

01-031

**DECISION SUPPORT SYSTEM TO IMPLEMENT QUALITY IMPROVEMENTS
OPTIMIZING TANGIBLE AND INTANGIBLE COSTS IN MANUFACTURING.**

Pérez Fernández, Lorena ⁽¹⁾; Sebastián Pérez, Miguel Ángel ⁽¹⁾; González Gaya, Cristina ⁽¹⁾
⁽¹⁾ UNED

Traditional cost assessment systems pass over a certain group of quality costs, which are intangible costs, such as customer satisfaction, image of the brand, etc, due to there is not trustable methodology to measure them. However, it is a fact, that companies which consider all quality costs (tangible and intangible costs), are in a competitive advantage position, compared to its competitors. This Companies will be able to make decisions correctly in quality matters, based on real cost information. Nowadays, in all industries there is a high volume of data about incidents in warranty period, which is important if it is combined with intangible data of customer satisfaction surveys. Nowadays, this data is analyzed traditionally based on cost and volume of failures, without considering intangible costs. In this context, the main objective is to develop a decision support system with empirical base, that helps manufacturers to decide the priority for improving the quality of those parts that have a high impact in warranty spend, taking into account both, historical warranty costs and intangible costs. This system will mix Analytical Hierarchy Process (AHP) Analytical Network Process (ANP) to optimize the investment in quality improvements.

Keywords: Manufacturing; quality; cost; ANP; AHP; decision.

**SISTEMA DE TOMA DE DECISIONES PARA IMPLEMENTAR MEJORAS DE CALIDAD,
OPTIMIZANDO COSTES TANGIBLES E INTANGIBLES EN FABRICACIÓN.**

Los sistemas tradicionales de evaluación de costes de calidad no introducen los costes intangibles, como pueden ser la satisfacción de los clientes, la imagen de marca, etc. Esto es debido a que no se utilizan metodologías para medir estos costes intangibles.

Las compañías que consideran todos los costes de calidad para mejorar, están en una posición de ventaja competitiva respecto a sus competidores. En cualquier industria se generan un gran volumen de datos durante el período de garantía de los componentes. Estos datos son clave para tomar decisiones en calidad o ingeniería, donde se deben establecer prioridades para realizar procesos de reingeniería y mejora de calidad. Actualmente las compañías, suelen tratar los datos de forma tradicional, priorizando las mejoras de calidad en base al coste y volumen de incidentes, sin tener en cuenta los costes intangibles. En este contexto, el objetivo es desarrollar un sistema de toma de decisiones con base empírica, para priorizar ciertos componentes para mejorar su calidad por tener alto impacto en gasto de garantía, pero teniendo en cuenta también los costes intangibles. El sistema utilizará Analytical Hierarchy Process (AHP) y Analytical Network Process (ANP) para optimizar la inversión en mejoras de calidad en cualquier industria.

Palabras claves: Fabricación; calidad; coste; ANP; AHP; decision.

Correspondencia: LORENA PÉREZ FERNÁNDEZ. lorenapfis@gmail.com

Agradecimientos: This paper has been produced within the scope of the doctoral activities carried out by the lead author at the International Doctorate School of the Spanish National Distance-Learning University (EIDUNED) Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia). The authors are grateful for the support provided by this institution.



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La fabricación es el área de mayor generación de valor añadido en cualquier organización. Los sistemas productivos han sido el eje de los procesos de desarrollo de las empresas de manufactura e industria alrededor del mundo.

Los sistemas de producción son susceptibles de ser optimizados en materia de innovación, flexibilidad, calidad y costo. Este estudio se centra en la optimización de los sistemas de producción a través de las mejoras de calidad, utilizando como indicadores para la mejora continua, los costes tangibles e intangibles.

Los sistemas tradicionales de medición costes (Polimeri, R. 2007), pasan por alto cierto grupo de costes de la no calidad, como pueden ser los costes intangibles por la mala calidad, ya que no están diseñados para recogerlos. Así que mientras el importe real de los costes de calidad y no calidad estén ocultos entre los costes totales de la empresa, ésta estará en una posición competitiva artificial, ya que desperdiciará oportunidades de mejora por no intentar disminuir los costes ocultos de no calidad, impidiendo de esta forma a la dirección de la empresa, la percepción de estas situaciones financieras peligrosas motivadas por los costes de la mala calidad.

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 sobre el efecto multiplicador entre los costes de fallos identificados y medidos y los costes de fallos verdaderos. Para conseguir la norma de cero defectos y la satisfacción de los clientes, deben ser controlados y cuantificados por los gestores y siempre deben ser tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en las mejoras en los procesos de fabricación.

Si bien como dijo (Phil Crosby 1987), el 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. Nadie lo podrá saber si no existe algún tipo de sistema de medición; por ello es imprescindible establecer indicadores en los que basar la estrategia a seguir y poder cuantificar las mejoras observadas.

La finalidad principal de este sistema de toma de decisiones es cuantificar el tamaño real de los problemas de calidad, en un lenguaje que impacte a la alta dirección y una vez tengamos todos los indicadores de la calidad, se hará visible el efecto de dichos costes sobre el beneficio de la empresa y facilitará la toma de decisiones, para implementar las mejoras productivas más convenientes.

2. Objetivos

Demostrar de forma empírica cual debería ser la prioridad en la mejora de la calidad de ciertos componentes, partiendo de los datos obtenidos en las intervenciones realizadas en período de garantía de un fabricante de componentes (costes externos) e incluyendo los costes intangibles de la no calidad. Para conseguir mediante estos indicadores, una mejora continua en los procesos productivos.

Para ello se elaborarán dos sistemas de toma de decisiones multicriterio (AHP y ANP), basados en los criterios intangibles de la mala calidad.

Por último, se compararán los resultados de los sistemas de toma de decisión con metodología AHP y ANP, para realizar la toma de decisión óptima para mejorar la calidad de la producción teniendo en cuenta todos los costes.

3. Metodología

Conociendo las piezas con mayores tasas de fallo durante los 2 primeros de garantía y su impacto económico y el número de incidentes para el fabricante 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 externos e intangibles dentro de la organización. Para ello utilizaremos el Proceso Analítico Jerárquico AHP (Por sus siglas en inglés: Analytic Hierarchy Process) y el Proceso Analítico en Red ANP (Por sus siglas en inglés: Analytic Network Process) y compararemos sus resultados.

En este estudio se involucrarán a los Gerentes y Supervisores del Área de Atención al Cliente, en un estudio prospectivo, cuyos datos serán evaluados estadísticamente, para comprobar su consistencia y serán incorporados en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y en el Proceso Analítico en Red (ANP).

Para el proceso AHP 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 dichos responsables, 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 responsables, 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 se utilizará el software “Superdecisions” (<https://superdecisions.com>), que es un software gratuito para la toma de decisiones que implementa proceso ANP y se utilizará para introducir las comparaciones pareadas, para realizar el cálculo de las matrices y para obtener el resultado del ANP.

4. Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la reducción de costes intangibles y costes de garantía.

Tomas L. Saaty (T. L. Saaty 1980) desarrolló un método, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para la resolución de problemas donde aparecen diferentes criterios y diferentes posibles soluciones, son los llamados, problemas multicriterio discretos. Es importante que para que la solución sea válida, todos los criterios y posibles soluciones, se tengan en cuenta.

Esta metodología de toma de decisiones se basa en la organización del problema en forma de estructura jerárquica. Realizando comparaciones a pares de los diferentes criterios y alternativas, se determinará la importancia relativa entre ellos y a continuación a dichas comparaciones se les atribuirá un valor numérico, que permita comparar los parámetros con

la misma escala de medida. Por último, se verificará la consistencia estadística de los juicios de valor, garantizando una toma de decisiones matemáticamente fiable.

Traduce los pensamientos u opiniones de los individuos, que son asuntos meramente cualitativos, a juicios de valor cuantitativos a través de una escala matemática.

El uso de una escala numérica, como la escala de Saaty (Tabla 1), hace posible que midamos parámetros tangibles e intangibles, de forma estandarizada y matemáticamente fiable. Las escalas numéricas ayudan a reflejar matemáticamente los juicios, que con palabras no pueden ser definidos.

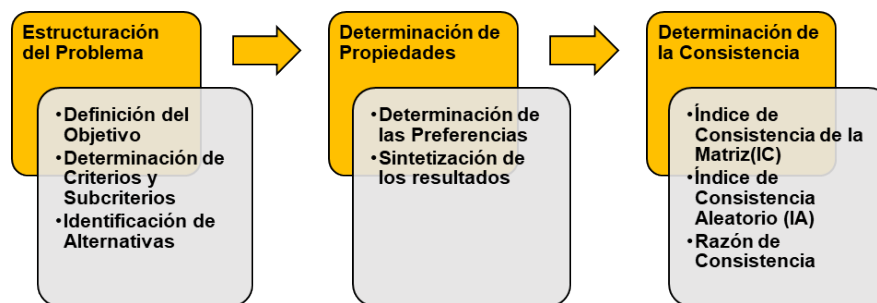
Tabla 1. Escala Fundamental de Saaty

Escala numérica	Escala Verbal
1	Importancia Igual
3	Importancia Moderada
5	Importancia Alta
7	Importancia Muy Alta
9	Importancia Extrema
2, 4, 6, 8	Valores Intermedios

4.1 Fases del AHP

Para resolver un problema de decisión, el Proceso Analítico Jerárquico, consta de las fases reflejadas en la Figura 1.

Figura 1: Fases del Proceso Analítico Jerárquico



4.2 Definición del problema

El criterio de definición del problema se establecerá en primer lugar mediante los datos obtenidos del ERP del fabricante. Los datos indicarán las piezas con las más altas tasas de fallo durante los dos primeros años de funcionamiento. Se realizará la selección de las 10 piezas con mayor impacto en coste en garantías. El listado de piezas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Top 10 piezas según gasto en garantía

Piezas	Numero de averías	Gasto Garantía (€)	Ranking según Gasto Garantía
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

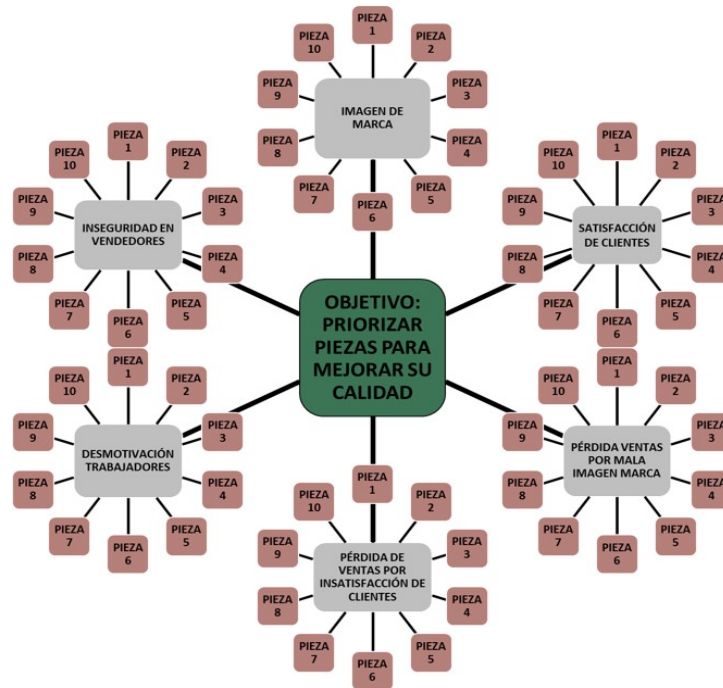
En segundo lugar, otro grupo de parámetros a tener en cuenta serán los costes intangibles, que pasarán a ser las alternativas y se obtendrán mediante el empleo del Método Delphi aplicado a los responsables del fabricante. Las alternativas seleccionadas por los responsables se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Alternativas seleccionadas por los responsables de los departamentos

Coste Intangible	Impacto
Imagen de marca	Mala imagen de marca provoca pérdida de venta
Satisfacción de los Clientes	La satisfacción de los clientes incrementa las ventas
Pérdida de Ventas por Mala Imagen de Marca	Mala imagen de marca repercute en una bajada de las ventas
Pérdida de Ventas por insatisfacción de los Clientes	La insatisfacción de los clientes repercute en una bajada de las ventas
Empleados no son embajadores de la marca	Debido a la mala calidad de los productos los empleados no se sentirán orgullosos y dejarán de ser embajadores
Vendedores sin confianza en la calidad de los productos	Falta de confianza de los vendedores provoca pérdida de ventas

Una vez definidos los Criterios y las Alternativas, ya se puede mostrar la jerarquía del AHP en la Figura 2.

Figura 2: Jerarquía del AHP



4.3 Determinación de las Preferencias y la Consistencia con aplicación automatizada

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. Para la elaboración de las matrices se formula en la herramienta Excel, basándonos en los 4 axiomas del Proceso Analítico Jerárquico (Toskano Hurtado 2005):

- Axioma 1: Reciprocidad. Se refiere a la condición de los 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 los elementos de dos niveles consecutivos
- Axioma 4: Consistencia.

Se muestra la estructura de la Matriz de Comparación de Alternativas en la Figura 3.

Figura 3: Ejemplo de Matriz de Comparación de Alternativas (Imagen de Marca)

BRAND IMAGE																					
	Part 4	Part 2	Part 1	Part 3	Part 9	Part 5	Part 8	Part 7	Part 6	Part 10	STANDARDIZED MATRIX										AVERAGE VECTOR
Part 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
Part 2		1	1	1	3	7	5	7	5	3	7	0,115	0,222	0,229	0,329	0,239	0,270	0,240	0,234	0,142	0,217
Part 1		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	0,236	0,152
Part 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
Part 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
Part 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
Part 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
Part 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	0,065	0,051
Part 6	1,000	0,333	0,200	0,143	1,000	1,000	1	1	1	5	0,115	0,074	0,046	0,016	0,034	0,054	0,034	0,047	0,047	0,109	0,058
Part 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
SUM	8,667	4,495	4,362	9,105	29,333	18,533	29,200	21,333	21,200	46											

La aplicación Excel se ha diseñado con varias 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 debemos tener la seguridad de que los resultados obtenidos son válidos para tomar decisiones.

Para que una matriz sea consistente se debe cumplir que: $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$ para i, j y $k = 1, 2, 3 \dots m$.

Para ello, todas las columnas de una matriz tienen que ser dependientes. Las columnas en cualquier matriz de comparación 2×2 son dependientes, por lo que siempre será consistente.

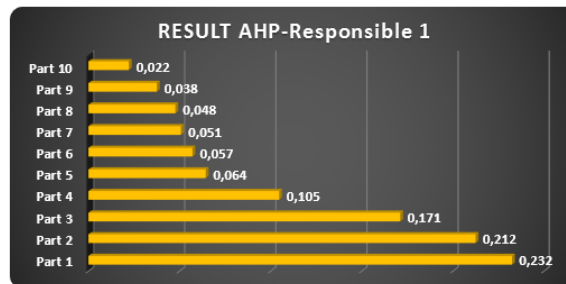
Sin embargo, para el resto de las matrices $m \times m$ es muy probable que no sean consistentes. El Proceso Analítico Jerárquico mide la consistencia de los juicios a través de la proporción o razón de consistencia. Para matrices de 3×3 el valor de la proporción de consistencia no debe superar el 5%, no superará el 9% en el caso de matrices de 4×4 y para el resto de las matrices deberá ser menor o igual al 10%.

4.3 Resultado final AHP

Una vez obtenidas las prioridades de la matriz de comparación de criterios, las prioridades de las 6 matrices de alternativas, acorde a cada criterio y la consistencia para cada una de ellas, se diseña una herramienta Excel que nos permita realizar los cálculos del AHP final. Un ejemplo del resultado de dichos cálculos se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Ejemplo de Resultado del AHP para el responsable 1.

	BRAND IMAGE	CUSTOMER SATISFACTION	LOSS OF SALES POOR BRAND IMAGE	LOSS OF SALES NON CUSTOMER SATISFACTION	EMPLOYEES DEMOTIVATION	SELLERS WITHOUT SECURITY IN PRODUCT	TOTAL	Ranking
Part 1	0,227	0,227	0,260	0,260	0,246	0,220	0,232	1
Part 2	0,217	0,217	0,198	0,198	0,187	0,193	0,212	2
Part 3	0,173	0,173	0,163	0,163	0,158	0,167	0,171	3
Part 4	0,103	0,103	0,117	0,116	0,104	0,097	0,105	4
Part 5	0,064	0,064	0,058	0,058	0,084	0,086	0,064	5
Part 6	0,058	0,058	0,049	0,047	0,063	0,076	0,057	6
Part 7	0,051	0,051	0,049	0,051	0,049	0,047	0,051	7
Part 8	0,048	0,049	0,044	0,044	0,047	0,044	0,048	8
Part 9	0,040	0,036	0,034	0,034	0,038	0,047	0,038	9
Part 10	0,019	0,022	0,029	0,029	0,023	0,022	0,022	10
WEIGHTED	0,388	0,388	0,077	0,077	0,034	0,034		



Finalmente, se ha diseñado una herramienta para comparar los resultados de los AHPs de cada responsable para obtener el resultado final del AHP. En la Figura 5 se verá dicho resultado.

Figura 5: Resultado del AHP

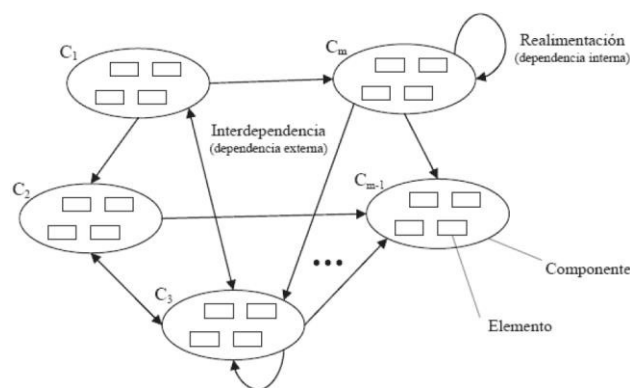
COMPARATIVA RESULTADOS DE LOS AHP						ANALISIS DE ROBUSTEZ / RESULTADO FINAL AHP							
	TOTAL S.GARANTIA	TOTAL R.TÉCNICO	TOTAL S.TÉCNICO	TOTAL S. EQUIPO ING.	TOTAL G. CUST.CARE		MEDIA RECORTADA	Desviación Típica Recortada	Intervalo de Confianza de la Media Recortada-MIN	Intervalo de Confianza de la Media Recortada-MAX	Ranking Media Recortada	Ranking con intervalo de confianza mínimo	Ranking con intervalo de confianza máximo
Pieza 1	0,232	0,189	0,246	0,257	0,257	g=DATOS A EXCLUIR 40% 5	0,245	0,027	0,218	0,272	1	1	1
Pieza 2	0,212	0,152	0,221	0,220	0,229		0,218	0,030	0,188	0,248	2	2	2
Pieza 3	0,171	0,176	0,141	0,155	0,155		0,160	0,012	0,148	0,173	3	3	3
Pieza 4	0,105	0,115	0,123	0,130	0,109		0,116	0,009	0,106	0,125	4	4	4
Pieza 5	0,064	0,047	0,044	0,033	0,038		0,043	0,011	0,032	0,054	8	7	7
Pieza 6	0,057	0,109	0,066	0,059	0,066		0,063	0,021	0,043	0,084	5	6	5
Pieza 7	0,051	0,042	0,031	0,031	0,028		0,035	0,009	0,026	0,043	9	9	9
Pieza 8	0,048	0,052	0,051	0,042	0,044		0,047	0,004	0,044	0,051	6	5	8
Pieza 9	0,038	0,079	0,054	0,039	0,037		0,044	0,017	0,026	0,061	7	8	6
Pieza 10	0,022	0,039	0,023	0,033	0,037		0,031	0,007	0,024	0,038	10	10	10

5. Aplicación del Proceso Analítico en Red (ANP) para la reducción de costes intangible y costes de garantía.

De acuerdo con Saaty (2001) y a diferencia del método AHP, en el método ANP, el problema multicriterio discreto, se representa como una red en la cual existen dependencias entre todos los elementos que forman parte del problema. Al tener en cuenta más relaciones que en el AHP, la solución va a ser más compleja, pero a su vez puede ser más fiable, ya que se acercará más a la realidad.

Un proceso ANP está representado por elementos o nodos agrupados en componentes, grupos o clústeres. Un elemento de un grupo o clúster puede tener influencia sobre los elementos de ese mismo clúster o de otro diferente en la red. La relación que existe entre los elementos de un mismo clúster se denomina realimentación y a la relación que existe entre elementos de distintos clústeres, se denomina interdependencia.

Figura 6: Esquema de red del ANP



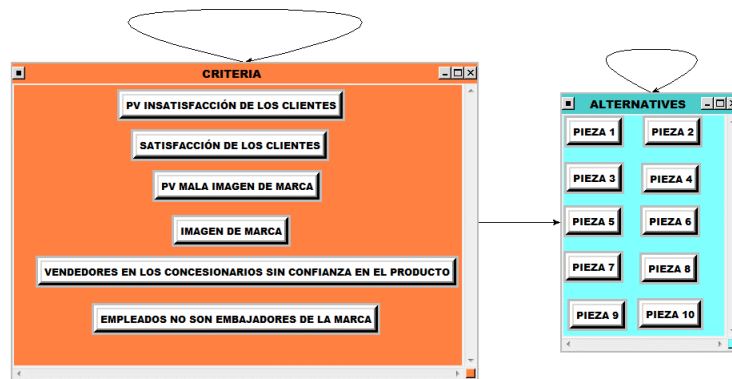
5.1 Definición del problema

Se aplicará el Proceso Analítico en Red para resolver el mismo problema planteado para el AHP. El método ANP se compone de siete pasos principales que se van a modelar en el software gratuito "Superdecisions" (<https://superdecisions.com>). Como punto de partida vamos a utilizar como es natural, las mismas 10 Alternativas y los 6 Criterios que hemos identificado para el AHP.

5.2 Solución del problema de decisión como una red

1. 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.

Figura 7. Esquema red del ANP según “Superdecision”



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

Figura 8. Matriz dominación interfactorial

Matriz Dominación Interfactorial		C1						ALTERNATIVAS									
		IMAGEN DE MARCA	PERDIDA VENTAS POR MALA IMAGEN	SATISFACCION CLIENTES	PERDIDA VENTAS POR INSATISFACCION	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO 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 INSATISFACCION	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DESMOTIVACION EMPLEADOS(NO 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	1	0	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

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

Para el ANP 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.
- 6 matrices de comparaciones pareadas de Criterios con respecto a las Alternativas.
- 6 matrices de comparaciones pareadas de Criterios con respecto a los Criterios.

4. Supermatriz no ponderada u original: La supermatriz original, representará la influencia relativa de los elementos de las filas sobre los elementos de las columnas.

5. Supermatriz ponderada estocástica: para calcular esta matriz se ponderarán los bloques de la supermatriz no ponderada u original, mediante los pesos de cada componente.

6. Supermatriz Límite: Se calcula elevando la supermatriz ponderada estocástica a potencias sucesivas, hasta que sus elementos converjan y permanezcan estables. Todas sus columnas deberán ser iguales y sus valores indicarán la prioridad de todos los elementos presentes en la red ANP.

Figura 9. Supermatriz Límite

	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

5.3 Resultado final del ANP

Una vez obtenida la supermatriz límite, cualquiera de sus columnas representa el resultado final del ANP, es decir, el orden de prioridad de las mejoras de calidad en ciertas piezas sustituidas en período de garantía (Alternativas), que era el objeto del estudio.

Figura 10. Resultado ANP

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	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

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.

6. Resultados: Comparativa resultados 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 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 (3.189casos=5,12%) que en el AHP (1.483 casos=2,38%).

Figura 11. Comparativa resultados ANP y AHP

	RESULTADO AHP	RESULTADO ANP
Piezas a mejorar la Calidad	PIEZA 1	PIEZA 8
	PIEZA 2	PIEZA 5
	PIEZA 3	PIEZA 3
	PIEZA 4	PIEZA 4
€ Reducción de Gasto en Garantía	2.186.353 €	1.582.996 €
% Reducción de Gasto en Garantía	18,45%	13,36%
Decremento nº de incidentes en Garantía	1.483	3.189
% Decremento nº de incidentes en Garantía	2,83%	5,12%

7. Conclusiones

Tras realizar la comparativa de los resultados obtenido por las dos metodologías, hay coincidencia en ambos estudios sobre que **las piezas 3 y 4 deben ser la primera prioridad** en cuanto a la mejora de la calidad, por lo tanto, la mejora continua en el proceso productivo debe centrarse inicialmente en realizar mejoras en dichas piezas.

En segundo lugar y en vista de la comparativa de resultados del AHP y ANP, la decisión a tomar en cuanto a la mejora continua en la producción va a depender de la estrategia marcada por el fabricante:

- Si la estrategia de producción está centrada en el ahorro costes externos de garantía en el corto plazo, entonces se elegirá el resultado del AHP y como segunda prioridad, se mejorarán los procesos productivos para mejorar la calidad de las Piezas 1 y 2.
- Si la estrategia de producción 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 y se tomará como segunda prioridad, la mejora en los procesos productivos para incrementar la calidad de las Piezas 8 y 5.

8. Referencias

- Bahurmoz, A. M. (2003). The analytic hierarchy process at Dar AlHekma, SaudiArabia. Interfaces.
- Bascetin, A. (2004). 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.
- Baviera-Puig, A., García-Martínez, G. & Gómez-Navarro, T. (2014). Propuesta metodológica mediante ANP para la evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español.
- Claver, J, García-Domínguez, Anabel & Sebastián, M.A. (2020). Multicriteria Decision Tool for Sustainable Reuse of Industrial Heritage into Its Urban and Social Environment. Case Studies. Department of Manufacturing Engineering, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- Crosby, P. (1987). *La calidad no cuesta. El arte de cerciorarse de la calidad*. MacGraw Hill Book Company.
- Herrera Umaña, M. F. & Vinasco Mosquera, M. A. (2005). 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.
- Kezar, A. & Maxey D. (2014). The Delphi technique: an untapped approach of participatory research” University South California, Los Angeles, USA.
- Kwong, C.K. (2003). Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with extent analysis approach. IEE transactions, 35, 619– 626.
- Osorio, J.C. & Orejuela, J.P (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio, Ejemplo de aplicación (Documento de trabajo). Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Pereira, J., Fragoso M. & Todorov M. (2016). 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.
- Polimeri, R. (2007). *Contabilidad de costos. Conceptos y aplicaciones para la toma de decisiones gerenciales*. La Habana. Editorial Félix Varela.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

