



CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA AHP

Este capítulo está enfocado a la construcción del modelo, aplicación directa del método AHP y selección de la mejor alternativa que será el sistema de gestión de la producción más adecuado. Se hará una simulación con el programa Expert Choice, con síntesis y análisis de la sensibilidad., además, se medirá la eficiencia del modelo. Por último, se presenta una síntesis de los resultados obtenidos.

5. Desarrollo del modelo:

5.1 Formulación del problema

En general, la selección de un sistema de gestión de la producción depende en gran parte de la complejidad del proceso, de los productos, máquinas y recursos puestos en servicio para la consecución de los mismos.

Se tienen diferentes alternativas de procesos de producción y se debe decidir, cual es el proceso de producción que fijando unos criterios, produce los objetivos marcados, maximizando eficiencia global del proceso y minimizando ciclos de trabajo y costes.

El modelo esta basado sobre los juicios de expertos en sistemas de gestión de la producción siguiendo un conjunto de pasos o etapas con varias retroalimentaciones (*feedback*) que permiten la realización de aproximaciones sucesivas hasta llegar a una solución correcta (juicio consistente)

5.2 Definición de los niveles

5.2.1 Nivel 1: Definición del Objetivo Principal

El objetivo principal es la elección del sistema de gestión de producción más adecuado a nuestra empresa.

5.2.2 Nivel 2: selección de los criterios



La selección de los criterios de este nivel de jerarquización está basada en la opinión y las experiencias del personal de producción, mantenimiento y operaciones de la planta.

Para la selección de los criterios, hemos tenido en cuenta aspectos relacionados con el proceso, aspectos relacionados con el producto y aspectos relacionados con el propio sistema de gestión de la producción a elegir.

Como base, vamos a usar el análisis de eficiencia de nuestra planta (capítulo 4) y tener en cuenta los indicadores de eficiencia para definir los siguientes tres macro criterios:

El macro criterio PROCESO que recoge los siguientes subcriterios:

- Actividad: A
- Disponibilidad: D
- Productividad: P

El macro criterio PROCESO (PROC) integra todos los criterios anteriores y será la EFICIENCIA GLOBAL (EG), que no es más que el producto de todos los criterios juntos.

En cuanto al MACRO CRITERIO PRODUCTO (PROD), recurrimos al capítulo 2 y destacamos los siguientes subcriterios:

- VARIEDAD DEL PRODUCTO: VP
- CICLO DE PRODUCCION: CP
- TIEMPO DE ENTREGA: TE

En cuanto al MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION (SG), definimos los siguientes subcriterios:

- FLEXIBILIDAD: F
- FACILIDAD DE PROGRAMACION: FP
- EXACTITUD DE LOS DATOS: ED

Las unidades de los criterios son homogéneas y son adimensionales.

5.2.3 Nivel 3: Selección de las alternativas.

La selección de las alternativas está basada en una investigación en trabajos académicos y revistas científicas relacionadas con el ámbito de los sistemas de gestión de la producción (ver las referencias en bibliografía adjunta).

Las alternativas entre sistemas de gestión de la producción que han sido seleccionadas son:

- Alternativa 1: MRP
- Alternativa 2: JIT
- Alternativa 3: OPT-TOC

5.3 Construcción de la jerarquía:

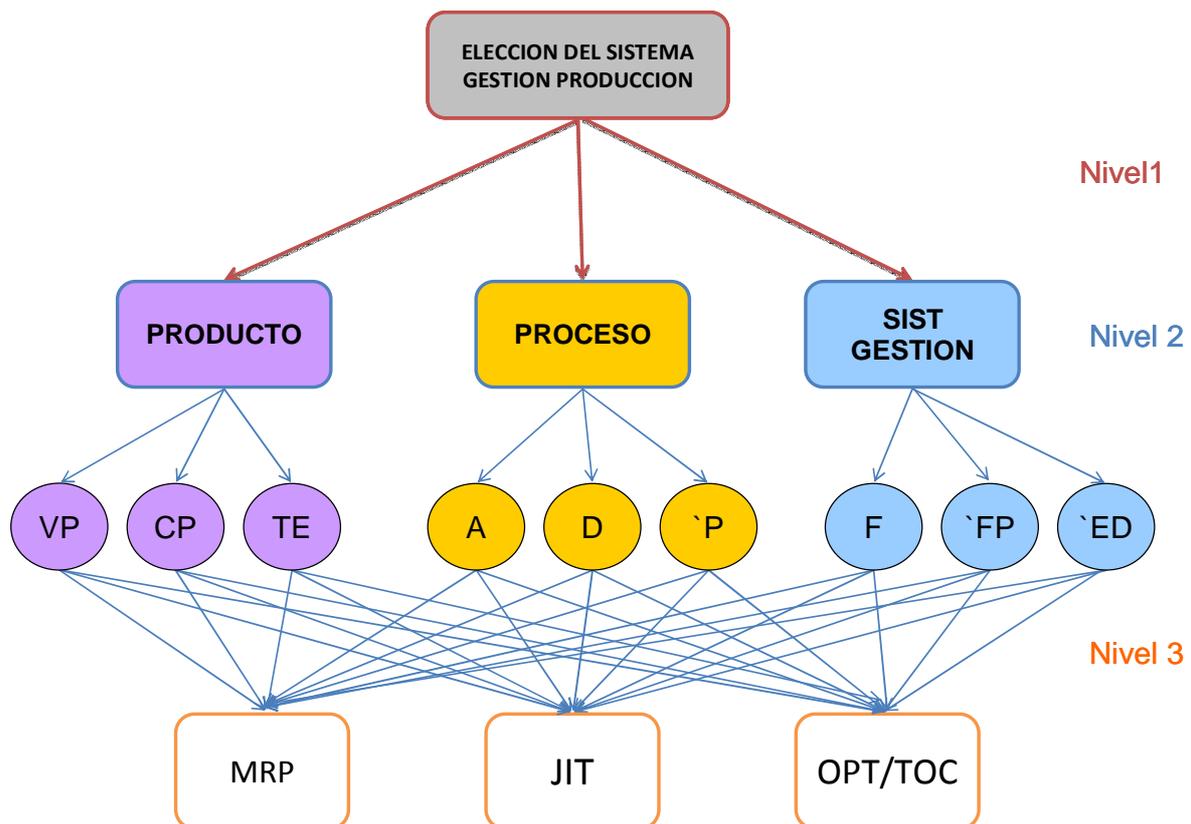


Figura 5.1: Jerarquía para el modelo de selección del sistema de gestión de producción



5.4 Evaluación del modelo

5.4.1 Emisión de juicios

La importancia entre cada uno de los criterios se calcula a partir de una comparación cualitativa entre criterios de forma apareada (pairwise). Esta comparación cualitativa entre criterios se hace de esta forma, debido principalmente a la falta de acuerdo entre el personal de operaciones, mantenimiento y procesos para generar una tabla de niveles que permite evaluar de forma precisa cada uno de los tres criterios. La actividad de comparación apareada se realizó en varias reuniones de trabajo en la cual participó el personal de la Planta: ingenieros de procesos, ingenieros de producción, responsable de operaciones, responsable de mantenimiento, responsable de instrumentación y control, supervisor de seguridad y ambiente y jefes de equipos de operarios.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la comparación apareada realizada para los tres macro criterios considerados en el proceso de jerarquización (la escala de valoración de juicios utilizada para realizar la comparación entre los criterios evaluados es la mostrada en la Tabla 5.1):



VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	
Recíprocos de lo anterior	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serían las siguientes: Criterio A frente a criterio B 5/1 Criterio B frente a criterio A 1/5	

Tabla 5.1. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980)

5.4.2 Evaluación respecto a la meta global (Nivel1):

Se tienen tres macro criterios que asisten directamente al cumplimiento de la meta global:

- Macro criterio proceso (PROC)
- Macro criterio producto (PROD)
- Macro criterio sistema de gestión (SG)

NIVEL 1 OBJETIVO - CRITERIOS

Criterios	PROC	PROD	SG
PROC	1	1/6	1/5
PROD	9	1	4
SG	5	¼	1

PROCESO
PRODUCTO
SISTEEMA DE GESTION



A continuación detallamos las comparaciones pareadas:

Criterio proceso Vs criterio producto (PROC vs PROD)

Teniendo como marco principal la política de producción y producto, el responsable de ingeniería de producto junto con el responsable de ingeniería de procesos determinan que el criterio producto es extremadamente más importante que el criterio proceso.

Criterio producto Vs criterio sistema de gestión (PROD vs SG)

El responsable de ingeniería de producto junto con el responsable de instrumentación y control han considerado que el criterio producto es entre moderadamente y fuertemente más importante que el criterio sistema de gestión.

Criterio proceso vs criterio sistema de gestión (PROC vs SG)

Los datos relacionados con los aviones son extremadamente sensibles y requieren mucha exactitud debido a políticas de seguridad aérea, por lo tanto se ha acordado que el criterio sistemas de gestión es fuertemente importante que el criterio proceso.

Asignando valores numéricos a estos juicios, tenemos la siguiente matriz de juicios:

5.4.3 Evaluación respecto a los criterios (Nivel2):

El macro criterio PROCESO (PROC):

Para este macro criterio se identificaron tres subcriterios:-

- Actividad: A
- Disponibilidad: D
- Productividad: P

Actividad vs Disponibilidad (A vs D):

El responsable de producción junto con los responsables de taller determinan que la disponibilidad es moderadamente más importante que la actividad.

Actividad vs Productividad (A vs P):

El responsable de producción junto con los responsables de equipos determinan que la productividad es moderadamente más importante que la actividad.



Disponibilidad vs Productividad (D vs P):

El responsable de producción junto con los responsables de equipos determinan que la Productividad es entre igual y moderadamente mas importante que la Disponibilidad.

Asignando valores numéricos a estos juicios, tenemos la siguiente matriz de juicios:

**MACRO
CRITERIO
PROCESO**

Crterios	A	D	P
A	1	1/3	1/3
D	3	1	1/2
P	3	2	1

ACTIVIDAD
DISPONIBILIDAD
PRODUCTIVIDAD

El macro criterio PRODUCTO (PROD)

Para este macro criterio se identificaron tres subcriterios:-

- VARIEDAD DEL PRODUCTO: VP
- CICLO DE PRODUCCION: CP
- TIEMPO DE ENTREGA: TE

Variabilidad del producto vs ciclo de producción (VP vs CP):

El responsable de producto junto con el responsable de producción determinan que el ciclo de producción es fuertemente importante que la variedad del producto.

Tiempo de Entrega vs Variedad del producto (TE vs VP):

El responsable de producto junto con el responsable de logística determinan que el tiempo de entrega es entre fuertemente y muy fuertemente importante que la variabilidad del producto

Tiempo de Entrega vs Ciclo de producción (TE vs CP):

El responsable de producto junto con el responsable de logística determinan que el tiempo de entrega es entre igual y moderadamente importante que la variabilidad del producto.

Asignando valores numéricos a estos juicios, tenemos la siguiente matriz de juicios:



**MACRO
CRITERIO
PRODUCTO**

Criterios	VP	CP	TE
VP	1	1/5	1/6
CP	5	1	1/2
TE	6	2	1

VARIEDAD DEL PRODUCTO
CICLO DE PRODUCCIÓN
TIEMPO DE ENTREGA

El macro criterio SISTEMA DE GESTION (SG)

Para este macro criterio se identificaron tres subcriterios:-

- FLEXIBILIDAD: F
- FACILIDAD DE PROGRAMACION: FP
- EXACTITUD DE LOS DATOS: ED

Flexibilidad vs facilidad de programación (F vs FP):

El responsable de instrumentación y control junto con el responsable de sistemas de información determinan que la flexibilidad del sistema de gestión es fuertemente mas importante que el la facilidad de programación.

Flexibilidad vs exactitud de datos (F vs ED):

El responsable de instrumentación y control junto con el responsable de sistemas de información determinan que la exactitud de datos es extremadamente mas importante que el la flexibilidad.

Facilidad de programación vs exactitud de datos (FP vs ED):

El responsable de instrumentación y control junto con el responsable de sistemas de información determinan que la exactitud de datos es extremadamente mas importante que el la Facilidad de programación.

Asignando valores numéricos a estos juicios, tenemos la siguiente matriz de juicios:

MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION

Criterios	F	FP	ED
F	1	3	1/7
FP	1/3	1	1/9
ED	9	7	1

FLEXIBILIDAD
FACILIDAD DE PROGRAMACION
EXACTITUD DE DATOS



5.4.4 Evaluación respecto las alternativas (Nivel 3):

Las alternativas entre sistemas de gestión de la producción que han sido seleccionadas son:

- Alternativa 1: MRP
- Alternativa 2: JIT
- Alternativa 3: OPT-TOC

En este nivel, vamos a usar una escala basada en parámetros, Castro (2005) en la que cada parámetro se le asigna una puntuación o escala (rango) de puntos que diferencie su estado respecto a los restantes. Luego, se establece una correspondencia entre los mismos y los tipos de sistemas de gestión de la producción, especificándose en cada nivel aquellos que < preferentemente > deben ser empleados, pudiendo ocurrir que aparezca un mismo sistema en más de un nivel e incluso que en un mismo nivel coexistan más de un sistema.

		NIVEL	PUNTOS	SG
MACRO CRITERIO PROCESO	ACTIVIDAD	Continua	7-9	JIT
		Poco intermitente	5-7	OPT
		Intermitente	1-3	MRP
	DISPONIBILIDAD	Corta	1-3	MRP
		Mediana	5	OPT
		Larga	7	JIT
		Muy larga	9	JIT
	PRODUCTIVIDAD	Mediana	1-3	MRP
		Alta	5-7	OPT
Muy Alta		7-9	JIT	
MACRO CRITERIO PRODUCTO	VARIEDAD PRODUCTO	Baja	1-3	MRP
		Mediana	5	OPT
		Alta	7-9	JIT
	CICLO PRODUCCION	Corto	5-7	JIT/OPT
		Medio	3	OPT
		Largo	1	MRP
	TIEMPO ENTREGA	Largo	1	MRP
		Medio	3-5	OPT
		Corto	7-9	JIT



MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION	FLEXIBILIDAD	Muy poca	1	MRP
		Mediana	3-5	OPT
		Alta	5-7	JIT
	FACIL PROGRAMACION	Compleja	1	MRP
		Mediana	3-5	OPT
		Fácil	7-9	JIT
	EXACTITUD DATOS	Escasa	1	OPT
		Exacto	3-5	JIT/OPT
		Muy exacto	7-9	MRP

Tabla 5.2: Escala de asignación de puntos a los subcriterios, Castro (2005)

A continuación se detallan las comparaciones pareadas de las alternativas según los criterios correspondientes:

- Macro Criterio PROCESO.
- Macro Criterio PRODUCTO.
- Macro Criterio SISTEMA DE GESTION

A) Evaluación de las alternativas bajo el Macro Criterio PROCESO. (PROC)

Actividad: (A)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es muy fuertemente preferible al MRP

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es fuertemente preferible al MRP

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es entre igual y moderadamente fuerte preferible al OPT.

Criterios	ACTIVIDAD		
	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	2
OPT-TOC	5	½	1



Disponibilidad: (D)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el MRP es moderadamente preferible al JIT.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el MRP es fuertemente preferible al JIT.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el JIT es moderadamente preferible al OPT

	DISPONIBILIDAD		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	3	5
JIT	1/3	1	3
OPT-TOC	1/5	1/3	1

Productividad: (P)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el JIT es fuertemente preferible al MRP

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el OPT es moderadamente preferible al MRP

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas determinan que el JIT es entre igual y moderadamente preferible al OPT.

	PRODUCTIVIDAD		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3
JIT	7	1	2
OPT-TOC	3	1/2	1





Resumen del macro criterio PROCESO: (PROC)

CRITERIO PROCESO	ACTIVIDAD			DISPONIBILIDAD			PRODUCTIVIDAD		
	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3	1	3	5	1	1/5	1/5
JIT	7	1	2	1/3	1	3	5	1	2
OPT-TOC	3	1/2	1	1/5	1/3	1	5	1/2	1

B) Evaluación de las alternativas bajo el macro criterio PRODUCTO

VARIEDAD PRODUCTO: (VP)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es muy fuertemente preferible al MRP.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es muy fuertemente preferible al MRP.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es entre igual et moderadamente preferible al OPT.

MACRO CRITERIO PRODUCTO	VARIEDAD		
	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	2
OPT-TOC	5	1/2	1

Ciclo de producción (CP)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es muy fuertemente preferible al MRP.



MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es fuertemente preferible al MRP.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es moderadamente preferible al OPT.

MACRO CRITERIO PRODUCTO			
	CICLO PRODUCCION		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	3
OPT-TOC	5	1/3	1

Tiempo de entrega: (TE)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es muy fuertemente preferible al MRP.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es fuertemente preferible al MRP.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es moderadamente preferible al OPT.

MACRO CRITERIO PRODUCTO

	TIEMPO ENTREGA		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	3
OPT-TOC	5	1/3	1

Resumen de la evaluación del macro criterio PRODUCTO (PROD):



**MACRO
CRITERIO
PRODUCTO**

	VARIEDAD			CICLO PRODUCCION			TIEMPO ENTREGA		
Criterios	MRP	JIT	OPT- TOC	MRP	JIT	OPT- TOC	MRP	JIT	OPT- TOC
MRP	1	1/7	1/5	1	1/7	1/5	1	1/7	1/5
JIT	7	1	2	7	1	3	7	1	3
OPT-TOC	5	1/2	1	5	1/3	1	5	1/3	1

C) Evaluación de las alternativas bajo el macro criterio SISTEMA DE GESTION

Flexibilidad: (F)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es muy fuertemente preferible al MRP.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es moderadamente preferible al MRP.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es fuertemente preferible al OPT.

MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION

	FLEXIBILIDAD		
Criterios	MRP	JIT	OPT- TOC
MRP	1	1/7	1/3
JIT	7	1	5
OPT-TOC	3	1/5	1

Facilidad de programación: (FP)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es extremadamente preferible al MRP.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es moderadamente preferible al MRP.

JIT vs OPT



El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el JIT es fuertemente preferible al OPT.

MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION

		FACIL PROGRAMACION		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	
MRP	1	1/9	1/3	
JIT	9	1	5	
OPT-TOC	3	1/5	1	

Exactitud de los datos: (ED)

MRP vs JIT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el MRP es extremadamente preferible al JIT.

MRP vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el MRP es muy fuertemente preferible al OPT.

JIT vs OPT

El responsable de producción junto con el responsable de sistemas de información determinan que el OPT es fuertemente preferible al JIT.

		EXACTITUD DATOS		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	
MRP	1	9	3	
JIT	1/9	1	1/5	
OPT-TOC	1/3	5	1	

Resumen de la evaluación del macro criterio SISTEMA DE GESTION (SG):

MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION



	FLEXIBILIDAD			FACIL PROGRAMACION			EXACTITUD DATOS		
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3	1	1/9	1/3	1	9	3
JIT	7	1	5	9	1	5	1/9	1	1/5
OPT-TOC	3	1/5	1	3	1/5	1	1/3	5	1

5.5 Síntesis del modelo.

A continuación se detalla el cálculo de las prioridades y del índice de consistencia de cada nivel usando el método del autovalor (matriz de comparaciones pareadas).

5.5.1 Cálculo de las prioridades:

Se tienen:

Matriz A: la matriz de comparaciones pareadas de los criterios respecto a la meta global.

$V_i =$ Vector prioridades = Matriz $\sum A_{i1} / 3$

Matriz B = $V_{gj} =$ matriz A x V_i

NIVEL 1 OBJETIVO - CRITERIOS

Criterios	PROC	PROD	SG
PROC	1	1/6	1/3
PROD	9	1	4
SG	3	1/4	1

PROCESO
PRODUCTO
SISTEMA DE GESTION

Sumamos verticalmente cada columna y normalizamos (dividir cada celda entre su total):

Matriz A			
Criterios	PROC	PROD	SG
PROC	1,000	0,111	0,200
PROD	9,000	1,000	4,000
SG	5,000	0,250	1,000
Total	15,000	1,361	5,200

NORMALIZACION →

Calcular el vector columna que contenga los promedios de las filas:

$$V_i = \text{Matriz } \sum A_{i1}$$



/3

Criterios	PROC	PROD	SG	PROMEDIO FILAS
PROC	0,067	0,082	0,038	0,0623
PROD	0,600	0,735	0,769	0,7013
SG	0,333	0,184	0,192	0,2364
	1,000	1,000	1,000	1,000

Vector
prioridades

Criterios	Vi
PROC	0,062
PROD	0,701
SG	0,236
Total	1

Este vector contiene la prioridades de la matriz de comparaciones y suma la unidad.

Cálculo de la Razón de Consistencia CR:

Saaty inventó la Razón de Consistencia CR que mide la magnitud de la diferencia entre la consistencia de los juicios con una consistencia perfecta.

CR es función de:

Un autovalor máximo y el tamaño de la matriz (Índice de consistencia IC) que se compara con valoraciones similares si las comparaciones pareadas han sido simplemente aleatorias (índice de consistencia aleatoria IA)

Dado el valor aleatorio promedio para una n x n matriz. Los valores de IA son mostrados en la Tabla.

Indice Aleatorio							
N	1	2	3	4	5	6	7
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Tabla 2. Valores de IC para matrices de diferentes órdenes (Saaty, 1980)

Como el numero de elementos es 3, de la tabla se tiene que IC=0.58.

$$CR = IC / IA ; \text{ si } CR \leq 0.1 \text{ consistencia aceptable}$$

Para cada tabla de comparaciones se realizan los siguientes Pasos:

1. Multiplicar cada matriz de comparaciones [A] por el vector principal de ponderaciones [MG] para obtener un nuevo vector [B].



2. Se divide cada elemento de por su correspondiente elemento, lo que da un vector [C]
3. λ_{\max} = Promedio de los elementos de [C] (autovalor máximo)
4. Cálculo de IC:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}$$

donde N: tamaño de la matriz

Matriz A

Criterios	PROC	PROD	SG
PROC	1,000	0,111	0,200
PROD	9,000	1,000	4,000
SG	5,000	0,250	1,000

Vi
0,062
0,701
0,236

X

Matriz B

Vgi	Vr
0,18746439	3,011
2,20734345	3,147
0,72303332	3,058

=

Vgi/Vi →

λ_{\max} promedio	3,072
IC	0,036
CR	0,062

$$IC = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1) = (3,072 - 3) / (3 - 1) = 0,036$$

$$CR = IC / IA = 0,036 / 0,58 = 0,062$$

Se verifica $CR \leq 0.1$ por lo que la matriz de comparaciones pareadas es consistente.
Seguimos los cálculos para todas las matrices.

Nivel 2: Calculo de consistencia de los macro criterios:

5.5.2 Macro criterio PPROCESO



**MACRO
CRITERIO
PROCESO**

Criterios	A	D	P
A	1	1/3	1/3
D	3	1	1/2
P	3	2	1

ACTIVIDAD
DISPONIBILIDAD
PRODUCTIVIDAD

$V_i = \text{Matriz } \Sigma A_{i1} / 3$

NORMALIZACION

Criterios	A	D	P	PROMEDIO FILAS
A	0,143	0,100	0,182	0,1416
D	0,429	0,300	0,273	0,3338
P	0,429	0,600	0,545	0,5247
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz A

Criterios	A	D	P
A	1,000	0,333	0,333
D	3,000	1,000	0,500
P	3,000	2,000	1,000

X

V_i
0,1416
0,3338
0,5247

Matriz B

	V_{gi}	V_r
	0,4277	3,0214
	1,0208	3,0584
	1,6169	3,0817
λ_{max} promedio	3,054	
IC	0,027	
CR	0,046	

Se verifica $CR \leq 0.1$ por lo que la matriz de comparaciones pareadas es consistente.

5.5.3 Macro criterio PRODUCTO:



**MACRO
CRITERIO
PRODUCTO**

Criterios	VP	CP	TE
VP	1	1/5	1/6
CP	5	1	1/2
TE	6	2	1

VARIEDAD DEL PRODUCTO
CICLO DE PRODUCCIÓN
TIEMPO DE ENTREGA

NORMALIZACION

Criterios	VP	CP	TE	PROMEDIO FILAS
VP	0,083	0,063	0,100	0,0819
CP	0,417	0,313	0,300	0,3431
TE	0,500	0,625	0,600	0,5750
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz A

Criterios	VP	CP	TE
VP	1,000	0,200	0,167
CP	5,000	1,000	0,500
TE	6,000	2,000	1,000

X

Vi
0,0819
0,3431
0,5750

Matriz B

	Vgi	Vr
	0,246	3,0068
	1,040	3,0324
	1,753	3,0483
λ_{max} promedio	3,029	
IC	0,015	
CR	0,025	

V_{gi}/V_i

Se verifica $CR \leq 0.1$ por lo que la matriz de comparaciones pareadas es consistente.

5.5.4 Macro criterio SIST GESTION:

Criterios	F	FP	ED
-----------	---	----	----



F	1	3	1/7
FP	1/3	1	1/9
ED	9	7	1

FLEXIBILIDAD
FACILIDAD DE PROGRAMACION
EXACTITUD DE DATOS

$V_i = \text{Matriz } \sum A_{i1} / 3$

NORMALIZACION →

Criterios	F	FP	ED	PROMEDIO FILAS
F	0,120	0,231	0,114	0,1549
FP	0,040	0,077	0,089	0,0685
ED	0,840	0,692	0,797	0,7766
	1,000	1,000	1,000	1,000

Criterios	F	FP	ED
F	1,000	3,000	0,143
FP	0,333	1,000	0,111
ED	7,000	9,000	1,000

X

V_i
0,1549
0,0685
0,7766

Matriz B

V_{gi}	V_r
0,471	3,0431
0,206	3,0131
2,477	3,1902

= V_{gi}/V_i →

λ_{max} promedio	3,082
IC	0,041
CR	0,071

Se verifica $CR \leq 0.1$ por lo que la matriz de comparaciones pareadas es consistente.

Nivel 3: Cálculo de la consistencia de las alternativas



CRITERIO PROCESO	ACTIVIDAD			DISPONIBILIDAD			PRODUCTIVIDAD		
	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
	MRP	1	1/7	1/5	1	3	5	1	1/7
JIT	7	1	2	1/3	1	3	7	1	2
OPT-TOC	5	1/2	1	1/5	1/3	1	3	1/2	1

ACTIVIDAD:

Matriz A

CRITERIOS	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1,000	0,143	0,200
JIT	7,000	1,000	2,000
OPT-TOC	5,000	0,500	1,000
Total	13,000	1,643	3,200

$$V_i = \text{Matriz } \Sigma A_{i1} / 3$$

NORMALIZACION →

CRITERIOS	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,077	0,087	0,063	0,0755
JIT	0,538	0,609	0,625	0,5907
OPT-TOC	0,385	0,304	0,313	0,3338
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

V _{gi}	V _r
0,22661252	3,0031
1,78658027	3,0244
1,00647993	3,0150

λ_{max} promedio	3,014
IC	0,007
CR	0,012

La matriz ACTIVIDAD es consistente



DISPONIBILIDAD: (D)

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	3	5
JIT	1/3	1	3
OPT-TOC	1/5	1/3	1

NORMALIZACION

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,652	0,692	0,556	0,6333
JIT	0,217	0,231	0,333	0,2605
OPT-TOC	0,130	0,077	0,111	0,1062
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

Vgi	Vr
1,94562121	3,0720
0,79008217	3,0330
0,31965812	3,0112

λ_{max} promedio	3,039
IC	0,019
CR	0,033

La matriz DISPONIBILIDAD es consistente

Productividad: (P)

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3
JIT	7	1	2
OPT-TOC	3	1/2	1

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
-----------	-----	-----	---------	----------------



NORMALIZACION →

MRP	0,091	0,087	0,100	0,0926
JIT	0,636	0,609	0,600	0,6150
OPT-TOC	0,273	0,304	0,300	0,2924
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

Vgi	Vr
0,27793463	3,0007
1,84808959	3,0049
0,87773386	3,0023

→ Vgi/Vi

λ_{max} promedio	3,003
IC	0,001
CR	0,002

La matriz PRODUCTIVIDAD es consistente.

Macro criterio PRODCTO (PROD):

MACRO CRITERIO PRODUCTO	VARIEDAD			CICLO PRODUCCION			TIEMPO ENTREGA		
	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5	1	1/7	1/5	1	1/7	1/5
JIT	7	1	2	7	1	3	7	1	3
OPT-TOC	5	1/2	1	5	1/3	1	5	1/3	1

Variedad producto: (VP)

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	2
OPT-TOC	5	1/2	1

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
-----------	-----	-----	---------	-------------------



NORMALIZACION →

MRP	0,077	0,087	0,063	0,0755
JIT	0,538	0,609	0,625	0,5907
OPT-TOC	0,385	0,304	0,313	0,3338
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

Vgi		Vr
0,227	Vgi/Vi →	3,0031
1,787		3,0244
1,006		3,0150

λ_{max} promedio	3,014
IC	0,007
CR	0,012

La matriz Variabilidad Producto es consistente

CICLO DEPRODUCCION (CP):

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	3
OPT-TOC	5	1/3	1

NORMALIZACION →

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,077	0,097	0,048	0,0738
JIT	0,538	0,677	0,714	0,6434
OPT-TOC	0,385	0,226	0,238	0,2828
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

gi		Vr
0,222	Vgi/Vi →	3,0127



2,008		3,1215
0,866		3,0624
λ_{\max} promedio	3,066	
IC	0,033	
CR	0,056	

La matriz ciclo producción es consistente

TIEMPO DE ENTREGA

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/5
JIT	7	1	3
OPT-TOC	5	1/3	1

$V_i = \text{Matriz } \sum A_{i1} / 3$

NORMALIZACION

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,077	0,097	0,048	0,0738
JIT	0,538	0,677	0,714	0,6434
OPT-TOC	0,385	0,226	0,238	0,2828
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

V_{gi}		V_r
0,222	V_{gi}/V_i	3,0127
2,008		3,1215
0,866		3,0624
λ_{\max} promedio	3,066	
IC	0,033	
CR	0,056	

La matriz TE es consistente

Macro criterio SISTEMA DE GESTION:

FLEXIBILIDAD

FACIL PROGRAMACION

EXACTITUD DATOS



Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3	1	1/9	1/3	1	9	3
JIT	7	1	5	9	1	5	1/9	1	1/5
OPT-TOC	3	1/5	1	3	1/5	1	1/3	5	1

FLEXIBILIDAD:

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/7	1/3
JIT	7	1	5
OPT-TOC	3	1/5	1

$V_i = \text{Matriz } \Sigma A_{i1} / 3$

NORMALIZACION →

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,091	0,106	0,053	0,0833
JIT	0,636	0,745	0,789	0,7235
OPT-TOC	0,273	0,149	0,158	0,1932
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

V _{gi}	V _r
0,25106124	3,0137
2,27259154	3,1411
0,58781092	3,0427
λ_{max} promedio	3,066
IC	0,033
CR	0,057

La matriz Flexibilidad es consistente

FACILIDAD PROGRAMACION:



Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	1/9	1/3
JIT	9	1	5
OPT-TOC	3	1/5	1

$$V_i = \text{Matriz } \sum A_{i1} / 3$$

NORMALIZACION →

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,077	0,085	0,053	0,0714
JIT	0,692	0,763	0,789	0,7482
OPT-TOC	0,231	0,153	0,158	0,1804
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

V _{gi}	V _r
0,215	3,0056
2,293	3,0649
0,544	3,0173

λ_{max} promedio	3,029
IC	0,015
CR	0,025

La matriz Facilidad de Programación es consistente

EXACTITUD DATOS

Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC
MRP	1	9	3
JIT	1/9	1	1/5
OPT-TOC	1/3	5	1

$$V_i = \text{Matriz } \sum A_{i1} / 3$$



NORMALIZACION →

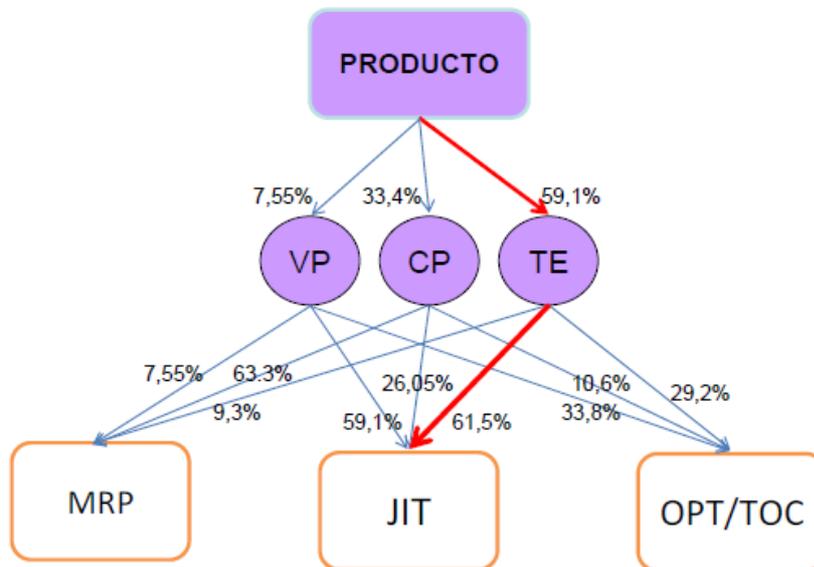
Criterios	MRP	JIT	OPT-TOC	PROMEDIO FILAS
MRP	0,692	0,600	0,714	0,6689
JIT	0,077	0,067	0,048	0,0637
OPT-TOC	0,231	0,333	0,238	0,2674
	1,000	1,000	1,000	1,000

Matriz B

Vgi	Vr
2,045	3,0570
0,192	3,0051
0,809	3,0256
λ_{max} promedio	3,029
IC	0,015
CR	0,025

La matriz exactitud de datos es consistente.

5.5.2 Síntesis Macro criterio PRODCTO

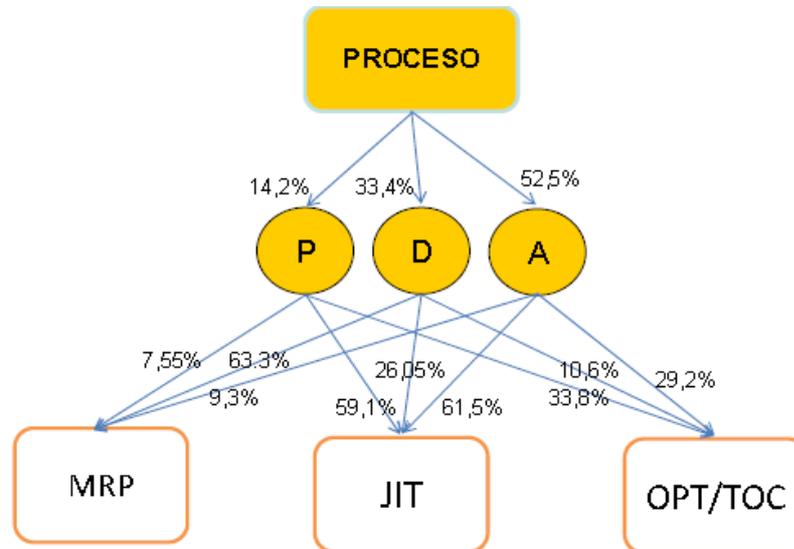


VP=VARIEDAD PRODUCTO= 7,55%

CP=CICLO PRODUCCION= 33,4%

TE=TIEMPO ENTREGA= 59,1%

5.5.3 Síntesis Macro criterio PROCESO

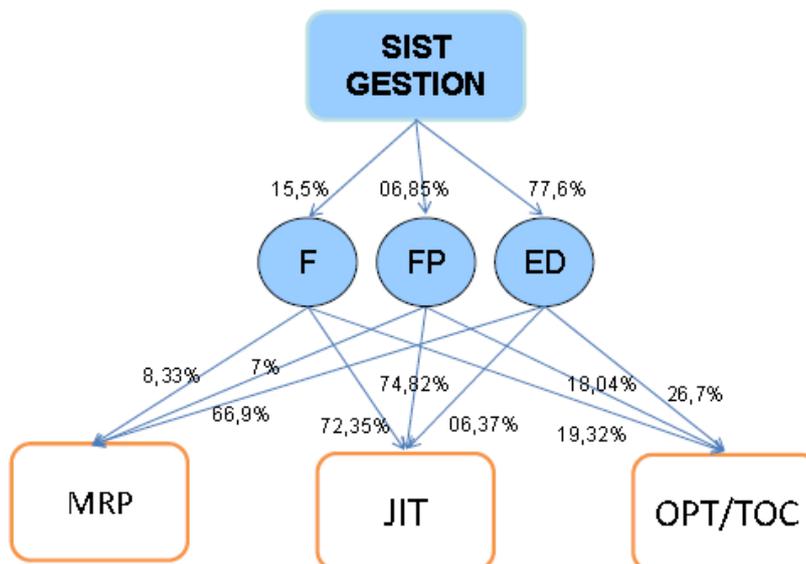


P=PRODUCTIVIDAD= **52,5%**

D=DISPONIBILIDAD= **33,4%**

A=ACTIVIDAD= **14.2%**

5.5.4 Síntesis Macro criterio SISTEMA GESTION

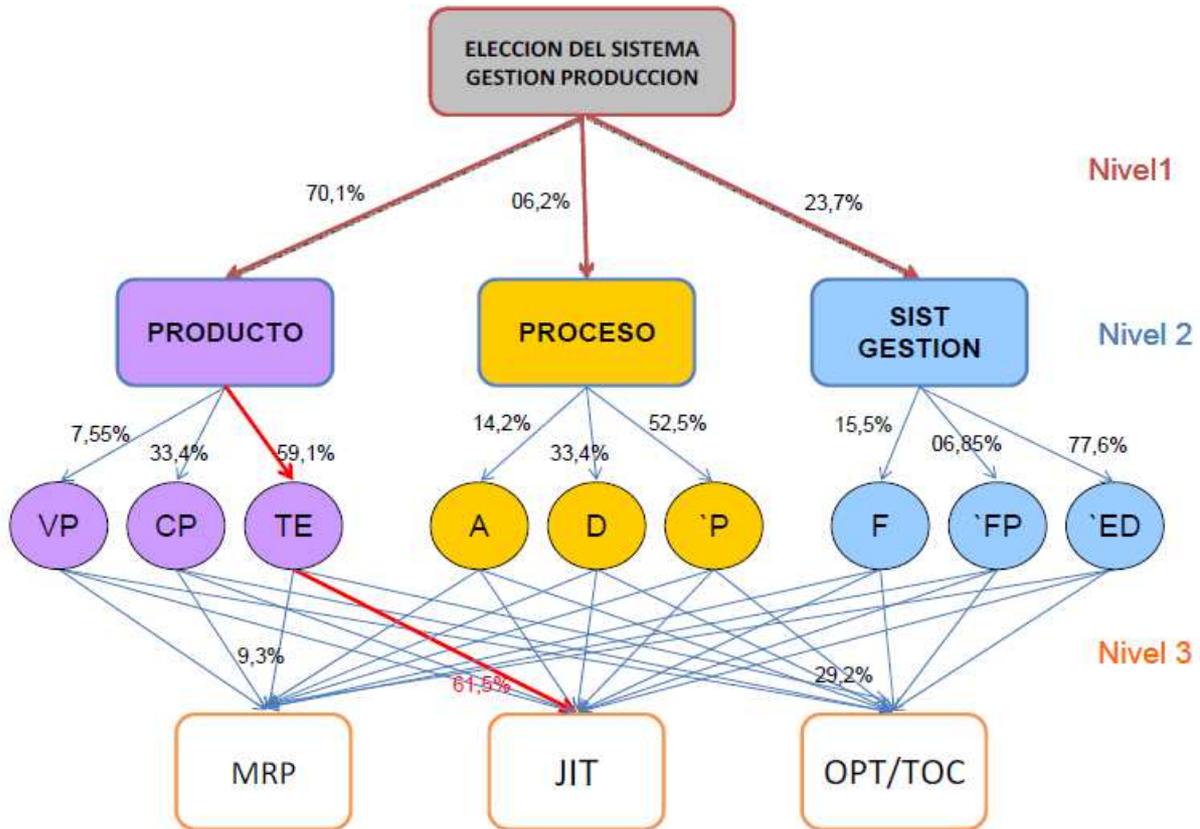


F=FLEXIDAD= **15,5%**

FP=FACILIDAD DE PROGRAMACION= **06,9%**

ED=EXACTITUD DE DATOS= **77,6%**

.5.5.5 Síntesis GLOBAL



Para el objetivo: elección del sistema de gestión de producción, el macrocriterio que mas peso tiene es el producto dada la complejidad y sensibilidad del mismo.

Para este macrocriterio “producto” el subcriterio Tiempo de entrega es el más pesado dado el impacto importante que tiene sobre el programa de entrega de las demás unidades a los diferentes clientes y las penalizaciones que suponen estos retrasos.

5.6 Simulación del modelo

5.6.1 El Expert Choice:

Expert Choice es un sistema para el análisis, síntesis y justificación de decisiones y evaluaciones complejas. Hace posible mirar los elementos de un problema en forma aislada: un elemento se compara contra otro con respecto a un criterio. Éste es el proceso de decisión reducido a sus términos más sencillos: comparaciones apareadas.



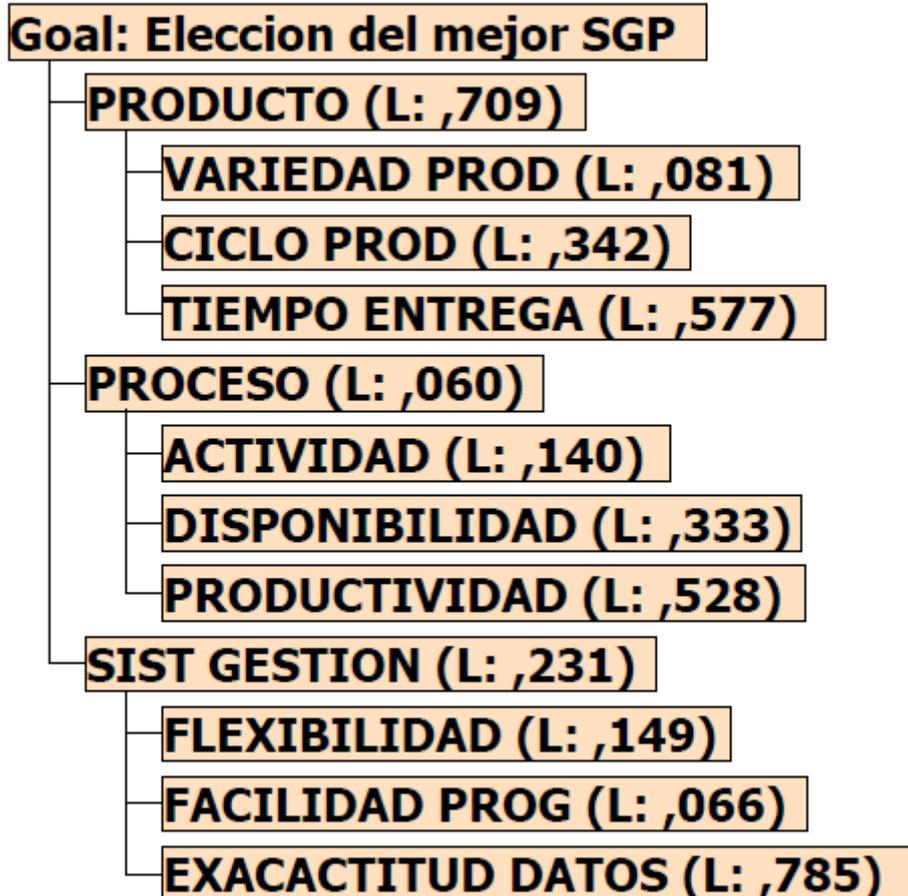
El Expert Choice ayuda a estructurar un problema de modo de focalizar sus elementos, a ordenar sus juicios, a sintetizar y combinar todos los juicios de modo de priorizar claramente sus alternativas de mejor a peor.

Expert Choice le permite incorporar tanto factores cualitativos como cuantitativos, para luego combinarlos.

5.6.2 Síntesis del modelo simulado

Una vez que se introdujeron todos los juicios (introducción directamente de valores en las matrices). En esta forma los valores de inconsistencia obtenidos pueden estar dentro o fuera del límite permitido (0,1), y en base a ese valor se puede replantear el contenido de pesos introducidos en las matrices, podemos realizar el análisis de los resultados. Esto se hace con una síntesis para ver las prioridades de todas las alternativas.

Estructura del modelo:





Objetivo (Goal): Elección del mejor SGP

El objetivo principal es la selección del sistema de gestión de producción más adecuado a nuestra empresa.

Nivel 1: prioridades de los criterios con respecto al objetivo

1. PRODUCTO
2. PROCESO
3. SISTEMADE GESTION

Una vez establecidos los elementos de las matrices, la aplicación empleada Expert Choice, obtiene el valor propio principal de la matriz normalizado, que significa el orden de prioridad de los criterios.

	PRODUCTO	PROCESO	SIST GESTI
PRODUCTO (L: 1,000)		9,0	4,0
PROCESO			(5,0)
SIST GESTION	Incon: 0,07		



Para el nivel 1, el criterio que mas pesa es el PRODUCTO.

Nivel 2: prioridades de los subcriterios criterios con respecto a los criterios:

1. PRODUCTO

El macro criterio PRODUCTO (PROD) recoge los subcriterios:

- * Variedad del Producto: VP
- * Ciclo de Producción: CP
- * Tiempo de Entrega: TE

1.1. VARIEDAD PROD

Tiene en cuenta el tiempo perdido en el proceso de producción debido al cambio de herramientas, despacho de materiales (diversidad de producto)

1.2. CICLO PROD

Es el tiempo necesario para completar todas las operaciones estándares hasta la obtención de producto final

1.3. TIEMPO ENTREGA

Es tiempo desde la recepción de la comanda por el comercio en planta hasta la entrega del producto final al cliente



	VARIEDAD	CICLO PROC	TIEMPO EN
VARIEDAD PROD		(5,0)	(6,0)
CICLO PROD			(2,0)
TIEMPO ENTREGA	Incon: 0,03		



Para el criterio PRODUCTO, el sub-criterio Tiempo de Entrega es el que mas pesa.

2. PROCESO

El macro criterio PROCESO (PROC) integra todos los criterios:

Actividad: A

Disponibilidad: D

Productividad: P

2.1. ACTIVIDAD

Tiene en cuenta el tiempo perdido en el proceso de producción por la no actividad de trabajadores (tiempo de inactividad) debido a:

- Formación.
- Traspaso de trabajadores a otras estaciones.
- Actividades Sindicales
- Otros Inactividad

2.2. DISPONIBILIDAD

Tiene en cuenta el tiempo perdido en producción debido a causas externas:

- Trabajo de subcontratas
- Tareas auxiliares
- Logística externa
- Utillaje & robot
- Otros externos

2.3. PRODUCTIVIDAD

Tiene en cuenta el tiempo perdido en producción debido a causas internas:

- oDesmontaje/Montaje.
- oTrabajos Pruebas Sistemas
- oTrabajos de Calidad / Solución no conformidades
- oTareas auxiliares
- oLogística interna

	ACTIVIDAD	DISPONIBIL	PRODUCTIV
ACTIVIDAD		(3,0)	(3,0)
DISPONIBILIDAD			(2,0)
PRODUCTIVIDAD	Incon: 0,05		





Para el criterio PROCESO, el sub-criterio PRODUCTIVIDAD es el que mas pesa.

3. SIST GESTION

El MACRO CRITERIO SISTEMA DE GESTION (SG), recoge los siguientes subcriterios:

- Flexibilidad: F
- Facilidad de Programación: FP
- Exactitud de Datos: ED

3.1. FLEXIBILIDAD

Características del sistema de gestión en cuanto a:

- Integración de nuevos subproductos
- Cambio de herramientas de producción
- Tamaño de lote y niveles de existencia.

3.2. FACILIDAD PROG

Característica que describe el proceso de desarrollo y análisis de la organización de la producción.

3.3. EXACTITUD DATOS

Característica que describe la precisión et cantidad de datos a procesar

	FLEXIBILID	FACILIDAD	EXACTITUD
FLEXIBILIDAD		3,0	(7,0)
FACILIDAD PROG			(9,0)
EXACTITUD DATOS	Incon: 0,08		

FLEXIBILIDAD	,149	
FACILIDAD PROG	,066	
EXACTITUD DATOS	,785	
Inconsistency = 0,08		

Para el criterio Sistema de Gestión, el sub-criterio exactitud de datos es el que mas pesa.

Nivel 3: prioridades de las alternativas MRP/ JIT/ OPT-TOC con respecto a los subcriterios

1. PRODUCTO

1.1. VARIEDAD PROD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(5,0)
JIT			2,0
OPT/TOC	Incon: 0,01		

MRP	,075	
JIT	,592	
OPT/TOC	,333	
Inconsistency = 0,01		



Para la combinación criterio PRODUCTO, sub-criterio variedad de producto, la alternativa que mas pesa es el JIT.

1.2. CICLO PROD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(5,0)
JIT			3,0
OPT/TOC	Incon: 0,06		

MRP ,072

JIT ,649

OPT/TOC ,279

Inconsistency = 0,06

Para la combinación criterio PRODUCTO, sub-criterio ciclo de producción, la alternativa que mas pesa es el JIT.

1.3. TIEMPO ENTREGA

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(5,0)
JIT			3,0
OPT/TOC	Incon: 0,06		

MRP ,072

JIT ,649

OPT/TOC ,279

Inconsistency = 0,06

Para la combinación criterio PRODUCTO, sub-criterio tiempo de entrega, la alternativa que mas pesa es el JIT.

2. PROCESO

2.1. ACTIVIDAD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(5,0)
JIT			2,0
OPT/TOC	Incon: 0,01		

ACTIVIDAD ,140

DISPONIBILIDAD ,333

PRODUCTIVIDAD ,528

Inconsistency = 0,05

Para la combinación criterio PROCESO, sub-criterio ACTIVIDAD, la alternativa que mas pesa es el JIT.



2.2. DISPONIBILIDAD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		3,0	5,0
JIT			3,0
OPT/TOC	Incon: 0,04		

MRP	,637	
JIT	,258	
OPT/TOC	,105	
Inconsistency = 0,04		

Para la combinación criterio PROCESO, sub-criterio DISPONIBILIDAD, la alternativa que mas pesa es el JIT.

3. PRODUCTIVIDAD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(3,0)
JIT			2,0
OPT/TOC	Incon: 0,00		

MRP	,093	
JIT	,615	
OPT/TOC	,292	
Inconsistency = 0,00252		

Para la combinación criterio PROCESO, sub-criterio PRODUCTIVIDAD, la alternativa que mas pesa es el JIT.

3. SIST GESTION

3.1. FLEXIBILIDAD

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(7,0)	(3,0)
JIT			5,0
OPT/TOC	Incon: 0,06		

MRP	,081	
JIT	,731	
OPT/TOC	,188	
Inconsistency = 0,06		

Para la combinación criterio SISTEMA DE GESTION, sub-criterio FLEXIBILIDAD, la alternativa que mas pesa es el JIT.

3.2. FACILIDAD PROG

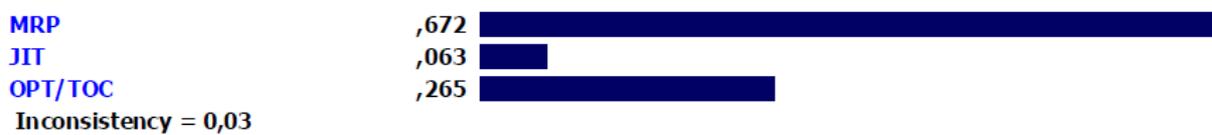
	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		(9,0)	(3,0)
JIT			5,0
OPT/TOC	Incon: 0,03		



Para la combinación criterio SISTEMA DE GESTION, sub-criterio FACILIDAD DE PROGRAMACION, la alternativa que mas pesa es el JIT.

3.3. EXACACTITUD DATOS

	MRP	JIT	OPT/TOC
MRP		9,0	3,0
JIT			(5,0)
OPT/TOC	Incon: 0,03		



Para la combinación criterio SISTEMA DE GESTION, sub-criterio EXACTITUD DE DATOS, la alternativa que mas pesa es el MRP.

Una vez terminado el modelo e introducidos los juicios, se obtienen los resultados sintetizando toda la información y aplicando el algoritmo de Saaty, el cual se realiza en la herramienta de manera transparente al usuario

Existen dos modos de sintetizar los resultados (Romero, 1996):

- **Modo Ideal:** el modelo tiende a hacer una serie de normalizaciones para hacer que las prioridades sumen 1 y así repartir uniformemente la prioridad, además de otras normalizaciones más internas. Se usa cuando se pretende buscar la mejor alternativa.
- **Modo Distributivo:** el modelo no realiza normalizaciones y puede perder pequeños fragmentos de prioridad aunque resulta más eficiente. Se usa cuando se pretende buscar varias soluciones.

Los resultados que se puedan obtener tanto en el modo ideal como en el distributivo pueden no ser iguales, aunque en la mayoría de casos darán el mismo resultado o parecido.

En nuestro caso, se ha optado por el modo ideal dado que se pretende buscar la mejor alternativa.



5.6.3 Análisis de sensibilidad (Sensitivity Analysis)

El análisis de sensibilidad se utiliza para investigar la sensibilidad de la prioridad de las alternativas a cambios en la importancia de los criterios.

Si el análisis de sensibilidad se realiza con respecto al objetivo (nodo GOAL), mostrará la sensibilidad con respecto a los criterios inferiores al objetivo. También puede realizarse con respecto a nodos inferiores al objetivo, si el árbol tiene más de 3 niveles.

Usaremos los dos modos gráficos de análisis de sensibilidad:

- Dinámico (Dynamic)
- Gradiente (Gradient)
- Performance (a título de infamación)

5.6.3.1 Análisis de Sensibilidad Dinámico (Dynamic Sensitivity)

El análisis de sensibilidad dinámico permite ver los cambios en las prioridades de las alternativas a medida que se incrementa o decrementa la prioridad de cualquier criterio.

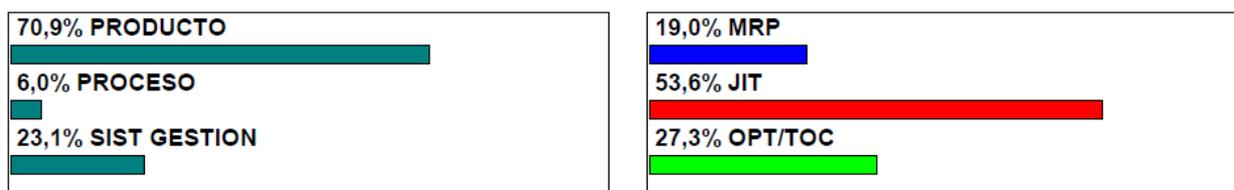
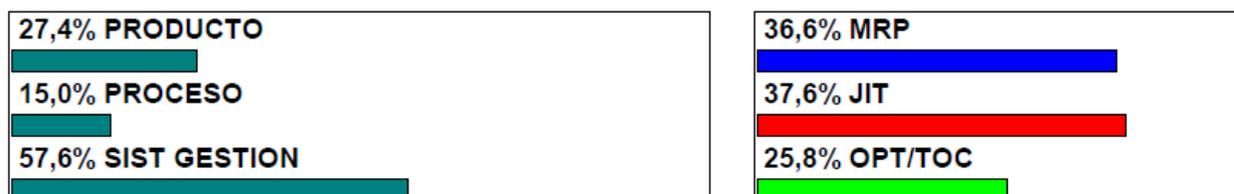


Figura 5. Análisis de sensibilidad para los criterios

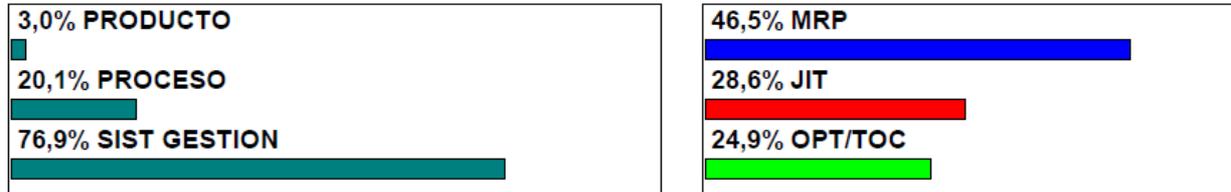
Sensibilidad variando el criterio PRODUCTO:



En el valor frontera del criterio PRODCUTO = 27 %, la alternativas MRP domina a la alternativa JIT que deja de ser prioritaria.

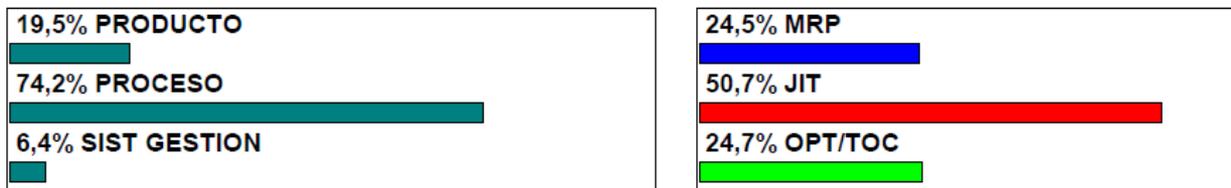


Para cualquier valor del criterio PRODUCTO, la alternativa MRP domina OPT-TOC



Aun disminuyendo el criterio PRODCUTO hasta un 3 %, la alternativa MRP sigue dominando todas las alternativas, el criterio sistema de gestión domina entre los criterios y pasa a ser prioritario.

Sensibilidad variando el criterio PROCESO:



Para cualquier valor de criterio PROCESO, la alternativa dominante es JIT, sin embargo, para un peso del 74% del criterio PROCESO, la alternativa MRP domina a OPT.

Sensibilidad variando el criterio SISTEMA DE GESTION:



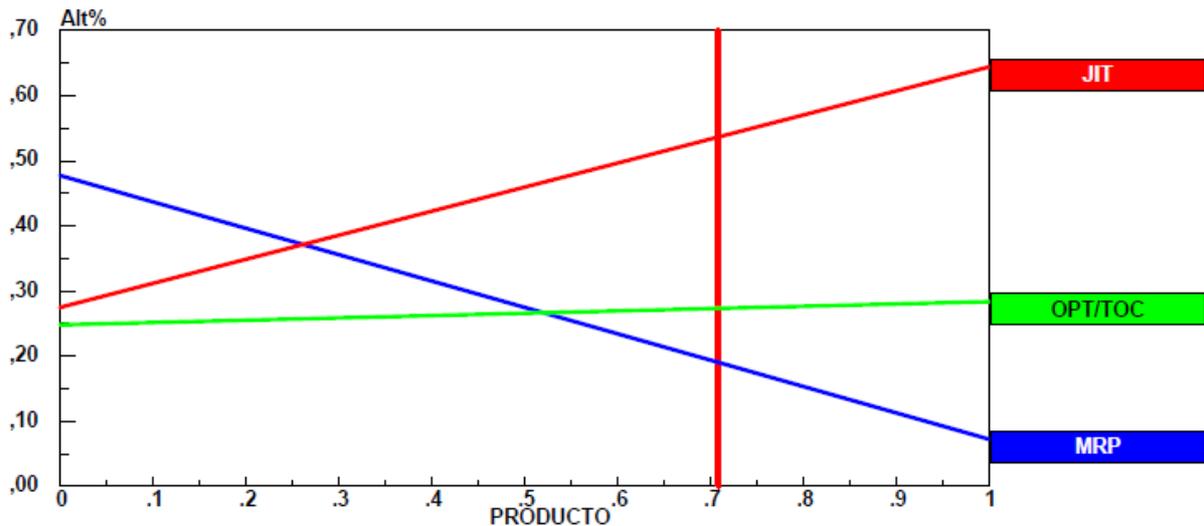
En el valor frontera del criterio SG = 61 %, la alternativas MRP domina a la alternativa JIT que deja de ser prioritaria.

Para cualquier valor del criterio SG, la alternativa MRP domina OPT-TOC

5.6.3.2 Análisis de sensibilidad del Gradiente

Otro método para investigar la sensibilidad es a través del gradiente.

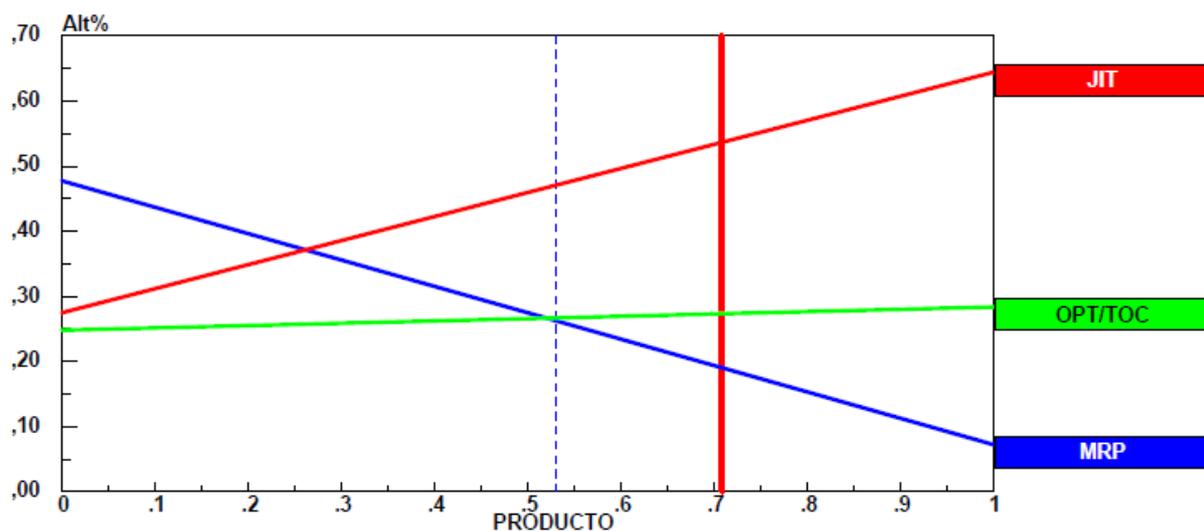
Sensibilidad del criterio PRODUCTO:



La prioridad actual del criterio PRODUCTO es 71 % que se representa en el eje horizontal. Las intersecciones de esta línea vertical con las líneas de las alternativas dan las prioridades correspondientes de cada alternativa. La prioridad de JIT es aproximadamente 53 %, la OPT es 25% y la de MRP es de 6%.

Movemos la línea vertical a la derecha o a la izquierda para investigar qué sucede con las prioridades de las alternativas cuando cambia la importancia del criterio.

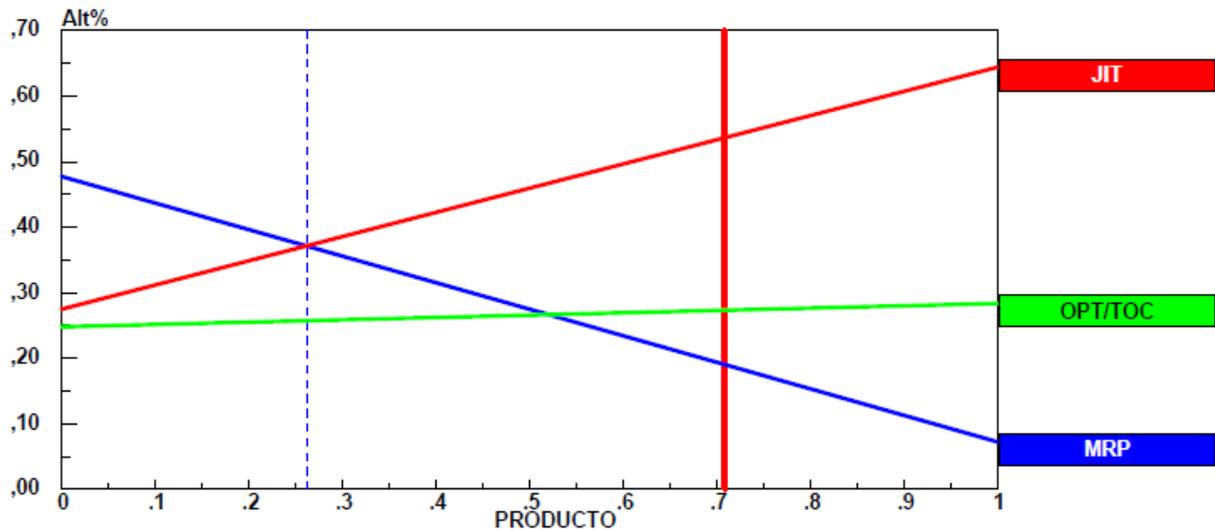
La línea original se mantiene, para mostrarle cuál es el estado original. Los puntos donde las líneas de las alternativas se mantienen se llaman puntos de intercambio (o de indiferencia), ya que indican a partir de cuál importancia las preferencias cambiarán.





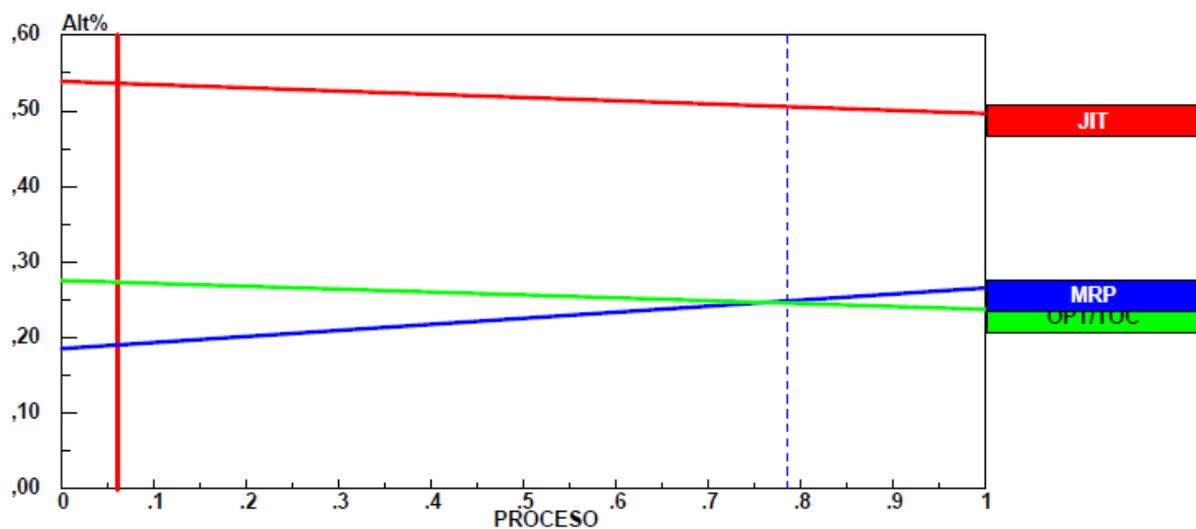
Ubicando la prioridad del criterio PRODUCTO en el punto 0.54, la línea de prioridad de MRP se intersecta en 0.25 con la de OPT, la de JIT le hace en 0.54 (valores aproximados).

El JIT sigue siendo la elección preferida.



Ubicando la prioridad del criterio PRODUCTO en el punto 0.26, la línea de prioridad de MRP se intersecta en 0.47 con la de JIT inferior u igual que este valor, la alternativa JIT deja de ser prioritaria y el MRP pasa a ser la elección preferida.

Sensibilidad del criterio PROCESO:



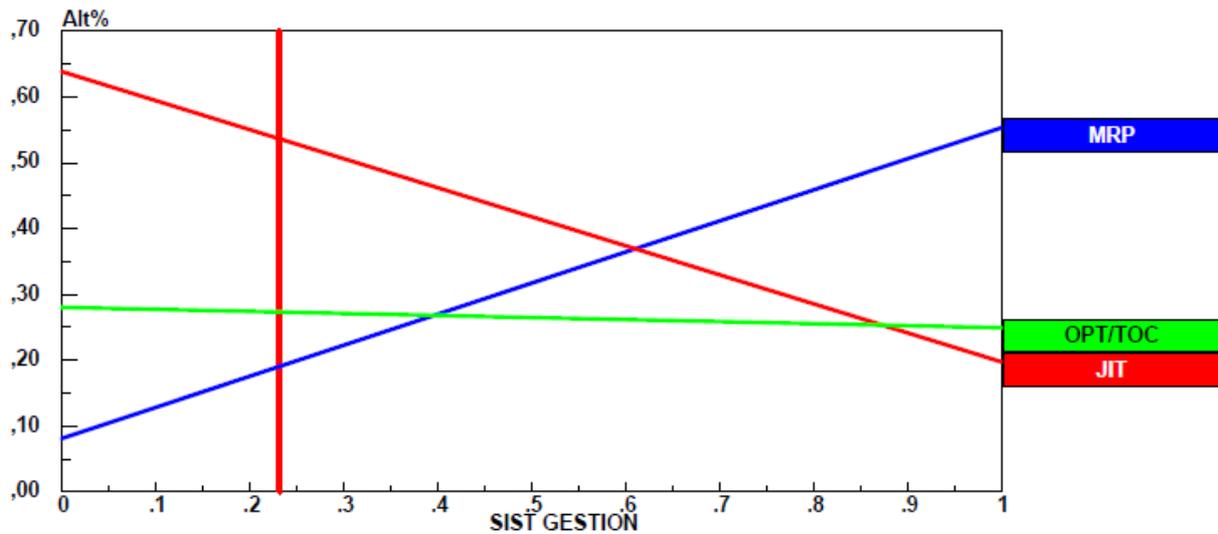
Este gráfico muestra que la prioridad actual para el PROCESO es 0.06. La altura de la intersección de esta línea con las líneas JIT, MRP y OPT muestra las prioridades



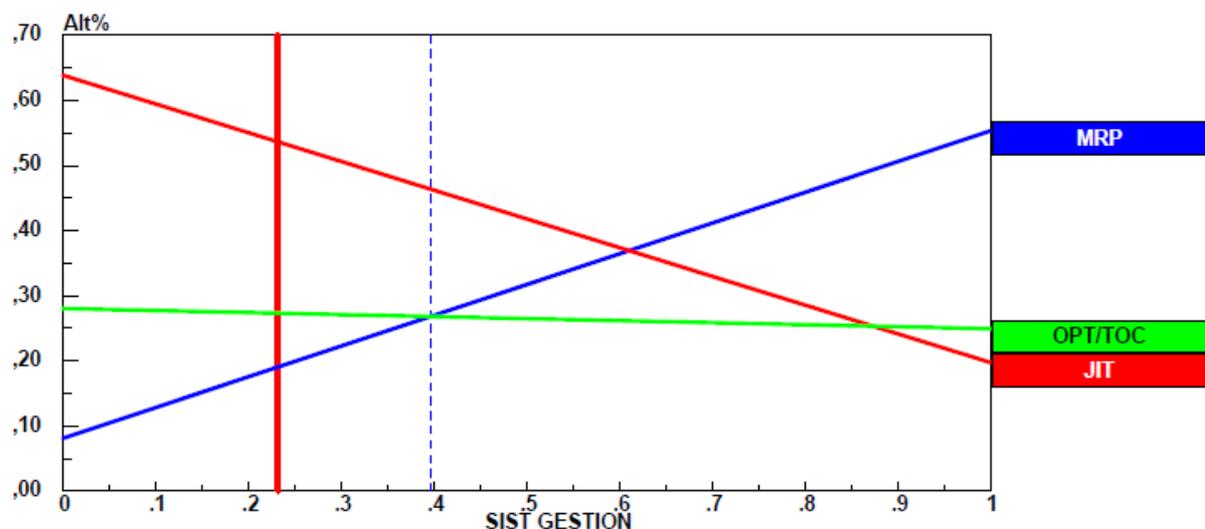
relativas cuando el PRODUCTO tiene prioridad 0.6. Luego, el JIT es la alternativa preferida para cualquier valor del PROCESO.

Cuando el criterio PRODUCTO alcanza la prioridad de 0.78 o mayo, la alternativa pasa a ser la segunda mejor alternativa.

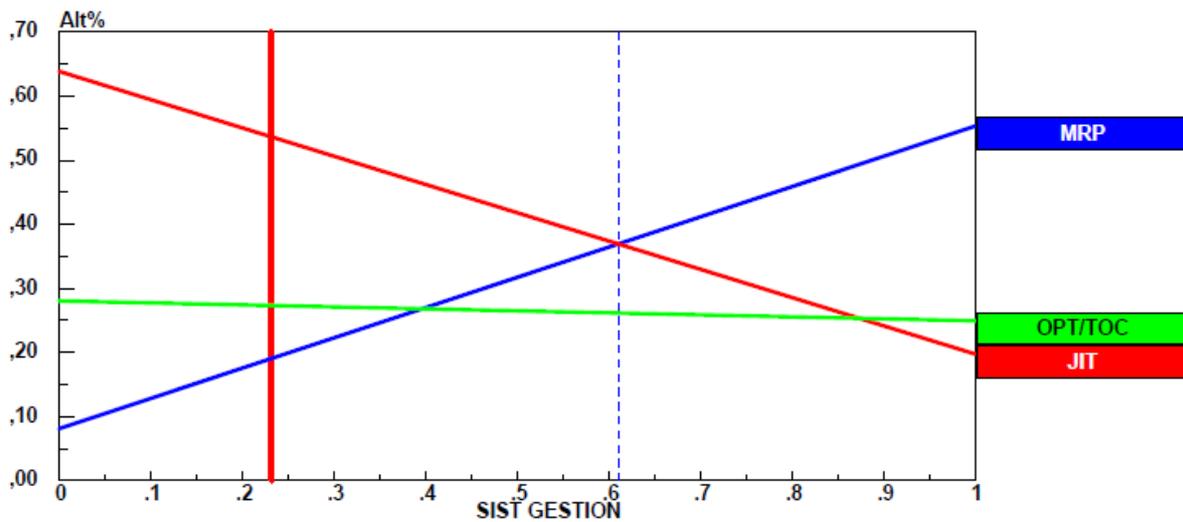
Sensibilidad del criterio SISTEMA DE GESTION:



La prioridad actual del criterio SISTEMA DE GESTION es 23% que se da como alternativa preferida al JIT.



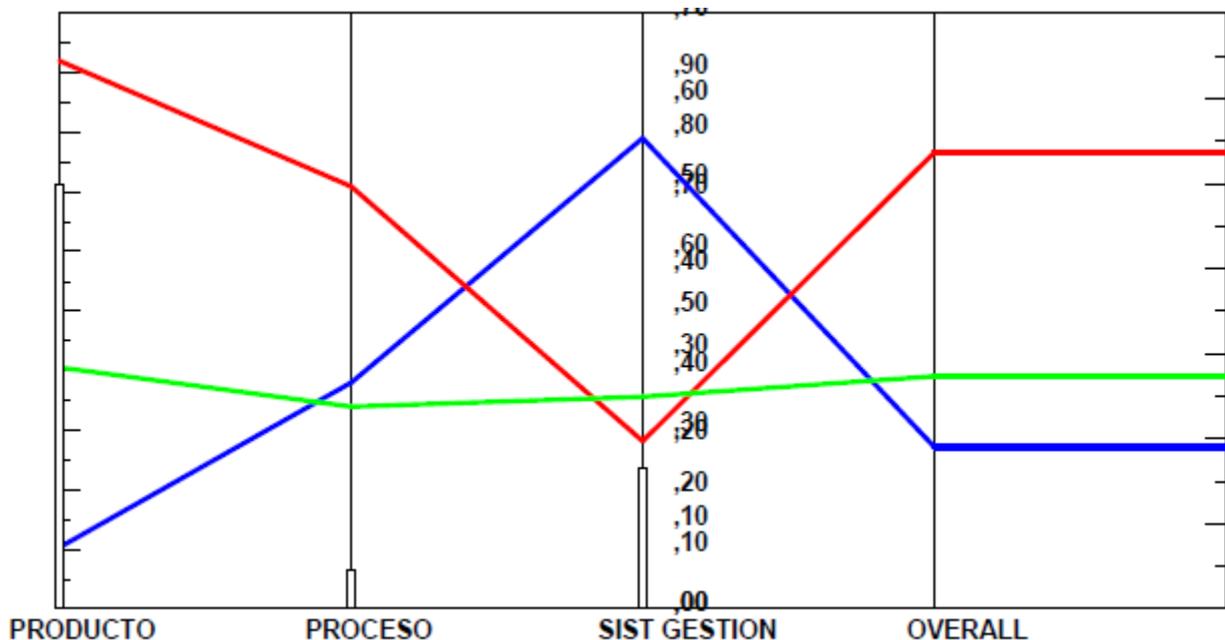
Moviendo la prioridad del criterio SISTEMA DE GESTION al 40%, la alternativa JIT sigue la preferida mientras que la MRP pasa a ser la segunda mas preferida después del JIT.



Cuando el criterio SISTEMA DE GESTION pasa a un valor superior u igual al 61%, la alternativa MRP se convierte en preferida y la OPT le hace como segunda mas preferida a un valor del 90 %.

5.6.3.3 Análisis de sensibilidad de Rendimiento (Performance)

El análisis **Performance** muestra el rendimiento (performance) de cada alternativa con respecto a cada criterio, y las prioridades globales de las alternativas.

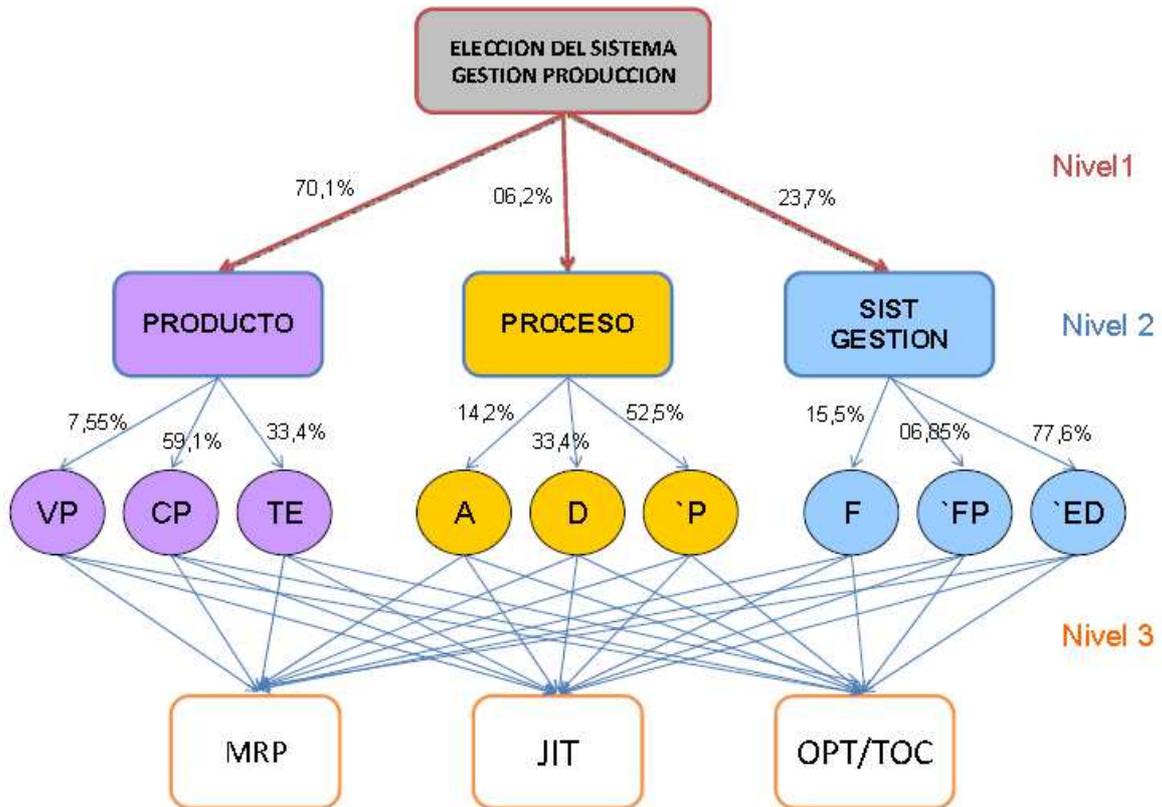


La intersección de la línea de alternativa con la columna vertical del criterio muestra



qué tan preferible es con respecto a ese criterio. La altura de las barras de criterio representan sus prioridades. Pueden aumentarse o disminuirse.

5.6.4 Comparativa entre cálculos teóricos y simulados.



Simulación con el expert Choice



5.7 Resultados:

5.7.1 Cálculo de la eficiencia del proceso de producción:

A- Indicadores de Operación: IO

Miden la actividad desde un punto de vista operativo.

A1. Horas Teóricas de Presencia en Planta: HTPP

HTPP= Horas teóricas de presencia de los trabajadores en planta

A2. Horas Reales de Presencia en Planta: HRPP

HTPP= Horas de presencia de los trabajadores en planta

A3. Horas de Operación Disponibles: HOD

HOD= Horas de Operación Disponibles en cada turno de trabajo incluyendo todas las actividades de los trabajadores:

- Formación
- Traspaso de trabajadores a otras estaciones
- Actividades Sindicales
- Otros Inactividad



A4. Horas de Operación Estándar: HOE

HO= Horas de Operación Estándares (predefinidas) en el sistema de producción (SAP) y están calculadas según curva de aprendizaje del 80%

A5. Horas Netas de Operación: HNO

HNO= Horas netas de trabajo incluyendo trabajo pendiente de otros días

- Desmontaje/Montaje.
- Trabajo de subcontratas
- Trabajos Pruebas Sistemas
- Trabajos de Calidad / Solución no conformidades
- Tareas auxiliares
- Logística interna
- Utillaje & robot

Basándonos sobre estos indicadores podemos calcular los indicadores de eficiencia del proceso:

B- Indicadores de Eficiencia Global: IEG

Miden la eficiencia de cada subactividad y de la actividad global.

B1. Indicador de Capacidad: IC

Capacidad No Efectiva (CNE): es la Diferencia entre tiempo presencial teórico y real

$$\text{CNE} = \text{HTPP} - \text{HROP}$$

$$\text{IC} = \text{HRPP} / \text{HTPP} = 1 - (\text{CNE} / \text{HTOP})$$

El tiempo teórico: HTOP esta predefinido para los operarios en 8 horas por turno.

El tiempo real HROP: se controla mediante el acceso al centro de trabajo mediante los tornos de entrada.

B2. Indicador de Actividad: IA

Tiene en cuenta el tiempo perdido en el proceso de producción por la no actividad de trabajadores (tiempo de inactividad) debido a:

- Formación.
- Traspaso de trabajadores a otras estaciones.
- Actividades Sindicales



- Otros Inactividad

Para ello definimos el Tiempo perdido por Otras Actividades:

$$\text{TPOA} = \text{HROP} - \text{HOD}$$

$$\text{IA} = \text{HOD} / \text{HRPP} = 1 - (\text{TPOA} / \text{HROP})$$

B3. Indicador de Disponibilidad: ID

Tiene en cuenta el tiempo perdido en producción debido a causas externas:

- Trabajo de subcontratas
- Tareas auxiliares
- Logística externa
- Utillaje & robot
- Otros externos

Para ello definimos el Tiempo perdido por Incidencias en Producción debido a causas externas:

$$\text{TPIE} = \text{HOE} - \text{HNOe}$$

$$\text{ID} = \text{HNOe} / \text{HOE} = 1 - (\text{TPIE} / \text{HOD})$$

B4. Indicador de Productividad: IP

Tiene en cuenta el tiempo perdido en producción debido a causas internas:

- Desmontaje/Montaje.
- Trabajos Pruebas Sistemas
- Trabajos de Calidad / Solución no conformidades
- Tareas auxiliares
- Logística interna

Para ello definimos el Tiempo perdido por Incidencias en Producción debido a causas internas;

$$\text{TPII} = \text{HOE} - \text{HNOi}$$

$$\text{IP} = \text{HNOi} / \text{HOE} = 1 - (\text{TPII} / \text{HOD})$$

B5. Indicador de calidad (Quality): IQ



Tiene en cuenta el tiempo perdido en el proceso de producción debido a No Conformidades **(NC)**:

- Reparaciones y Retrabajos externas
 - Reparaciones y Retrabajos internas
- } Horas de Producción: HP

Para ello definimos el Tiempo perdido por Defectos en Producción debido a causas internas y externas

$$\text{TPD} = \text{HNO} - \text{HP}$$

$$\text{HNO} = \text{HNO}_i + \text{HNO}_e$$

$$\text{IQ} = \text{HP} / \text{HNO} = 1 - (\text{TPD} / \text{HNO})$$

5.7.2 Medición de parámetros:

Como ya comentado en el capítulo 2, para el cálculo de estos indicadores, la tabla abajo sintetiza como se obtienen los datos, la fuente de los mismos y el soporte utilizado para recogerlos.

Tabla 2.1: Síntesis de datos recogidos, fuente de los mismos y el soporte utilizado para recogerlos.



	DATOS A MEDIR	FUENTE	COMENTARIOS
Horas Teóricas de Operación en Planta (HTOP)	-Horas presenciales teóricas de los trabajadores de la estación.	Producción	Plantilla/Reuniones diarias
Horas de Operación en Planta (HOP)	-Horas presenciales de los trabajadores de la estación.	SAP	No se incluyen horas de bajas, ausencias...
Tiempo perdido por Otras Actividades (TPOA)	-Formación -Traspaso de trabajadores -Actividades Sindicales -Otras Actividades	Producción	Plantilla/Reuniones diarias
Tiempo perdido por Incidencias Externas (TPIE)	-Trabajo de subcontratas -Tareas auxiliares -Logística externa -Utillaje & robot -Otros externos	Producción	Plantilla/Reuniones diarias
Tiempo perdido por Incidencias Internas (TPII)	-Desmontaje / montaje -Trabajos pruebas sistemas -Trabajos de calidad -Logística interna	Producción	Plantilla/Reuniones diarias
Tiempo perdido por Defectos	-Reparaciones y retrabajos internas -Reparaciones y retrabajos Externas	Producción	Tiempo medio de reparación

Tabla 5.1: Síntesis de datos recogidos, fuente de los mismos y el soporte utilizado para recogerlos.

5.7.3 Seguimiento

Para el seguimiento de las pérdidas de horas de producción, se usa la plantilla abajo en la que diariamente se introducen las horas que el trabajador no ha trabajado en el proceso de producción planificado debido a alguna de las causas tales como formación, traspaso de trabajadores a otras estaciones, actividades Sindicales y otros.



20-sep-08		PÉRDIDAS DE CAPACIDAD PRODUCTNA																					
		Horas por Trabajador																					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22
ACTIVIDADES NORMALES	Formación																						
	Traspaso de operarios a otras estaciones																						
	Actividades Sindicales																						
	Otros Actividades																						
INCIDENCIAS EXTERNAS	Bloqueo por OW o HNC Partners																						
	Retraso de Equipos o Loose items																						
	Logística Interna																						
	Incidencia Herramientas																						
	Incidencia Utillaje & robot																						
	Otros Externos																						
INCIDENCIAS INTERNAS	Desmontaje/Montaje partners																						
	Trabajo de subcontratas																						
	Trabajos de Pruebas Sistemas																						
	Trabajos de Calidad / Solución HNC																						
	Tareas auxiliares																						
	Otros Internos																						
REPECTOS	Reparaciones y Reworks Internos																						
	Reparaciones y Reworks Externas																						

Nº Trabajadores

Cuadro 5.1 recogida de datos de pérdidas por capacidad productiva

En la tabla de abajo, se convierten los datos recogidos en horas semanales que reflejan las horas reales de producción y las de pérdida de capacidad.



		W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19		
Presencia Teórica		TOTAL Hrs								
		96,0	880,0	456,0					1.432	
Presencia Real		TOTAL Hrs								
		76,2	843,0	392					1.311	
Otras Actividades	<i>Formación</i>	0	0	0					0	
	<i>Traspaso de operarios a otras estaciones</i>	48	101	76					225	
	<i>Actividades Sindicales</i>	0	0	0					0	
	<i>Otras Actividades</i>	0	30	25					55	
	TOTAL Hrs								280	
Incidencias Externas	<i>Bloqueo por OW o HNC Partners</i>	0	0	0					0	
	<i>Retraso de Equipos o Loose items</i>	0	0	0					0	
	<i>Logística Interna</i>	0	2	11					13	
	<i>Incidencia Herramientas</i>	0	16	18					34	
	<i>Incidencia Utilaje & robot</i>	0	24	2					26	
	<i>Otros Externos</i>	0	0	0					0	
TOTAL Hrs								73		
Incidencias Internas	<i>Desmontaje/Montaje partners</i>	0	19	0					19	
	<i>Trabajo de subcontratas</i>	0	0	0					0	
	<i>Trabajos de Pruebas Sistemas</i>	0	0	0					0	
	<i>Trabajos de Calidad / Solución HNC</i>	0	8	8					16	
	<i>Tareas auxiliares</i>	0	0	0					0	
	<i>Otros Internos</i>	0	0	12					12	
TOTAL Hrs								47		
HNC's	<i>Reparaciones y Reworks Internos</i>	0	0	0					0	
	<i>Reparaciones y Reworks Externas</i>	0	4	0					4	
	TOTAL Hrs								4	
Pérdidas	TOTAL Hrs	48	204	152					404	
Producción	TOTAL Hrs	28	639,0	240					907	
Horas Estándar Quemadas	TOTAL Hrs	57	563	244					864	

Cuadro 5.2 Conversión de los datos recogidos en horas semanales / horas reales de producción y las de pérdida de capacidad

5.7.4 Cálculo del Indicador de Eficiencia Global: IEG

Indicador global de eficiencia del proceso productivo completo y tiene en cuenta los factores de Capacidad, Actividad, Disponibilidad y Productividad.

HPP= 1431 Horas teóricas de presencia de los trabajadores en planta

HRPP= 1331,2 Horas de presencia de los trabajadores en planta

HOD= 1031,2 Horas de Operación Disponibles en cada turno de trabajo

HOE=958,2 Horas de Operación Estándares (predefinidas) en el sistema de producción (SAP) y están calculadas según curva de aprendizaje del 80%

HP=907,2 Horas de producción

HNO= 911,2 Horas netas de trabajo incluyendo trabajo pendiente de otros días



Indicador de Capacidad: IC

Capacidad No Efectiva (CNE): es la Diferencia entre tiempo presencial teórico y real

$$\text{CNE} = \text{HTPP} - \text{HRPP} = 120,8 \text{ hrs}$$

$$\text{IC} = \text{HRPP} / \text{HTPP} = 1 - (\text{CNE} / \text{HTPP}) = 91,6 \%$$

Indicador de Actividad: IA

$$\text{TPOA} = \text{HRPP} - \text{HOD} = 280 \text{ hrs}$$

$$\text{IA} = \text{HOD} / \text{HRPP} = 1 - (\text{TPOA} / \text{HRPP}) = 79 \%$$

Indicador de Disponibilidad: ID

Para ello definimos el Tiempo perdido por Incidencias en Producción debido a causas externas:

$$\text{TPIE} = \text{HOE} - \text{HNOe} = 47 \text{ Hrs}$$

$$\text{ID} = \text{HNOe} / \text{HOE} = 1 - (\text{TPIE} / \text{HOD}) = 93\%$$

B4. Indicador de Productividad: IP

Para ello definimos el Tiempo perdido por Incidencias en Producción debido a causas internas;

$$\text{TPII} = \text{HOE} - \text{HNOi} = 47 \text{ Hrs}$$

$$\text{IP} = \text{HNOi} / \text{HOE} = 1 - (\text{TPII} / \text{HOD}) = 95 \%$$

B5. Indicador de calidad (Quality): IQ

Tiene en cuenta el tiempo perdido en el proceso de producción debido a No Conformidades (NC):

- Reparaciones y Retrabajos externas
 - Reparaciones y Retrabajos internas
- } Horas de Producción: HP



Para ello definimos el Tiempo perdido por Defectos en Producción debido a causas internas y externas

$$\text{TPD} = \text{HNO} - \text{HP} = 4 \text{ hrs}$$

$$\text{HNO} = \text{HNO}_i + \text{HNO}_e$$

$$\text{IQ} = \text{HP} / \text{HNO} = 1 - (\text{TPD} / \text{HNO}) = 99,6 \%$$

1432	Hrs Teóricas de Presencia en Planta			
Indice de Capacidad	92%			
1311,2	Hrs de Presencia en Planta			Capacidad No Efectiva 120,8
Indice Actividad	79%			
1031,2	Hrs de Operación Disponibles		Otras Actividades	280
Indice Disponibilidad	93%			
958,2	Hrs de Operación		Interrupciones Externas	73
Indice Productividad	95%			
911,2	Hrs Netas de Operación		Interrupciones Internas	47
Indice Calidad	100%			
907,2	Hrs de Producción		Calidad	4
Índice de Efectividad	95%			
864,3	Hrs Estándar Quemadas	Desviaciones	42,9	

El índice de Eficiencia Global: **IEG**

IC=92%

IA=79%

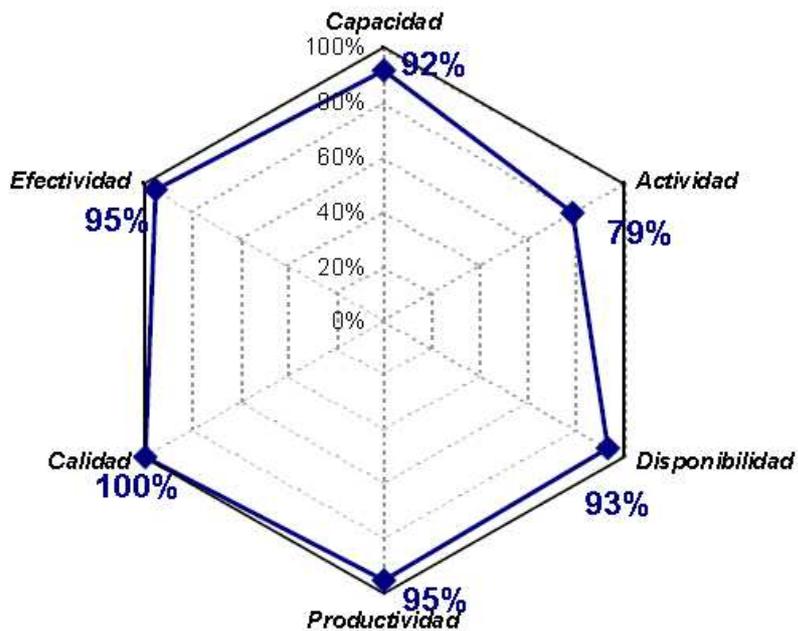
ID=93%

IP=95%

IQ=99,6%

$$\text{IEG} = \text{IC} * \text{IA} * \text{ID} * \text{IP} * \text{IQ}$$

IEG= 64 %



Los valores simulados están a una precisión de +/- de 0.03 con respecto a los valores teóricos o sea que el modelo está al 97% de exactitud

El indicador actividad está el más penalizado debido los tiempos inactividad debido a la formación y traspaso de trabajadores a otras estaciones.