</b>	<b>6</b>
Pieza 10	0,026	0,020	0,028	0,021	0,023	0,020	<b>0,023</b>	<b>10</b>
PONDERACION	0,271	0,319	0,134	0,134	0,088	0,053		

Figura 37. Resultado AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] del Supervisor técnico

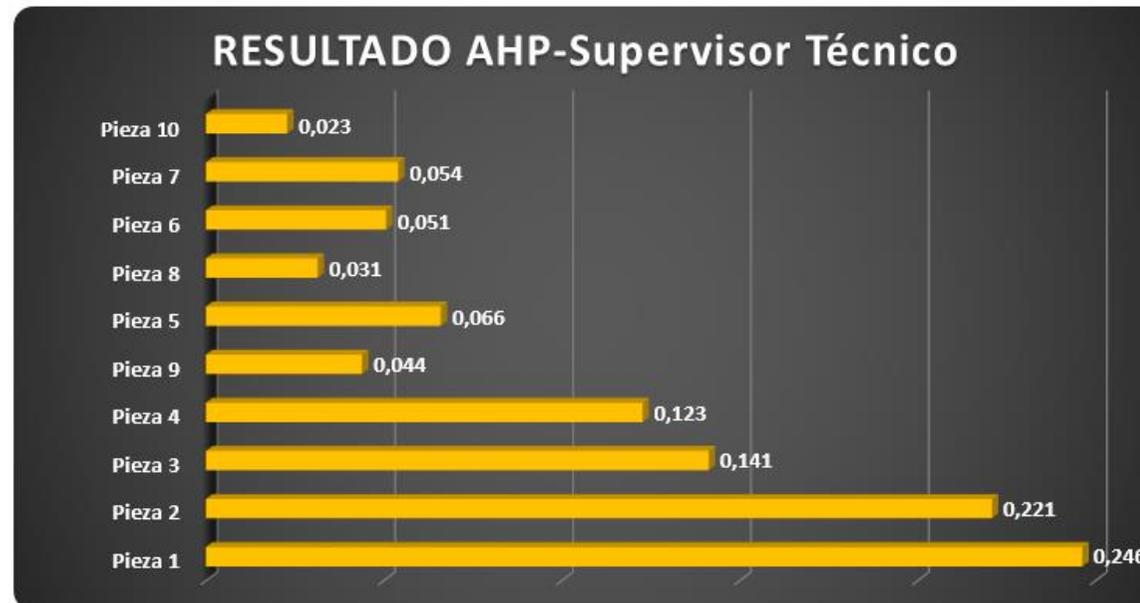


Figura 38. Gráfico resultado AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] del Supervisor técnico

Se puede apreciar que las 3 piezas a las que le da mayor prioridad son: PIEZA 1, 2 Y 3, en ese orden.

### Resultado del AHP del responsable técnico

Una vez que tenemos todas las matrices, tanto de comparación de criterios, como de alternativas en función de cada uno de los criterios, podemos observar cuál es el resultado del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] en base a la opinión del responsable técnico.

	IMAGEN DE MARCA	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN MARCA	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCION CLIENTES	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL PRODUCTO	TOTAL	Ranking
Pieza 1	0,226	0,200	0,088	0,200	0,229	0,245	<b>0,189</b>	<b>1</b>
Pieza 2	0,135	0,174	0,105	0,177	0,193	0,142	<b>0,152</b>	<b>3</b>
Pieza 3	0,189	0,151	0,212	0,177	0,159	0,145	<b>0,176</b>	<b>2</b>
Pieza 4	0,091	0,103	0,126	0,148	0,135	0,148	<b>0,115</b>	<b>4</b>
Pieza 9	0,048	0,048	0,065	0,031	0,032	0,035	<b>0,047</b>	<b>8</b>
Pieza 5	0,076	0,108	0,159	0,107	0,092	0,113	<b>0,109</b>	<b>5</b>
Pieza 8	0,054	0,033	0,058	0,031	0,029	0,032	<b>0,042</b>	<b>9</b>
Pieza 6	0,071	0,057	0,045	0,031	0,037	0,040	<b>0,052</b>	<b>7</b>
Pieza 7	0,071	0,087	0,097	0,068	0,056	0,070	<b>0,079</b>	<b>6</b>
Pieza 10	0,040	0,039	0,045	0,029	0,038	0,031	<b>0,039</b>	<b>10</b>
PONDERACION	0,244	0,313	0,185	0,156	0,064	0,038		

Figura 39. Resultado AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] del responsable técnico

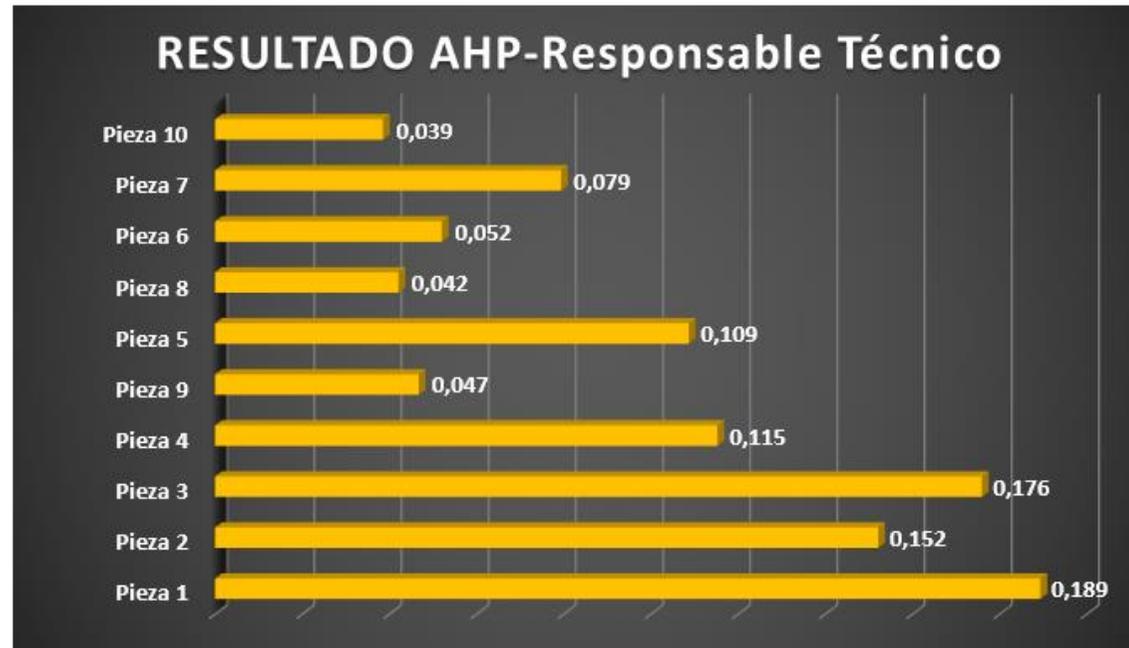


Figura 40. Gráfico resultado AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] del responsable técnico

Se puede apreciar que las 3 piezas a las que le da mayor prioridad son: PIEZA 1, 3 Y 2, en ese orden.

### 3.3. Comparativa de resultados de los AHP de los 5 directivos

Una vez que se han obtenido los resultados de los AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34] de los 5 responsables, los comparamos comprobando que existe una gran homogeneidad en dichos resultados, tal como era de esperar.

COMPARATIVA RESULTADOS DE LOS AHP										
	TOTAL S.GARANTIA	TOTAL R.TÉCNICO	TOTAL S.TÉCNICO	TOTAL S. EQUIPO ING.	TOTAL G. CUST.CARE	Ranking S. GARANTÍA	Ranking R.TÉCNICO	Ranking S.TÉCNICO	Ranking S. EQUIPO ING.	Ranking G. CUST.CARE
Pieza 1	0,232	0,189	0,246	0,257	0,257	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,212	0,152	0,221	0,220	0,229	2	3	2	2	2
Pieza 3	0,171	0,176	0,141	0,155	0,155	3	2	3	3	3
Pieza 4	0,105	0,115	0,123	0,130	0,109	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,064	0,047	0,044	0,033	0,038	5	8	8	9	7
Pieza 6	0,057	0,109	0,066	0,059	0,066	6	5	5	5	5
Pieza 7	0,051	0,042	0,031	0,031	0,028	7	9	9	10	10
Pieza 8	0,048	0,052	0,051	0,042	0,044	8	7	7	6	6
Pieza 9	0,038	0,079	0,054	0,039	0,037	9	6	6	7	8
Pieza 10	0,022	0,039	0,023	0,033	0,037	10	10	10	8	9

Figura 41. Comparativa de resultados de los 5 AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34]

Como se puede apreciar en la Figura 41, todos los responsables que han emitido juicios, han coincidido casi al 100%, en que las piezas prioritarias deberían ser la Pieza 1 (Prioridad 1), Pieza 2 (Prioridad 2), Pieza 3 (Prioridad 3), Pieza 4 (Prioridad 4) y Pieza 6 (Prioridad 5).

En cuanto a la comparativa de las piezas con menor prioridad, existe más disparidad de resultados. Por ejemplo: El responsable Técnico y el Supervisor Técnico estiman que la Pieza 5, debería ser la número 8 en cuanto a prioridad, la Supervisora de Garantías le da el número 5, el Supervisor del Equipo de Ingenieros le adjudica prioridad 9 y el Gerente de Customer Care la posiciona con prioridad 7.

Para poder tener un único resultado final y tomar una decisión fiable, se va a aplicar Estadística Robusta a los 5 resultados de los AHP, que hemos obtenido con los juicios de los responsables del fabricante.

### **3.4. Análisis de robustez**

Como ya se anticipaba en el apartado anterior, se va a proceder a realizar un Análisis de Robustez, para obtener el Resultado Final del AHP [1, 6, 7, 8, 20, 22, 25, 31, 32, 34], en base a los resultados individuales de los AHP de los responsables de cada área.

#### **3.4.1. Estadística robusta**

Los índices descriptivos clásicos por excelencia, la media aritmética y la desviación estándar, cambian sustancialmente su valor ante la presencia de datos anómalos, lo que los convierte en índices poco resistentes. En cambio, los índices descriptivos resistentes se caracterizan por ser insensibles a conductas erróneas o alejadas, localizadas en los datos. Los índices resistentes o robustos ponen su atención en el cuerpo principal de los datos y muy poca en los valores anómalos o alejados

- **Índices descriptivos resistentes**

En este apartado se exponen una serie de índices descriptivos resistentes:

- Media recortada
- Media winsorizada
- Suma de desviaciones cuadráticas winsorizada
- Varianza winsorizada
- Varianza recortada
- Intervalo de confianza de la media recortada

**La media recortada:** permite eliminar un determinado número o proporción de observaciones a cada lado de la distribución. Con este índice se puede obtener una medida de localización resistente tras el recorte de los posibles valores anómalos presentes en la distribución. En una muestra formada por  $n$  observaciones, ordenadas de manera ascendente, la media recortada la constituyen una proporción  $p$  de casos en cada extremo de la distribución. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T(p) = \frac{\sum_{i=g+1}^{n-g} x_i}{n - 2g}$$

(Ecuación 5. Media Recortada)

donde:  $g$  es el número de observaciones que son eliminadas a cada lado de la distribución y viene dado por:

$$g = [pn]$$

(Ecuación 6)

Siempre se eliminará un número entero de observaciones.

**Media winsorizadas:** Para calcular la media winsorizada, en lugar de eliminar un número entero de observaciones de cada extremo, se sustituyen por el último valor, en cada extremo, que forma parte del análisis. La media winsorizada  $W(p)$  se define en la siguiente ecuación:

$$W(p) = \frac{(g+1)x_{g+1} + x_{g+2} + \dots + x_{n-g-1} + (g+1)x_{n-g}}{n}$$

(Ecuación 7. Media Winsorizada)

**Suma de desviaciones cuadráticas winsorizadas:** La suma de desviaciones cuadráticas winsorizada,  $SDC(W)$ , representa la distancia cuadrática de las observaciones respecto a su media una vez winsorizada la muestra, y se obtiene por medio de:

$$SDC(W) = (g+1)(x_{g+1} - W(p))^2 + (x_{g+2} - W(p))^2 + \dots + (x_{n-g-1} - W(p))^2 + (g+1)(x_{n-g} - W(p))^2$$

**(Ecuación 8. Suma de desviaciones cuadráticas winsorizadas)**

**Varianza winsorizada:** La varianza winsorizada  $S^2_w$  se obtiene como una varianza muestral habitual, tras haber winsorizado la muestra:

$$S^2_w = \frac{SDC(W)}{n - 1}$$

**(Ecuación 9. Varianza winsorizada)**

**Varianza recortada:** A través de la varianza winsorizada podemos obtener la varianza estimada de una media recortada  $T(p)$ :

$$S^2_T = \frac{S^2_w}{n(1 - 2p)^2}$$

**(Ecuación 10. Varianza Recortada)**

**Intervalo de confianza de la media recortada:** Una vez obtenida la media recortada muestral será conveniente, desde el punto de vista inferencial, proporcionar una estimación por intervalo del valor poblacional. Esto se consigue proporcionando el intervalo de confianza que, en general, suele ser del 95 %.

Para ello, en primer lugar, se requiere conocer el valor del error estándar de la distribución muestral de medias recortadas, que dependerá de la proporción  $p$  de observaciones recortadas.

El error estándar de una media recortada es:

$$EE(T) = s_T$$

(Ecuación 11. Error Estándar)

El intervalo de confianza  $1 - \alpha$ , se obtiene por medio de:

$$\mu_t \in T \pm t_{v,\alpha} EE(T)$$

(Ecuación 12. Intervalo Confianza)

donde:

$$v = n - 2g - 1$$

(Ecuación 13. grados de libertad)

son los grados de libertad (es decir, el número de observaciones que quedan después de recortar una proporción  $p$ ,  $h = (n - 2g - 1)$  de la distribución  $t$  de Student.

### 3.4.2. Aplicación de la media recortada, para obtener el resultado final del AHP

Una vez estudiados los diversos Índices Descriptivos Resistentes, vamos a optar por la Media Recortada y la Desviación típica, para desarrollar nuestro Análisis de Robustez con el fin de obtener el Resultado Final del AHP. Se han escogido estos Índices Descriptivos por su sencillez y fiabilidad.

Para el cálculo de la Media Recortada, así como para el cálculo de la Desviación Típica, utilizaremos la herramienta Excel diseñada a tal fin.

Para la Media Recortada se ha elegido truncar un 40% de los datos de los AHP, es decir, 2 de los 5 Resultados que hemos obtenido.

El resultado final del AHP corresponderá a la Media Recortada obtenida de los 5 resultados de los AHP. Por orden de mayor a menor, tendremos la prioridad que hay que dar a cada Pieza, es decir, el mayor valor de la Media Recortada, corresponderá a la Pieza con mayor prioridad y así sucesivamente.

El Análisis de Robustez se muestra en la siguiente Figura 42.

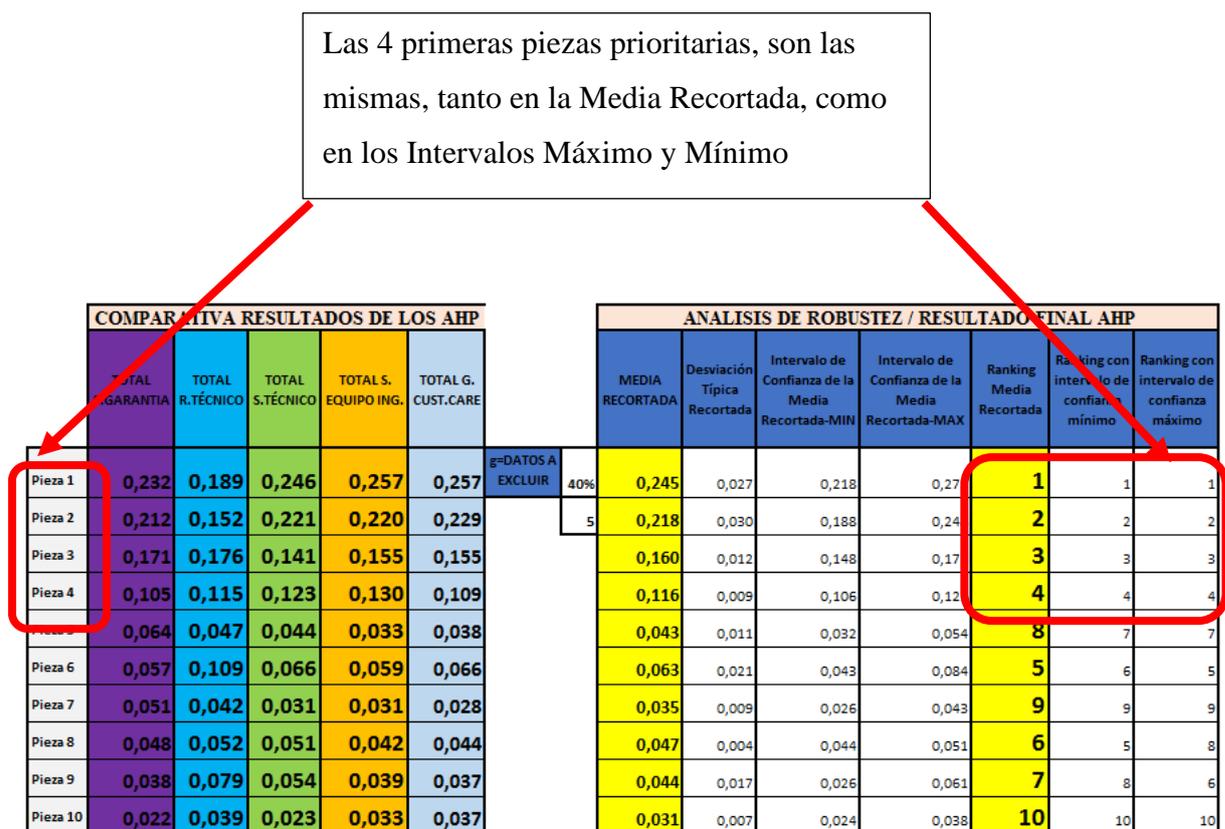


Figura 42. Análisis de robustez y resultado final AHP

Como se puede apreciar en el Análisis de Robustez, hemos calculado los Intervalos de Confianza para ver si existen variaciones sustanciales en los “Rankings” de prioridades de Piezas y se demuestra que las 4 Piezas Prioritarias tanto en la Media Recortada, como en los intervalos de confianza Mínimo y Máximo son siempre las mismas, PIEZA 1, 2, 3 Y 4.

Las 6 Piezas restantes sufren ligeras variaciones en la prioridad asignada, entre la Media Recortada y los Intervalos de Confianza.

**En vista del resultado del Análisis de Robustez, se tomarían, como Piezas Prioritarias las siguientes: PIEZA 1, 2 , 3 Y 4. Como Resultado Final del AHP tomaríamos el Ranking de la Media Recortada.**

### 3.5. Análisis de sensibilidad para el AHP

A continuación, se va a realizar un Análisis de Sensibilidad, para ver las posibles variaciones en el Ranking de prioridades de Piezas, si modificamos los valores de la Media Recortada entre 0% y 25%, para cada una de las Piezas. Se establecerán Intervalos de variación en función del comportamiento. Para ellos utilizaremos nuestra herramienta Excel, diseñada a tal fin.

**Intervalo 1:** Entre 0 y 2% de variación de la Media Recortada, no existe ningún cambio en el Ranking de Piezas.

1																				
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 43. Análisis de sensibilidad intervalo 1 (0-2%)

- **Intervalo 2:** Entre 2 y 9% de variación de la Media Recortada, se produce cambio en la prioridad de la Pieza 5 (de 8 a 7) y de la Pieza 9 (de 7 a 8).

1,02																				
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,250	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,222	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,163	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,118	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,065	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,036	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,048	0,047	0,047	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,032	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 44. Análisis de sensibilidad intervalo 2 (2-9%)

- **Intervalo 3:** Entre 9% y 10% de variación de la Media Recortada, se produce cambio en la prioridad de la Pieza 8 (de 6 a 7) y en la Pieza 9 (de 7 a 6).

1,1																				
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,270	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,240	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,176	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,127	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,047	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,070	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,038	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,052	0,047	0,047	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,048	0,044	7	7	7	7	8	7	7	7	6	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,034	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 45. Análisis de sensibilidad intervalo 3 (9-10%)

- **Intervalo 4:** Entre 10% y 11% de variación de la Media Recortada, se produce un segundo cambio (se señala en rojo) en la prioridad de la Pieza 5 (de 7 a 6) y en la Pieza 8 (de 6 a 7).

**1,11**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,272	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,242	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,178	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,128	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,048	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	6	6	8	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,070	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,039	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,053	0,047	0,047	6	6	6	5	7	6	6	6	7	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,048	0,044	7	7	7	7	8	7	7	7	6	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,034	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 46. Análisis de sensibilidad intervalo 4 (10-11%)

- **Intervalo 5:** Entre 11% y 13% de variación de la Media Recortada, se produce un cambio en la prioridad de la Pieza 1 (de 1 a 2), Pieza 2 (de 2 a 1), Pieza 7 (de 9 a 10) y Pieza 10 (de 10 a 9).

1,13

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,277	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,246	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,181	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,131	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,049	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	6	8	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,072	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,039	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,054	0,047	0,047	6	6	6	6	7	6	6	6	7	8
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,049	0,044	7	7	7	7	8	7	7	7	6	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,035	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9

Figura 47. Análisis de sensibilidad intervalo 5 (11-13%)

- **Intervalo 6:** Entre 13% y 24% de variación de la Media Recortada, se produce un cambio en la prioridad de la Pieza 5 (de 8 a 9) y Pieza 7 (de 9 a 8).

1,24

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,304	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,270	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,199	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,143	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,053	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	6	8	9	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,079	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,043	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	8	9	9	10
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,059	0,047	0,047	6	6	6	6	7	6	6	7	6	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,054	0,044	7	7	7	7	8	7	7	7	6	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,039	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9

Figura 48. Análisis de sensibilidad intervalo 6 (13-24%)

- **Intervalo 7:** Entre 24% y 25% de variación de la Media Recortada, se produce un segundo cambio en la prioridad (señalado en rojo) de la Pieza 7 (de 8 a 7) y Pieza 9 (de 7 a 8).

1,25

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																				
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10
Pieza 1	0,306	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,272	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,200	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,144	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,054	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	6	8	9	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,079	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,044	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	7	9	9	10
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,059	0,047	0,047	6	6	6	6	7	6	6	6	7	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,054	0,044	7	7	7	7	8	7	8	7	6	7
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,039	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9

Figura 49. Análisis de sensibilidad intervalo 7 (24-25%)

- Conclusiones del Análisis de Sensibilidad:** En la herramienta Excel se genera una columna, que cuenta el número de variaciones que ha sufrido cada Pieza, al **variar los valores de la Media Recortada entre 0-25% en cada Pieza**. A continuación, se muestra el resultado en la Figura 50.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD																					
	Variación Pieza 1	Variación Pieza 2	Variación Pieza 3	Variación Pieza 4	Variación Pieza 5	Variación Pieza 6	Variación Pieza 7	Variación Pieza 8	Variación Pieza 9	Variación Pieza 10	Ranking variación Pieza 1	Ranking variación Pieza 2	Ranking variación Pieza 3	Ranking variación Pieza 4	Ranking variación Pieza 5	Ranking variación Pieza 6	Ranking variación Pieza 7	Ranking variación Pieza 8	Ranking variación Pieza 9	Ranking variación Pieza 10	Número de variaciones de cada pieza
Pieza 1	0,306	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pieza 2	0,218	0,272	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	0,218	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pieza 3	0,160	0,160	0,200	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pieza 4	0,116	0,116	0,116	0,144	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pieza 5	0,043	0,043	0,043	0,043	0,054	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	8	8	8	8	6	8	9	8	8	8	8
Pieza 6	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,079	0,063	0,063	0,063	0,063	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pieza 7	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,044	0,035	0,035	0,035	9	9	9	9	9	9	7	9	9	10	9
Pieza 8	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,059	0,047	0,047	6	6	6	6	7	6	6	6	7	6	6
Pieza 9	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,054	0,044	7	7	7	7	8	7	8	7	8	7	6
Pieza 10	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,039	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9

Figura 50. Resultado final análisis sensibilidad

Se aprecia claramente que las piezas con **mayor número de variaciones son las PIEZAS 5, 7 y 9**, por lo tanto, **son las más sensibles** a los cambios de valores. Existen 3 piezas que no han sufrido **ningún cambio y son la PIEZA 3, 4 Y 6**, estas serían las menos sensibles a los cambios. Las **PIEZAS 1, 2 y 10 que han tenido un solo cambio**, las podemos considerar moderadamente sensibles.

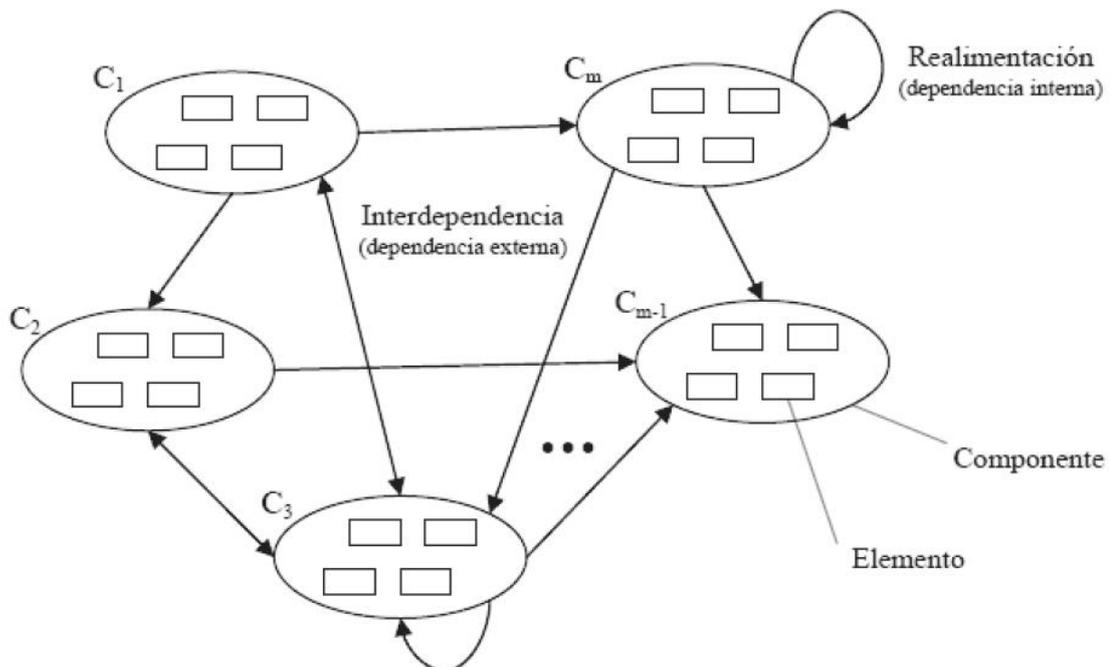
## **CAPÍTULO 4.**

### **PRINCIPIOS TEÓRICOS DEL ANP Y SU APLICACIÓN PRÁCTICA**

#### 4.1. Descripción del ANP

De acuerdo con Saaty (2001), en el método ANP [11, 35] se representa un problema de decisión como una red en la que son posibles las interdependencias entre todos los elementos que lo componen, lo que permite una modelización más aproximada de la realidad que con el método AHP.

Un modelo en red está formado por elementos o nodos (alternativas y criterios de decisión) agrupados en componentes, grupos o clústeres. Los clústeres, se denotan por  $C_h$  (siendo  $h = 1, 2, \dots, m$ ) y se establece que cada clúster contiene  $e_{nh}$  elementos que se denotan por  $e_{1h}, e_{2h}, \dots, e_{nh}$ . Un elemento de un clúster en la red puede tener influencia sobre algunos o todos los elementos de ese mismo clúster o de otro diferente en la red. Se denomina realimentación a la relación que existe entre los elementos de un mismo clúster y se denomina interdependencia a la relación que existe entre elementos de distintos clústeres.



**Figura 51. Esquema general del ANP**

El método ANP [11, 35] se compone de siete pasos principales.

- El primer paso consiste en modelizar el problema de decisión como una red. Para que esta red sea de alta calidad, habrá que tener un conocimiento exhaustivo del problema que se va a modelar. La modelización del problema se puede dividir en tres subtareas sucesivas:
  - Identificar los elementos de la red (criterios de decisión y alternativas).
  - Los elementos con alguna característica en común se agrupan en Clústers.
  - Analizar las relaciones entre elementos de la red. Así se obtiene la matriz dominación interfactorial.

**Tabla 6: Ejemplo Matriz de Dominación Interfactorial**

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	1	0	1	0	1	0
	e12	1	0	1	1	0	1	1
	e13	1	1	0	0	1	1	1
C2	e21	0	1	1	0	0	0	0
	e22	1	1	1	0	0	0	0
	e23	1	0	1	0	0	0	0
	e24	1	1	1	0	0	0	0

- A continuación (segundo paso), se realizan comparaciones pareadas entre elementos mediante el planteamiento de matrices de comparación pareada entre elementos. El procedimiento para completar las matrices de comparación pareada en el ANP [11, 35] es utilizando el concepto de dominancia. Según Saaty (2001), dominancia es tener una influencia mayor con respecto a una propiedad. Este concepto, dice Saaty, se interpreta habitualmente como importancia cuando se comparan los criterios y como preferencia cuando se comparan las alternativas en base a los criterios. La escala fundamental de Saaty empleada para completar las entradas de las matrices de comparación pareada es del 1 al 9 (Tabla 1). Existen tantas matrices de comparación pareada entre elementos asociadas a un elemento de la red, como grupos de elementos pertenecientes a un mismo clúster influyen sobre dicho elemento.
- En tercer lugar, se construye la denominada Supermatriz no ponderada u Original con los vectores de pesos de importancia relativa de los elementos. Las entradas de la supermatriz recogen los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas.

**Tabla 7: Influencia de  $e_{12}$  y  $e_{13}$  sobre  $e_{11}$ .**

	$e_{12}$	$e_{13}$	VECTOR PROPIO
$e_{12}$	1	2	0,6667
$e_{13}$	1/2	1	0,3333
CR	0,00%	= 0%	1,0000

**Tabla 8: Ejemplo de Supermatriz No Ponderada u Original**

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	0,1667	0	0,75	0	0,1603	0
	e12	0,6667	0	1	0,25	0	0,1488	0,6667
	e13	0,3333	0,8333	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	0,2297	0,1248	0	0	0	0
	e22	0,1047	0,122	0,5275	0	0	0	0
	e23	0,2583	0	0,2865	0	0	0	0
	e24	0,637	0,6483	0,0612	0	0	0	0

- Posteriormente (cuarto paso), se calculan las prioridades relativas entre clústeres mediante el planteamiento de matrices de comparación pareada entre clústeres. Una matriz de comparación pareada entre clústeres asociada a un clúster de la red dado es aquella cuyas filas y columnas están formadas por todos los clústeres de la red que tienen influencia sobre dicho componente dado. Existen tantas matrices de comparación pareada entre clústeres en el modelo como grupos de clústeres influyen sobre algún clúster de la red.

**Tabla 9: Matriz de comparación pareada de la influencia de los Clúster C1 y C2 sobre los elementos del Clúster C1**

	C1	C2	VECTOR PROPIO
C1	1	1/3	0,2500
C2	3	1	0,7500
CR	0,00%	= 0%	1,0000

- El quinto paso consiste en ponderar los bloques de la supermatriz no ponderada, mediante los pesos correspondientes de los componentes, para transformarla en la supermatriz ponderada.

**Tabla 10: Supermatriz Ponderada**

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	$0,1667*0.25$	0	0,75	0	0,1603	0
	e12	$0,6667*0.25$	0	$1*0.25$	0,25	0	0,1488	0,6667
	e13	$0,3333*0.25$	$0,8333*0.25$	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	$0,2297*0.75$	$0,1248*0.75$	0	0	0	0
	e22	$0,1047*0.75$	$0,122*0.75$	$0,5275*0.75$	0	0	0	0
	e23	$0,2583*0.75$	0	$0,2865*0.75$	0	0	0	0
	e24	$0,637*0.75$	$0,6483*0.75$	$0,0612*0.75$	0	0	0	0

- En el siguiente paso (sexto), se normaliza la supermatriz ponderada, dividiendo cada valor por la suma de las columnas. De esta forma, se obtiene una matriz estocástica por columnas, es decir, cuyas columnas sumen la unidad (supermatriz ponderada estocástica).

**Tabla 11: Supermatriz Ponderada Estocástica**

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	0,0417	0	0,7500	0	0,1603	0
	e12	0,1667	0	0,2500	0,2500	0	0,1488	0,6667
	e13	0,0833	0,2083	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	0,1723	0,0936	0	0	0	0
	e22	0,0785	0,0915	0,3956	0	0	0	0
	e23	0,1937	0	0,2149	0	0	0	0
	e24	0,4778	0,4862	0,0459	0	0	0	0
		1	1	1	1	1	1	1

- Por último (séptimo paso), se eleva la supermatriz ponderada estocástica a potencias sucesivas hasta que sus entradas converjan y permanezcan estables.

La supermatriz obtenida se denomina límite y todas sus columnas son iguales, consecuencia de partir de una matriz estocástica, y sus valores indican la prioridad global de todos los elementos presentes en la red. Si se desea conocer la prioridad global de las alternativas del problema de decisión, con el fin de ordenarlas de mayor a menor interés, basta con fijarse en las entradas de una columna cualquiera de la supermatriz límite correspondientes a las filas asociadas a las alternativas. Los valores no sumarán 1, pero se podrán normalizar.

**Tabla 12: Supermatriz Límite**

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687
	e12	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107
	e13	0,2918	0,2918	0,2918	0,2918	0,2918	0,2917	0,2918
C2	e21	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636
	e22	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401
	e23	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760
	e24	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1486	0,1487

#### **4.2. Aplicación práctica del proceso analítico en red (ANP) para la reducción de costes intangibles y tangibles**

En un problema de decisión con ANP [11, 35], igual que ocurría con AHP, hay una serie de alternativas que se pretende priorizar y una serie de criterios que son los que nos van a permitir realizar la priorización.

Como punto de partida vamos a utilizar como es natural, las mismas 10 Alternativas y los 6 Criterios que hemos identificado para el AHP.

Para el desarrollo del proceso ANP[11, 35], se va a utilizar el software gratuito “**Superdecisions**” (<https://superdecisions.com>) [44] , que es un software para la toma de decisiones que implementa tanto el proceso AHP como el ANP.

#### **4.3. Modelado del problema de decisión como una red**

Las alternativas se agruparán en un nodo o clúster y los criterios en otro componente o clúster.

Para la construcción de la red se tienen en cuenta las interdependencias entre los criterios intangibles, las interdependencias entre las alternativas y la dependencia entre criterios y alternativas. Una vez establecidas estas relaciones tendremos el esquema de la Red del ANP[11, 35].

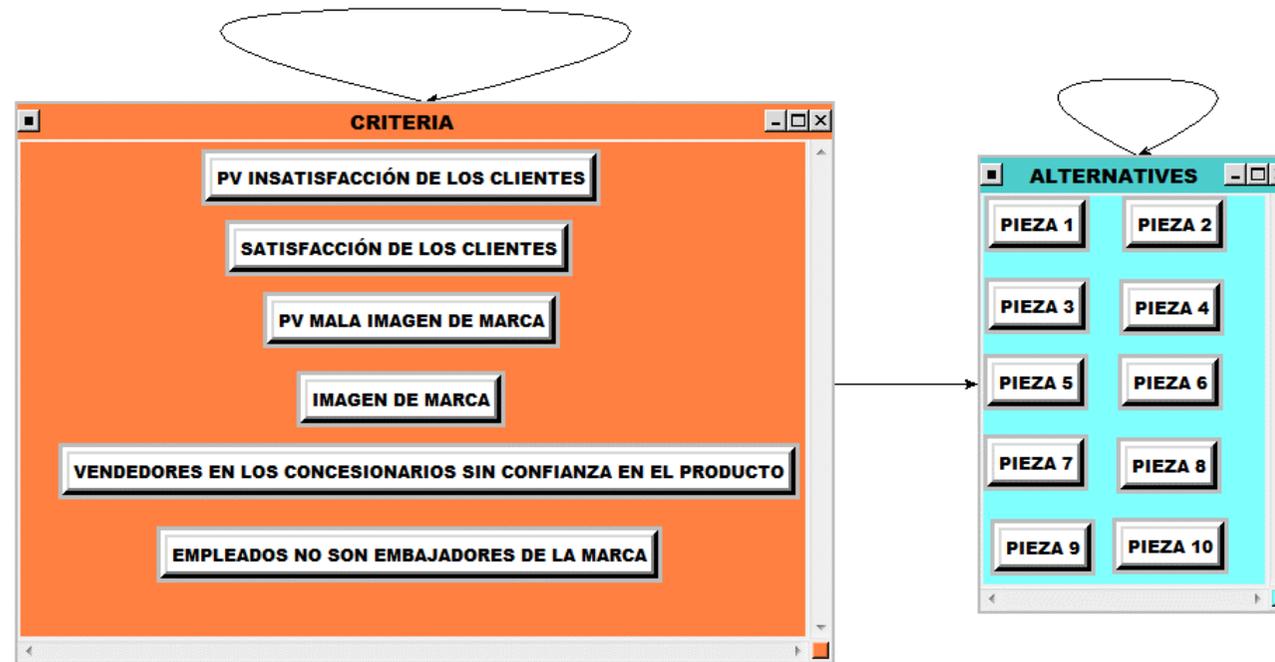


Figura 52. Esquema red del ANP [11, 35] según “Superdecisiones”

Se comparará cada criterio con el resto de criterios de su cluster, cada alternativa con el resto de alternativas del cluster y criterios con alternativas.

Una vez analizadas las relaciones entre elementos de la red, se obtiene la matriz de dominación interfactorial, donde se representan con “1” los elementos entre los que existe una relación de dominancia y con “0” los elementos entre los que no existe dicha relación de dominancia.

Matriz Dominación Interfactorial		C1						ALTERNATIVAS									
		IMAGEN DE MARCA	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCIÓN	DESMOTIVACION EMPLEADOS(INO EMBAJADORES)	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5	PIEZA 6	PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10
C1	IMAGEN DE MARCA	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	SATISFACCION CLIENTES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PERDIDA VENTAS POR INSACTISFACCIÓN	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DESMOTIVACION EMPLEADOS(INO EMBAJADORES)	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	VENDEDORES SIN SEGURIDAD EN EL	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
ALTERNATIVAS	PIEZA 1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	PIEZA 2	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIEZA 3	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
	PIEZA 4	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	PIEZA 5	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	PIEZA 6	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	PIEZA 7	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	PIEZA 8	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	PIEZA 9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	PIEZA 10	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 53. Matriz dominación interfactorial

#### 4.4. Comparaciones pareadas entre elementos

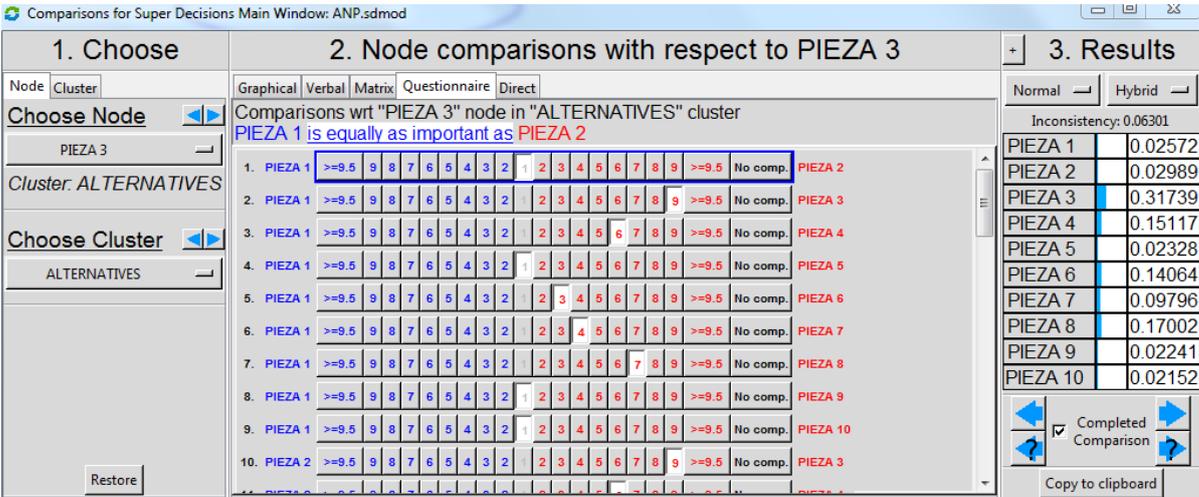
Se realizarán comparaciones pareadas utilizando la Escala Fundamental para Comparaciones Pareadas de Saaty (Tabla 1 [36]).

Las comparaciones se realizaron por consenso y teniendo en cuenta la opinión de todos los responsables del fabricante, mediante una reunión de trabajo.

Para el ANP [11, 35] surgen mayor número de matrices de comparaciones pareadas que en el AHP, ya que se introducen las interrelaciones entre los criterios y las alternativas.

- **10 matrices de comparaciones pareadas para las Alternativas entre sí:** Para realizar estas comparaciones se tiene en cuenta la relación de ruptura en cadena que puede provocar una pieza, es decir, el fallo de la Pieza 3 ¿está más influenciado técnicamente por el fallo de la pieza 1 o el fallo de la pieza 2?

De esta forma estamos ponderando el efecto del fallo de una pieza sobre el resto de las piezas, desde el punto de vista de la experiencia de los expertos que participan en el estudio prospectivo [3,39].



**3. Results**

Node	Weight
PIEZA 1	0.02572
PIEZA 2	0.02989
PIEZA 3	0.31739
PIEZA 4	0.15117
PIEZA 5	0.02328
PIEZA 6	0.14064
PIEZA 7	0.09796
PIEZA 8	0.17002
PIEZA 9	0.02241
PIEZA 10	0.02152

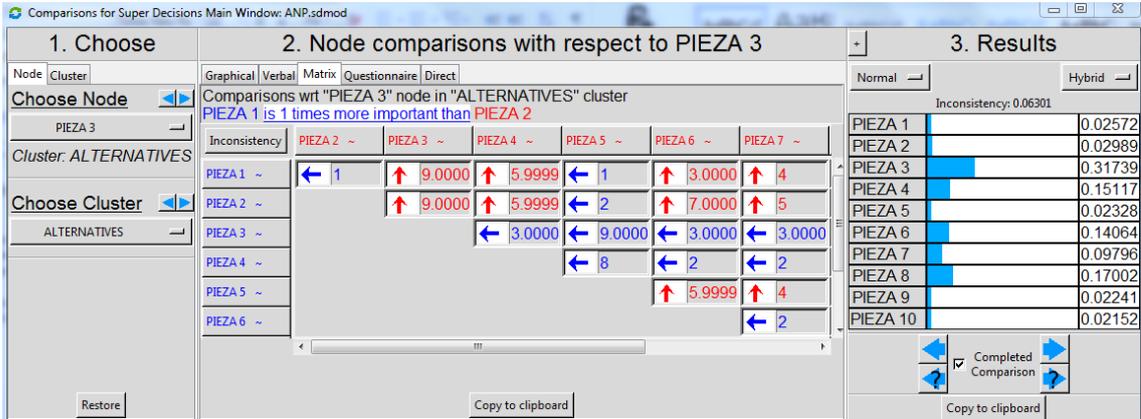
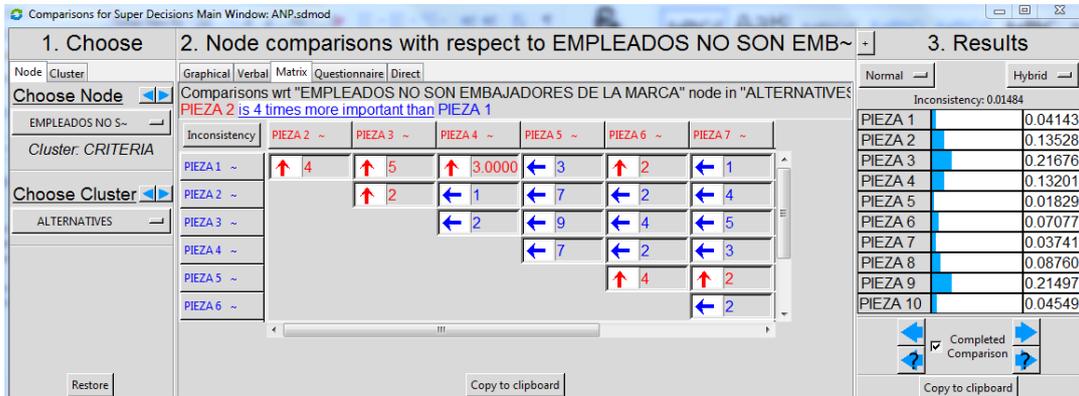


Figura 54. Ejemplo comparaciones pareadas para alternativas

- 6 matrices de comparaciones pareadas (Criterios comparados con Alternativas)

Se valora la influencia que tienen las alternativas con respecto a cada criterio, por ejemplo, para el criterio “Empleados no son Embajadores de la Marca” ¿el fallo de qué pieza tiene mayor influencia, Pieza 1 o Pieza 2?





**Figura 55. Ejemplo comparaciones pareadas para criterios con respecto a las alternativas**

➤ **6 matrices de comparaciones pareadas (Criterios comparados con Criterios)**

Se evalúa la influencia que tienen 2 criterios intangibles sobre un tercero, por ejemplo, tenemos el criterio “Empleados no son Embajadores de la Marca” ¿qué criterio tiene mayor influencia sobre éste, “Satisfacción de los Clientes” o “Imagen de Marca”?





Figura 56. Ejemplo comparaciones pareadas para criterios con respecto a los criterios

#### 4.5. Supermatriz no ponderada u original

Las entradas de la supermatriz no ponderada, recogen los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas.

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Unweighted Super Matrix

Cluster Node Labels		ALTERNATIVES		CRITERIA					
		PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEADOS NO SON EMBAJADORES DE LA MARCA	IMAGEN DE MARCA	PV INSATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES	PV MALA IMAGEN DE MARCA	SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES	VENEDORES EN LOS CONCESIONARIOS SIN CONFIANZA EN EL PRODUCTO
ALTERNATIVES	PIEZA 1	0.040209	0.032596	0.041430	0.054737	0.029727	0.026474	0.030425	0.038113
	PIEZA 2	0.037480	0.031853	0.135279	0.172221	0.142556	0.134003	0.141329	0.161228
	PIEZA 3	0.044756	0.047203	0.216764	0.186944	0.272005	0.255510	0.201519	0.207154
	PIEZA 4	0.037480	0.035273	0.132009	0.122761	0.115345	0.120700	0.110420	0.109272
	PIEZA 5	0.096645	0.129677	0.018289	0.015670	0.013679	0.014037	0.014454	0.014980
	PIEZA 6	0.040209	0.035274	0.070766	0.096405	0.076245	0.065890	0.063913	0.104407
	PIEZA 7	0.040209	0.032764	0.037406	0.053217	0.015743	0.022189	0.040753	0.057802
	PIEZA 8	0.142353	0.143360	0.087602	0.076379	0.053621	0.049025	0.063680	0.065242

Done

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Unweighted Super Matrix

	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5	PIEZA 6	PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEAD~	IMAGEN ~	PU INSA~	PU MALA~	SATISFA~	VENDEDO~
PIEZA 1	0.43805	0.01719	0.02572	0.03536	0.08743	0.05916	0.03539	0.03446	0.04021	0.03260	0.04143	0.05474	0.02973	0.02647	0.03043	0.03811
PIEZA 2	0.03485	0.46747	0.02989	0.03347	0.01931	0.04365	0.03188	0.03375	0.03748	0.03185	0.13528	0.17222	0.14256	0.13400	0.14133	0.16123
PIEZA 3	0.03485	0.11220	0.31739	0.24266	0.02330	0.17151	0.15548	0.10999	0.04476	0.04720	0.21676	0.18694	0.27201	0.25551	0.20152	0.20715
PIEZA 4	0.06938	0.12499	0.15118	0.30043	0.02450	0.19000	0.11856	0.10999	0.03748	0.03527	0.13201	0.12276	0.11535	0.12070	0.11042	0.10927
PIEZA 5	0.24861	0.02302	0.02328	0.06035	0.47873	0.04365	0.03188	0.08875	0.09664	0.12968	0.01829	0.01567	0.01368	0.01404	0.01445	0.01498
PIEZA 6	0.03485	0.06256	0.14064	0.10111	0.02380	0.20779	0.06127	0.03446	0.04021	0.03527	0.07077	0.09641	0.07624	0.06589	0.06391	0.10441
PIEZA 7	0.03485	0.04231	0.09796	0.06070	0.07955	0.05916	0.38264	0.03446	0.04021	0.03276	0.03741	0.05322	0.01574	0.02219	0.04075	0.05780
PIEZA 8	0.03485	0.09902	0.17002	0.09577	0.09142	0.13334	0.11915	0.48664	0.14235	0.14336	0.08760	0.07638	0.05362	0.04902	0.06368	0.06524
PIEZA 9	0.03485	0.03561	0.02241	0.03347	0.08460	0.04808	0.03188	0.03375	0.48318	0.03235	0.21497	0.16696	0.26395	0.28525	0.30067	0.20685
PIEZA 10	0.03485	0.01563	0.02152	0.03668	0.08737	0.04365	0.03188	0.03375	0.03748	0.47965	0.04549	0.05470	0.01713	0.02692	0.03284	0.03496
EMPLEAD~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.03929	0.12154	0.06600	0.05068	0.05588	0.02214
IMAGEN ~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.41870	0.00000	0.28203	0.43285	0.31476	0.37323
PU INSA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.09135	0.04978	0.00000	0.02782	0.03731	0.05197
PU MALA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.11831	0.05337	0.03071	0.02723	0.02961	0.06031
SATISFA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.30412	0.53365	0.48206	0.30180	0.45577	0.32745
VENDEDO~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02823	0.24166	0.13919	0.15963	0.10666	0.15690

Figura 57. Supermatriz no ponderada u original del ANP [11, 35]

#### 4.6. Supermatriz ponderada estocástica

Para generar la supermatriz ponderada se ponderan los bloques de la supermatriz no ponderada, mediante los pesos correspondientes de los componentes.

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Weighted Super Matrix

Cluster Node Labels		ALTERNATIVES				CRITERIA			
		PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEADOS NO SON EMBAJADORES DE LA MARCA	IMAGEN DE MARCA	PV INSATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES	PV MALA IMAGEN DE MARCA
ALTERNATIVES	PIEZA 1	0.035394	0.034459	0.040209	0.032596	0.020715	0.027369	0.014863	0.013237
	PIEZA 2	0.031877	0.033754	0.037480	0.031853	0.067639	0.086111	0.071278	0.067002
	PIEZA 3	0.155477	0.109986	0.044756	0.047203	0.108382	0.093472	0.136003	0.127755
	PIEZA 4	0.118562	0.109986	0.037480	0.035273	0.066004	0.061380	0.057673	0.060350
	PIEZA 5	0.031877	0.088747	0.096645	0.129677	0.009144	0.007835	0.006839	0.007019
	PIEZA 6	0.061268	0.034459	0.040209	0.035274	0.035383	0.048203	0.038122	0.032945
	PIEZA 7	0.382641	0.034459	0.040209	0.032764	0.018703	0.026608	0.007871	0.011094
	PIEZA 8	0.119149	0.486641	0.142353	0.143360	0.043801	0.038189	0.026810	0.024513

Done

Super Decisions Main Window: ANP.sdm: Weighted Super Matrix

	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5	PIEZA 6	PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEAD~	IMAGEN ~	PU INSA~	PU MALA~	SATISFA~	VENDEDO~
PIEZA 1	0.43805	0.01719	0.02572	0.03536	0.08743	0.05916	0.03539	0.03446	0.04021	0.03260	0.02072	0.02737	0.01486	0.01324	0.01521	0.01906
PIEZA 2	0.03485	0.46747	0.02989	0.03347	0.01931	0.04365	0.03188	0.03375	0.03748	0.03185	0.06764	0.08611	0.07128	0.06700	0.07066	0.08061
PIEZA 3	0.03485	0.11220	0.31739	0.24266	0.02330	0.17151	0.15548	0.10999	0.04476	0.04720	0.10838	0.09347	0.13600	0.12776	0.10076	0.10358
PIEZA 4	0.06938	0.12499	0.15118	0.30043	0.02450	0.19000	0.11856	0.10999	0.03748	0.03527	0.06600	0.06138	0.05767	0.06035	0.05521	0.05464
PIEZA 5	0.24861	0.02302	0.02328	0.06035	0.47873	0.04365	0.03188	0.08875	0.09664	0.12968	0.00914	0.00784	0.00684	0.00702	0.00723	0.00749
PIEZA 6	0.03485	0.06256	0.14064	0.10111	0.02380	0.20779	0.06127	0.03446	0.04021	0.03527	0.03538	0.04820	0.03812	0.03295	0.03196	0.05220
PIEZA 7	0.03485	0.04231	0.09796	0.06070	0.07955	0.05916	0.38264	0.03446	0.04021	0.03276	0.01870	0.02661	0.00787	0.01109	0.02038	0.02890
PIEZA 8	0.03485	0.09902	0.17002	0.09577	0.09142	0.13334	0.11915	0.48664	0.14235	0.14336	0.04380	0.03819	0.02681	0.02451	0.03184	0.03262
PIEZA 9	0.03485	0.03561	0.02241	0.03347	0.08460	0.04808	0.03188	0.03375	0.48318	0.03235	0.10749	0.08348	0.13197	0.14262	0.15034	0.10342
PIEZA 10	0.03485	0.01563	0.02152	0.03668	0.08737	0.04365	0.03188	0.03375	0.03748	0.47965	0.02274	0.02735	0.00857	0.01346	0.01642	0.01748
EMPLEAD~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01965	0.06077	0.03300	0.02534	0.02794	0.01107
IMAGEN ~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20935	0.00000	0.14102	0.21642	0.15738	0.18662
PU INSA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04567	0.02489	0.00000	0.01391	0.01866	0.02599
PU MALA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05916	0.02668	0.01536	0.01362	0.01481	0.03415
SATISFA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.15206	0.26683	0.24103	0.15090	0.22789	0.16372
VENDEDO~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01411	0.12083	0.06960	0.07982	0.05333	0.07845

Figura 58. Supermatriz ponderada del ANP [11, 35]

#### 4.7. Supermatriz límite

Se obtiene elevando la supermatriz ponderada estocástica a potencias sucesivas, hasta que sus entradas converjan y permanezcan estables. Todas sus columnas serán iguales y sus valores indicarán la prioridad global de todos los elementos presentes en la red. Si se desea conocer la prioridad global de las alternativas del problema de decisión, con el fin de ordenarlas de mayor a menor interés, en la supermatriz límite hay que observar los valores de una columna.

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Limit Matrix

Cluster Node Labels		ALTERNATIVES						CRITERIA	
		PIEZA 5	PIEZA 6	PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEADOS NO SON EMBAJADORES DE LA MARCA	IMAGEN DE MARCA
ALTERNATIVES	PIEZA 5	0.129622	0.129622	0.129622	0.129622	0.129622	0.129622	0.129622	0.129622
	PIEZA 6	0.072750	0.072750	0.072750	0.072750	0.072750	0.072750	0.072750	0.072750
	PIEZA 7	0.084064	0.084064	0.084064	0.084064	0.084064	0.084064	0.084064	0.084064
	PIEZA 8	0.185179	0.185179	0.185179	0.185179	0.185179	0.185179	0.185179	0.185179
	PIEZA 9	0.072136	0.072136	0.072136	0.072136	0.072136	0.072136	0.072136	0.072136
	PIEZA 10	0.070851	0.070851	0.070851	0.070851	0.070851	0.070851	0.070851	0.070851
CRITERIA	EMPLEADOS NO SON EMBAJADORES DE LA MARCA	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	IMAGEN DE MARCA	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Done

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Limit Matrix

	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5	PIEZA 6	PIEZA 7	PIEZA 8	PIEZA 9	PIEZA 10	EMPLEAD~	IMAGEN ~	PU INSA~	PU MALA~	SATISFA~	VENDEDO~
PIEZA 1	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944	0.06944
PIEZA 2	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666	0.05666
PIEZA 3	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748	0.13748
PIEZA 4	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182	0.12182
PIEZA 5	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962	0.12962
PIEZA 6	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275	0.07275
PIEZA 7	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406	0.08406
PIEZA 8	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518	0.18518
PIEZA 9	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214	0.07214
PIEZA 10	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085	0.07085
EMPLEAD~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
IMAGEN ~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
PU INSA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
PU MALA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SATISFA~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
VENDEDO~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Figura 59. Supermatriz límite del ANP [11, 35]

#### 4.8. Visualización del resultado final del ANP [11, 35]

Una vez obtenida la supermatriz límite, cualquiera de sus columnas representa el resultado final del ANP [11, 35], es decir, el orden de prioridad de las mejoras de calidad que hay que implementar en los componentes reemplazados en garantía y que se representaban como las Alternativas y que era el objeto del estudio.

El software “Superdecisions” da la opción de visualizar los resultados en un menú llamado “Priorities” (ver figura 60).

Super Decisions Main Window: ANP.sdmod: Priorities

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	PIEZA 1	0.06944	0.069437
No Icon	PIEZA 2	0.05666	0.056664
No Icon	PIEZA 3	0.13748	0.137482
No Icon	PIEZA 4	0.12182	0.121815
No Icon	PIEZA 5	0.12962	0.129622
No Icon	PIEZA 6	0.07275	0.072750
No Icon	PIEZA 7	0.08406	0.084064
No Icon	PIEZA 8	0.18518	0.185179
No Icon	PIEZA 9	0.07214	0.072136
No Icon	PIEZA 10	0.07085	0.070851
No Icon	EMPLEADOS NO SON EMBAJADORES DE LA MARCA	0.00000	0.000000
No Icon	IMAGEN DE MARCA	0.00000	0.000000
No Icon	PV INSATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES	0.00000	0.000000
No Icon	PV MALA IMAGEN DE MARCA	0.00000	0.000000
No Icon	SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES	0.00000	0.000000
No Icon	VENDEDORES EN LOS CONCESIONARIOS SIN CONFI-	0.00000	0.000000

Okay | Copy Values

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Idea	Ranking
	PIEZA 1	0.0694	0.0694	0.3750	9
	PIEZA 2	0.0567	0.0567	0.3060	10
	PIEZA 3	0.1375	0.1375	0.7424	2
	PIEZA 4	0.1218	0.1218	0.6578	4
	PIEZA 5	0.1296	0.1296	0.7000	3
	PIEZA 6	0.0727	0.0727	0.3929	6
	PIEZA 7	0.0841	0.0841	0.4540	5
	PIEZA 8	0.1852	0.1852	1.0000	1
	PIEZA 9	0.0721	0.0721	0.3895	7
	PIEZA 10	0.0709	0.0709	0.3826	8

Figura 60. Resultado del ANP [11, 35]

A través del proceso ANP se determina que las piezas prioritarias en cuanto a mejorar su calidad, serían PIEZA 8, 3, 5 y 4, siguiendo este orden de prioridad.

## **CAPÍTULO 5.**

### **CONCLUSIONES DEL AHP Y ANP**

### 5.1. Conclusiones del AHP

A la vista del resultado del AHP, se tomarían, como Piezas Prioritarias las siguientes: **PIEZA 1, 2, 3 Y 4**. Ya que no muestran variación alguna en el Ranking de Prioridades, comparando los resultados de la Media Recortada al 40% y los Intervalos de Confianza Máximo y Mínimo.

El Análisis de Sensibilidad que se ha efectuado, para evaluar el grado de Sensibilidad que tiene el Resultado Final del AHP, dan como conclusión que las PIEZAS menos sensibles a las variaciones en los juicios emitidos son las **PIEZAS 3, 4 Y 6 seguidas de las PIEZAS 1, 2 y 10**.

Teniendo en cuenta el Resultado Final del AHP, el Análisis de Robustez y de Sensibilidad, podemos determinar que:

- Las 4 piezas Prioritarias según el Resultado Final del AHP son: PIEZA 1, 2, 3 y 4.
- Las piezas, PIEZA 1, 2, 3 y 4, tienen indicadores estadísticos robustos que hacen fiable la muestra y por tanto la decisión.
- Las piezas, PIEZA 3 y 4, en base al Análisis de Sensibilidad no son sensibles a las variaciones en los datos entre 0-25% y las piezas, PIEZA 1 y 2 son moderadamente sensibles a las mismas variaciones, por lo tanto, tomando como prioritarias las PIEZAS 1,2,3 y 4 también cumpliríamos los criterios de Sensibilidad adecuados.

**Finalmente queda demostrado según el proceso AHP que las piezas sobre las que se debe emprender prioritariamente acciones de mejora de calidad son las piezas denominadas, PIEZA 1, PIEZA 2, PIEZA 3 y PIEZA 4.**

**Es evidente que con la mejora en la calidad de estas 4 piezas se reducirá el Gasto en Garantía y se minimizarían los Costes Intangibles derivados de la No Calidad, pero no sabemos cuánto exactamente. Podemos hacer una reflexión:** Si suponemos que alcanzamos el “Cero Defectos” [11, 12, 13, 14, 15, 36] en estas 4 Piezas la Reducción de Costes en Garantía y Costes Intangibles sería la siguiente:

- **Reducción del Coste en Garantía en 2 años de 2.186.353 €**, que supone una reducción del **18.45%** respecto al gasto total de garantía.
- **Reducción del Número de Casos en Garantía en 2 años es de 1.483**, lo que supone una reducción del **2.83%** con respecto al total de Casos en Garantía. La reducción en número de casos en garantía puede suponer una mejora sustancial en los Costes Intangibles, como los que hemos contemplado en este Proyecto; Satisfacción de Clientes, Buena Imagen de Marca, Perdida de Ventas por Mala Imagen de Marca o Insatisfacción de Clientes, Desmotivación de los Empleados, Falta de Seguridad en los Vendedores a la hora de Vender el Producto.

	Reducción número de casos	Reducción número de casos(%)	Reducción Gasto en Garantía €	Reducción (%) Gasto en Garantía
Reducción Gasto Garantía y Nº de Casos en 2 años, debido a Mejora de Calidad = "Cero Defectos" en las PIEZAS 1, 2, 3 y 4	<b>1.483</b>	<b>2,38%</b>	<b>2.186.353 €</b>	<b>18,45%</b>

**Figura 61. Potencial de reducción de costes intangibles y costes de garantía, suponiendo "Cero Defectos" [11, 12, 13, 14, 15, 36] en 4 piezas prioritarias según AHP.**

Tras estas afirmaciones, se puede concluir que la metodología de Análisis Jerárquico es apropiada para la ponderación de criterios intangibles y la selección de piezas prioritarias para la mejora de su Calidad, ya que se demuestra que con ello podemos Reducir el Coste en Garantía y los Costes Intangibles.

## 5.2. Conclusiones del ANP

Mediante el proceso ANP [11, 35], se obtiene que las **piezas prioritarias serían las denominadas, PIEZA 8, 3, 5 y 4.**

Teniendo en cuenta los siguientes dos aspectos del proceso ANP [11, 35], se podría determinar a priori, que dicho método es más apropiado que el AHP, para el problema que nos ocupa:

- Permite incluir relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos, obteniendo una representación del problema de decisión en un entorno complejo que se ajusta más a la realidad y que el AHP no puede abordar.
- AHP aplica un procedimiento de agregación de pesos de tipo aditivo, como puede ser el método de la suma ponderada, a partir de la información recogida en la matriz de valoración o decisión y en cambio en el ANP [11, 35] aplica algoritmos de cálculo más complejos sobre la supermatriz, para obtener las prioridades totales de todos los elementos de la red y en particular de las alternativas.

Adicionalmente a lo anterior, es necesario comprobar si **con la mejora en la calidad de estas 4 piezas prioritarias** (suponiendo “Cero Defectos” [11, 12, 13, 14, 15, 36]) **obtenidas con el proceso ANP [11, 35], se reducirá el Gasto en Garantía y se minimizaran los Costes Intangibles derivados de la No Calidad, en el mismo orden de magnitud que con el proceso AHP.**

	Reducción número de casos	Reducción número de casos(%)	Reducción Gasto en Garantía €	Reducción (%) Gasto en Garantía
<b>Reducción Gasto Garantía y Nº de Casos en 2 años, debido a Mejora de Calidad = "Cero Defectos" en las PIEZAS 8, 3, 5 y 4</b>	3.189	5,12%	1.582.996	13,36%

**Figura 62. Potencial de reducción de costes intangibles y costes de garantía, suponiendo “Cero Defectos” [11, 12, 13, 14, 15, 36] en 4 piezas prioritarias según ANP.**

- **Reducción del Coste en Garantía en 2 años de 1.582.996 €, que supone una reducción respecto al gasto total de garantía del 13,36%. Comparándolo con el 18.45% de AHP,**

podemos afirmar que la reducción de coste en garantía con el ANP es menor que con el AHP.

- **Reducción del Número de Casos en Garantía en 2 años es de 3.189, lo que supone una reducción del 5,12% con respecto al total de Casos en Garantía y en comparación con las reducción de 1.483 casos del AHP, podemos afirmar que la reducción en número de casos en garantía, y consecuentemente los Costes Intangibles, se mejoran del orden de 2 veces con el ANP respecto al AHP.**

### 5.3. Comparativa ANP Y AHP

- **Comparando los resultados obtenidos por ambos métodos, se visualiza que coinciden en que la PIEZA 3 Y 4, están entre las 4 de mayor prioridad, por lo tanto, es evidente que podemos establecer que su priorización es correcta y altamente fiable, ya que está soportada por los dos métodos de toma de decisiones empleados.**
- En el ANP la PIEZA 8 pasa a ser la prioridad número 1, cuando en el AHP, no estaba entre las 4 primeras prioridades. Esto denota que dicha PIEZA 8, **tiene una gran influencia sobre el resto de PIEZAS (alternativas) y sobre los criterios. Cuando esta pieza tiene un fallo de calidad, el resto de piezas fallan como consecuencia de su avería y este componente tiene un gran impacto sobre los criterios (costes) intangibles (Satisfacción de los clientes, imagen de marca,...), esta importante apreciación sólo es posible valorarla aplicando el proceso ANP.**
- Por último, se compara el resultado de los análisis de reducción de costes de garantía y costes intangibles para el AHP y para el ANP y queda evidenciado que **la reducción del Coste en Garantía en 2 años, es menor en el resultado del ANP (13.36%) que en el AHP (18,45%), sin embargo, la reducción del Número de Casos en Garantía en 2 años, es mayor en el resultado del ANP (3.189 casos=5,12%) que en el AHP (1.483 casos=2,38%).** Con esta comparativa **podremos dar prioridad al resultado del AHP o del ANP, dependiendo de la estrategia que quiera seguir la empresa. Si opta por ahorrar costes externos de garantía en el corto plazo, elegiremos el resultado del AHP y si se**

**pretende ahorrar en costes intangibles, que a largo plazo repercutirá en mayores ventas, por incrementar la satisfacción de los clientes, mejorar la imagen de marca, etc...se elegirá el resultado del ANP.**

## **CAPÍTULO 6.**

### **APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN, MATRIZ IMPACTO- ESFUERZO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COSTES**

Una vez obtenido el resultado del AHP y ANP, se observa que los costes analizados son costes tangibles e intangibles fruto de la mala calidad en la fabricación de los componentes, sin embargo, no se ha tenido en cuenta a la hora de realizar la priorización en cuanto a las mejoras de calidad, cuáles son los costes de reingeniería de cada una de las piezas seleccionadas.

En esta fase final del estudio se introduce un análisis de costes de reingeniería de cada una de las piezas y partiendo de esos datos, se realizará una optimización del resultado del sistema de toma de decisiones, basándonos en metodología Lean [26,27,28,29,30], en concreto, aplicando la matriz de impacto-esfuerzo para implementar dicha optimización.

La matriz de impacto-esfuerzo se aplica para establecer prioridades y determinar ideas, en estrategias o proyectos obteniendo la mejor solución de las alternativas posibles. Se aplica cuando nos enfrentamos a diferentes soluciones para resolver el mismo problema.

Provee una imagen visual sobre la carga de trabajo y el beneficio esperado y determina cual será el retorno de la inversión de una forma eficiente.

Una vez que se han seleccionado las piezas a priorizar mediante los métodos de análisis multicriterio, se tiene que introducir el parámetro del coste de reingeniería para centrar los esfuerzos en aquellas piezas con bajo impacto económico en coste de reingeniería y que provoquen el mayor impacto en la satisfacción de los clientes.

Los costes de reingeniería de cada pieza han sido estimados por el equipo de ingeniería y diseño del fabricante de componentes y los importes asignados a cada pieza se han extraído del ERP del dicho fabricante.

A continuación, en la Tabla 13 se mostrarán los costes de reingeniería y los resultados del AHP y ANP.

**Tabla 13. Costes de reingeniería y resultados ANP y AHP**

Descripción Piezas	Coste estimado reingeniería	Resultado ANP	Resultado AHP
PIEZA 1	357.000	9	1
PIEZA 2	2.380.000	10	2
PIEZA 3	595.000	2	3
PIEZA 4	1.666.000	4	4
PIEZA 5	357.000	3	8
PIEZA 6	350.000	6	5
PIEZA 7	2.380.000	5	9
PIEZA 8	357.000	1	6
PIEZA 9	140.000	7	7
PIEZA 10	1.666.000	8	10

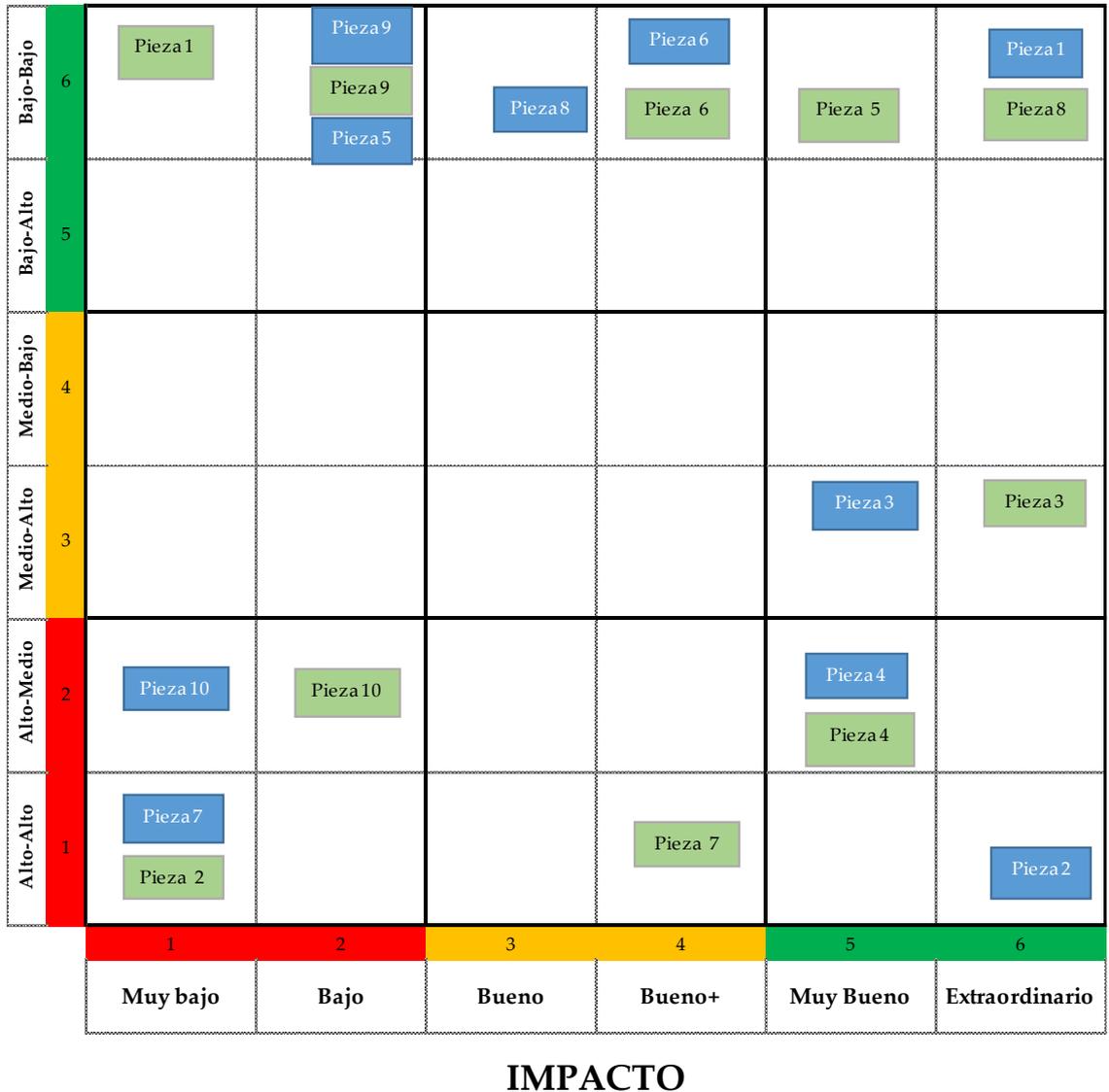
La matriz de impacto-esfuerzo se ha diseñado asimilando el esfuerzo, al coste de reingeniería de cada pieza y el resultado del AHP y del ANP de cada pieza, se asimila al impacto.

Cada pieza se posiciona en la matriz dependiendo de su coste de reingeniería y su ranking de priorización en los métodos AHP y ANP.

En la matriz mostrada en la Figura 63, las piezas ubicadas en los cuadrantes superiores derechos son aquellas que con un bajo coste en reingeniería la planta de fabricación obtendrá un alto impacto en términos de calidad y consecuentemente en satisfacción de cliente.

# MATRIZ IMPACTO-ESFUERZO

**E  
S  
F  
U  
E  
R  
Z  
O**



**Figura 63. Matriz de Impacto-Esfuerzo**

Una vez analizados los resultados de la matriz de impacto esfuerzo, se determina que el departamento de calidad del fabricante de componentes debe **priorizar acciones de reingeniería en las Piezas 1, 8 y 5. Como segunda prioridad se deben aplicar acciones de reingeniería en las Piezas 3 y 4.**

Comparando el resultado de la matriz de impacto-esfuerzo con el resultado combinado del AHP y ANP, se ve que queda **excluida la Pieza 2 de las prioridades iniciales, ya que su coste de reingeniería es elevado (2,38 M€), sin embargo, su gasto en garantía (575.147€) y número de incidentes (245) no es suficientemente relevante, por lo tanto, aplicar una mejora en esta Pieza 2, tiene un bajo retorno de la inversión.**

Con todo lo anterior queda, demostrado que la matriz de impacto-esfuerzo maximiza y optimiza el resultado del AHP y ANP combinado.

Por lo tanto, las Piezas 1, 8, 5, 3 y 4 deben ser la prioridad para el departamento de calidad del fabricante. Con la aplicación de reingeniería en las piezas priorizadas, mejorará su calidad obteniendo un resultado que se traduce en un ahorro de gasto de garantía de 2,2 M€ (18,5% del total de gasto de garantía en 2 años) y se reducirán el número de piezas con fallos en 4.048 (7,7% del total de incidentes en 2 años). La inversión necesaria en reingeniería será de 3,3M€, así que dicha inversión será amortizada in 3 años aproximadamente.

Los resultados se representan en la Tabla 14.

**Tabla 14. Resultado (Piezas prioritarias para acciones de reingeniería) y resumen financiero**

Descripción Piezas	Número de fallos por pieza	Total gasto en garantía en 2 años	Coste de reingeniería
Part 1	859	608.854	357.000
Part 5	2.535	375.083	357.000
Part 8	275	205.560	357.000
Part 3	113	503.982	595.000
Part 4	266	498.370	1.666.000
<b>Total</b>	<b>4.048</b>	<b>2.191.850</b>	<b>3.332.000</b>

## **CAPÍTULO 7.**

### **CONCLUSIONES DE LA TESIS**

### 7.1. Conclusiones Generales

El objetivo de esta Tesis ha sido desarrollar un sistema de toma de decisiones que priorice acciones en los departamentos de calidad en las plantas de fabricación de cualquier sector industrial, teniendo siempre en cuenta el coste total de calidad (costes tangibles e intangibles) y los costes de reingeniería, para con ello mejorar la satisfacción final de los clientes con los productos fabricados. Este estudio es escalable a cualquier planta de fabricación de cualquier sector industrial, aunque ha sido probado en el sector de automoción.

Muchos autores indican la gran complejidad que supone la medición y el control de todos los costes de calidad, muy concretamente los costes intangibles.

Así también es importante reseñar que no se pueden abordar todos los costes de la mala calidad para alcanzar el estándar de “cero defectos” [11, 12, 13, 14, 15, 36], ya que el coste en reingeniería sería potencialmente imposible de asumir por ningún fabricante.

Sin embargo, ambos retos indicados anteriormente han sido abordados en esta Tesis y se ha obtenido una solución novedosa para conseguir su medición, control y optimización.

Se ha diseñado un método de toma de decisiones que mide todos los costes de calidad y permite a su vez optimizar la inversión en reingeniería mediante la matriz de impacto-esfuerzo.

Debido a la complejidad del problema planteado, se ha diseñado un sistema basado en el análisis multicriterio. En concreto, se han aplicado y combinado dos procesos multicriterio, AHP y ANP, buscando el resultado unificado más eficiente. Este enfoque es totalmente novedoso, ya que no se han encontrado estudios previos que combinen el resultado de ambos métodos para maximizar un resultado final.

Adicionalmente y para optimizar el resultado arrojado por la combinación de los procesos AHP y ANP, se introduce el concepto de coste de reingeniería a través de la aplicación de la matriz de impacto-esfuerzo de la metodología Lean [26,27,28,29,30], para asegurar que el sistema de

toma de decisión, tiene en cuenta no sólo los costes tangibles e intangibles de calidad, si no también el coste de poner en marcha cualquier mejora. Por todo lo anterior, el Sistema de Toma de Decisiones hará que la dirección de la empresa, pueda tomar la decisión con mayor impacto y menor coste de forma prioritaria.

## 7.2. Conclusiones Particulares

El resultado del AHP prioriza las Piezas 1,2,3 y 4. Cuando el resultado del ANP prioriza las Piezas 8,3,4 y 5. Por lo que **ambos procesos tienen como resultado común la priorización de las piezas 3 y 4.**

Una vez aplicados los procesos multicriterio, se introduce un parámetro muy significativo que es el coste de reingeniería de las piezas priorizadas previamente. Ya que todos los fabricantes tienen limitación de recursos económicos, se debe invertir en las acciones de mejora más eficientes. Así que teniendo en cuenta todo lo anterior, se aplicará una herramienta de la metodología Lean [26,27,28,29,30] que es la matriz de impacto-esfuerzo, que determinará que piezas deben ser seleccionadas para potenciar la eficiencia de la toma de decisión.

El resultado de la **matriz de impacto-esfuerzo indica que las Piezas 1,8 y 5** (previamente priorizadas en el resultado combinado del AHP y ANP) deben ser la prioridad en cuanto a la aplicación de **acciones de reingeniería.**

En conclusión, se determina que las piezas a priorizar son las Piezas 1,8 y 5 y como segunda prioridad son las Piezas 3 y 4. Una vez que esas piezas se hayan mejorado en términos de calidad mediante acciones de reingeniería, se obtendrá un ahorro de 2,2M€ en gasto de garantía de 2 años (18,5% del gasto total de garantía de 2 años) con una inversión en reingeniería de 3,3M€, que será amortizado en 3 años aproximadamente.

Se puede declarar que los objetivos establecidos al inicio de la Tesis se han alcanzado con éxito.

Se ha diseñado una metodología de toma de decisiones que controla, mide y tiene en cuenta todos los costes de calidad (tangibles e intangibles) y que hace que las inversiones en reingeniería sean óptimas y eficientes.

### **7.3. Futuras líneas de investigación**

Se han identificado nuevas áreas de investigación futuras, como puede ser la aplicación de Big Data para el procesamiento de datos no estructurados en las encuestas de satisfacción de clientes. De esta forma la selección de los costes intangibles, o criterios del AHP y ANP, se realizarían desde el punto de vista de la percepción de los clientes en vez de utilizando un método prospectivo mediante la percepción de los responsables de la empresa, tal y como se ha realizado en este estudio.

También se ha identificado la oportunidad de elaborar un modelo de ecuaciones estructurales, que relacione globalmente las variables básicas que intervienen en la satisfacción del cliente y las correspondientes a la reputación de la empresa y la calidad en la fabricación.

Una vez obtenido el modelo matemático de impacto de la insatisfacción del cliente en las variables reputacionales de la empresa y la calidad de fabricación, se podría generar un programa de recuperación de la reputación empresarial.

## **CAPÍTULO 8.**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] J. Claver; M.A. Sebastián: “El Proceso Analítico Jerárquico Aplicación al Estudio del Patrimonio Industrial Inmueble” (2016).
- [2] J. Pereira; M.Fragoso; M.Todorov: “Risk Assessment using Bayesian Belief Networks and Analytic Hierarchy Process applicable to Jet Engine High Pressure Turbine Assembly”. Department of Systems and Control, National Laboratory for Scientific Computing, Petropolis, Brazil (2016).
- [3] A. Kezar; D.Maxey: "The Delphi technique: an untapped approach of participatory research" University South California, Los Angeles, USA (2014).
- [4] Bahurmoz, A. M. “The analytic hierarchy process at Dar AlHekma, Saudi Arabia. Interfaces”, (2003).
- [5] Bascetin, A. “An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine”. Technical note. Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, (2004).
- [6] Herrera Umaña, M. F. & Vinasco Mosquera, M. A. “Modelo para la implementación y administración del programa de aseguramiento de proveedores de Coomeva y sus empresas, aplicando AHP difuso”. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, Cali, Colombia (2005).
- [7] Osorio, J.C. & Orejuela, J.P “El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio, Ejemplo de aplicación (Documento de trabajo)”. Cali, Colombia: Universidad del Valle, (2005).
- [8] Osorio, J. C. & Herrera, M. F. “Propuesta para la evaluación del desempeño de proveedores utilizando AHP fuzzy (Documento de trabajo)”. Cali, Colombia: Universidad de Valle, (2005).
- [9] La determinación de la ubicación óptima de un edificio. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera 2008), (Alvarez Alonso, Arquedo Hidalgo y Martínez Izquierdo 2011).

- [10] J. Aznar; F. Guijarro: “Nuevos Métodos de Valoración. Modelos Multicriterio.” (2ª Edición) Universitat Politècnica de València, (2012).
- [11] A. Baviera-Puig; G. García-Martínez; T. Gómez-Navarro: “Propuesta metodológica mediante ANP para la evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español.” (2014).
- [12]. Eleftheriadis, R.; Myklebust, O. A guideline of quality steps towards zero defect manufacturing in industry. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Kuala Lumpur, Malaysia, 8–10 March 2016; pp. 332–340.
- [13]. Psarommatis, F. Product quality improvement policies in Industry 4.0: Characteristics, enabling factors, barriers, and evolution toward Zero Defect Manufacturing. Data-Driven Cognitive Manufacturing-Applications in Predictive Maintenance and Zero Defect manufacturing. *Front. Comput. Sci.* 2020, 2, 26.
- [14]. Psarommatis, F. Zero defect manufacturing: State-of-the-art review, shortcomings and future directions in research. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 1–17.
- [15]. Psarommatis, F.; D. Kiritsis.: A scheduling tool for achieving zero defect manufacturing (ZDM): a conceptual framework. in IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. (2018)
- [16]. Ferretti, S. Monitoring systems for zero defect manufacturing. *Procedia CIRP* 2013, 12, 258–263.

- [17]. Pérez-Fernández, L.; Sebastián, M.A.; González-Gaya, C. Decision support system to implement quality improvements optimizing tangible and intangible costs in manufacturing. In Proceedings of the 25th International Congress on Project Management and Engineering, Alcoy, Spain, 7–10 July 2020.
- [18]. Pérez-Fernández, L.; Conde, J.; Sebastián, M.A. Decision support system to decrease warranty and intangible costs in automotive industry. *Procedia Manuf.* 2017, 13, 1143–1150.
- [19] Dyer, R.F.; Forman, E.H. Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. *Decis. Support Syst.* 1992, 8, 99–124.
- [20]. Baccouche, A.; Goren, S.; Huyet, A.L.; Pierreval, H. An approach based on simulation optimization and AHP to support collaborative design: With an application to supply chains. In Proceedings of the 2011 IEEE Workshop on Computational Intelligence in Production and Logistics Systems (CIPLS), Paris, France, 11–15 April 2011.
- [21]. Claver, J.; García-Dominguez, A.; Sevilla, L.; Sebastián, M.A. A Multi-Criteria Cataloging of the Immovable Items of Industrial Heritage of Andalusia. *Appl. Sci.* 2019, 9, 275.
- [22]. Beniak, J.; Šooš, L.; Križan, P.; Matúš, M. Implementation of AHP Methodology for the Evaluation and Selection Process of a Reverse Engineering Scanning System. *Appl. Sci.* 2021, 11, 12050.
- [23]. Alonso, J.A.; Lamata, M.T. Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowl. Based Syst.* 2006, 14, 445–459.
- [24]. Amenta, P.; Ishizaka, A.; Lucadamo, A.; Marcarelli, G.; Vyas, V. Computing a common preference vector in a complex multi-actor and multi-group decision system in Analytic Hierarchy Process context. *Ann. Oper. Res.* 2019, 284, 33–62.

- [25]. Chen, C.F. Applying the analytical hierarchy process (AHP) approach to convention site selection. *J. Travel Res.* 2006, 45, 167–174.
- [26]. Chow, D.; Smith, S.; Fau-Henwick, S.; Henwick, S. Applying Lean management to automation. *MLO* 2009, 41, 36–38.
- [27]. Abdulmalek, E.A. A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean. *Eng. Manag. J.* 2006, 18,15–25.
- [28]. Bevilacqua, M.; Ciarapica, F.E.; De Sanctis, I.; Mazzuto, G.; Paciarotti, C. A changeover time reduction through an integration of lean practices: A case study from pharmaceutical sector. *Assem. Auto.* 2015.
- [29]. Ballé, M. *The Lean Sensei. Go See Challenge*; Lean Enterprise Institute, Inc.: Boston, MA, USA, 2019.
- [30]. Romero, D. Total Quality Management and Quality Circles in the Digital Lean Manufacturing World. In *Proceedings of the IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, Austin, TX, USA, 1–5 September 2019.*
- [31]. Hurtado, T.; Bruno, G. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como Herramienta en la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores: Aplicación en la Selección del Proveedor para la Empresa Gráfica; Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. Investigación Operativa; MYE S.R.L.: Lima, Perú, 2005.
- [32] Kwong, C.K.: “Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with extent analysis approach”. *IEE transactions*, 35, 619–626. (2003).

- [33] A. Berumen y Llamazares Redondo: “La medición de la competitividad entre municipios.” (2007).
- [34] M. F. Herrera Umaña, J. C. Osorio Gómez: “Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso.” (2006)
- [35] Aragonés, P.; Chaparro, F.; Pastor, J.P.; Rodríguez, F.: “Selección de Proyectos de Energía Solar Fotovoltaica mediante Proceso Analítico en Red (ANP).” (2008)
- [36] T. Saaty: “How to make a decision: The analytic hierarchy process” (1990)
- [37] G.A. Miller: “The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information” Harvard University (1956)
- [37] [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05\\_n1/calidad.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm)
- [38] <http://www.uv.es/~scliment/investigacion/2005/partdoblenov2005.prn.pdf>
- [39] <http://www.eoi.es/blogs/nataliasuarez-bustamante/2012/02/11/%C2%BFque-es-el-metodo-delphi/>
- [40] [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-59232006000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232006000200003)
- [41] <http://ilianac.blogspot.com.es/2009/02/exposicion-cero-defectos.html>
- [42] <http://www.philipcrosby.com/pca/index.html>
- [43] <http://www.aepro.com/index.php/es/repository/func-startdown/4269/>
- [44] <https://superdecisions.com>