

APLICACIÓN DE ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE LA SEDE DE ENVAPAC  
LTDA.



TRABAJO DE GRADO  
GUSTAVO GALÁN BEDOYA

DIRECTOR  
ING. JUAN CARLOS GARCÍA DÍAZ, PhD.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
MAYO DE 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a todas las personas que de una u otra forma estuvieron involucradas en la realización del trabajo y en especial a:

A mi familia, quienes apoyaron constantemente la realización del trabajo y brindaron ayuda ante las adversidades presentadas.

Al Ingeniero Juan Carlos García Díaz, director del trabajo, por su constante colaboración y orientación pertinente a través de sus conocimientos y experiencia.

A Jose Julián Rodríguez, Gerente Administrativo de Envapac Ltda. por abrir las puertas de Envapac y brindar toda la información necesaria para el buen desarrollo del proyecto.

A Juan Pablo Jiménez, Jefe de Producción de Envapac Ltda, quien colaboro constantemente en la recolección de información y en el acompañamiento durante las visitas a la empresa.

## Tabla de contenido

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	8
1.1 Envapac Ltda. ....	8
1.2 Misión.....	8
1.3 Visión.....	8
1.4 Clientes .....	9
1.5 Portafolio de productos .....	9
1.6 Distribución de planta actual .....	10
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	14
3.1 Definiciones .....	14
3.1.1 Distribución de planta .....	14
3.1.2 Programación lineal (LP).....	14
3.1.3 Problema de distribución de planta .....	14
3.1.4 Planeación Sistemática de la Distribución (Distribución de planta de Muther) .....	15
3.1.5 Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	18
3.1.6 Análisis Envolverte de Datos (DEA).....	20
<b>4. METODOLOGÍA PROPUESTA</b> .....	22
4.1 Objetivos .....	22
4.1.1 Objetivo general.....	22
4.1.2 Objetivos específicos .....	22
4.2 Situación actual de Envapac.....	23
4.3 Generación de alternativas de distribución de planta .....	23
4.4 Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico .....	23
4.5 Aplicación del Análisis Envolverte de Datos .....	24
4.6 Evaluación costo-beneficio.....	25
<b>5. Situación actual</b> .....	26
5.1 Distribución de planta.....	26
5.1.1 Dimensiones .....	26
5.1.2 Departamentos .....	27
5.1.3 Turnos asignados.....	27
<b>6. Elaboración de alternativas</b> .....	28
6.1 Selección de herramienta a utilizar .....	28
6.2 Planeación Sistemática de la Distribución.....	29
6.2.1 Relaciones entre departamentos.....	29
6.2.2 Diagrama de relaciones .....	31

6.2.3 Diagrama espacio-relación .....	33
6.2.4 Generación de alternativas de distribución.....	34
<b>7. Proceso Analítico Jerárquico .....</b>	<b>40</b>
7.1 Selección de factores a analizar.....	40
7.2 Comparación de alternativas por pares.....	41
7.2.1 Evaluaciones de Juan Pablo Jiménez.....	42
7.2.2 Resultado de evaluación de Gustavo Galán .....	44
7.3 Resultados.....	46
<b>8. DEA.....</b>	<b>48</b>
8.1 Entradas .....	48
8.1.1 Costo de redistribución .....	48
8.1.2 Costo de inventario en pasillo.....	52
8.1.3 Puntaje de adyacencia .....	54
8.2 Salidas .....	62
8.3 Resultados.....	63
8.3.1 Estadística descriptiva .....	64
8.3.2 Eficiencias .....	64
8.3.3 Slacks .....	66
8.3.4 Grupos de referencia .....	67
<b>9. Análisis costo-beneficio .....</b>	<b>68</b>
9.1 Costo de redistribución.....	68
9.2 Costo de oportunidad al parar la producción para implementar el cambio.....	68
9.3 Costo anual de inventario en pasillo .....	69
9.4 Beneficio de disminución de distancias de viaje de los operarios.....	69
9.5 Ahorro en horas hombre.....	70
9.6 Costos anuales .....	70
<b>10. Conclusiones.....</b>	<b>72</b>
<b>11. Recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
<b>12. Bibliografía.....</b>	<b>74</b>
<b>13. Anexos .....</b>	<b>76</b>
<b>13.1 Transparent Choice (Software para AHP) .....</b>	<b>76</b>
13.2 Pesos .....	77
13.3 Mejoramientos.....	78
13.4 Puntaje de adyacencia por alternativa.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Elementos del diagrama de planta actual
2. Matriz de ejemplo de PSD
3. Ejemplo Chase, Jacobs y Aquilano de espacio requerido
4. Valores de la comparación por pares del AHP
5. Dimensiones de la planta actual
6. Departamentos
7. Asignación de turnos
8. Importancia de cercanía entre departamentos
9. Tabla de relaciones de 17 áreas de la PSD
10. Relaciones por departamento
11. Tabla para diagrama de relaciones
12. Escala numérica para comparación por pares
13. Comparación por pares de flexibilidad hecha por Juan Pablo Jiménez
14. Comparación por pares de accesibilidad hecha por Juan Pablo Jiménez
15. Comparación por pares de flexibilidad hecha por Gustavo Galán
16. Comparación por pares de accesibilidad hecha por Gustavo Galán
17. Ponderación de criterios
18. Ponderación de evaluadores
19. Resultados AHP
20. Movimiento de departamentos por alternativa
21. Pesos y dimensiones de máquinas
22. Costos y tiempos de mover maquinaria
23. Costos de redistribución
24. Información para cálculo de costo de inventario en pasillo
25. Costo de inventario en pasillo
26. Números por departamento
27. Distancias entre departamentos de alternativa 0
28. Distancias entre departamentos de alternativa 1
29. Distancias entre departamentos de alternativa 2
30. Distancias entre departamentos de alternativa 3
31. Distancias entre departamentos de alternativa 4
32. Distancias entre departamentos de alternativa 5
33. Distancias entre departamentos de alternativa 6
34. Distancias entre departamentos de alternativa 7
35. Distancias entre departamentos de alternativa 8
36. Distancias entre departamentos de alternativa 9

37. Distancias entre departamentos de alternativa 10
38. Distancias entre departamentos de alternativa 11
39. Distancias entre departamentos de alternativa 12
40. Distancias entre departamentos de alternativa 13
41. Distancias entre departamentos de alternativa 14
42. Distancias entre departamentos de alternativa 15
43. Distancias entre departamentos de alternativa 16
44. Distancias entre departamentos de alternativa 17
45. Distancias entre departamentos de alternativa 18
46. Matriz multiplicadora de puntaje de adyacencia
47. Puntaje de adyacencia
48. Datos para resolver DEA
49. Estadística descriptiva
50. Eficiencia de las alternativas
51. Corrida sin costo de redistribución
52. Slacks
53. Grupos de referencia
54. Distancia de recorrido por operario
55. Primer año
56. Segundo año

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Diagrama de planta actual
2. Maquinaria e inventario 1
3. Maquinaria e inventario 2
4. Ejemplo de diagrama de relaciones
5. Ejemplo de diagrama espacio-relación
6. Ejemplo de árbol de decisión de un AHP
7. Diagrama de relaciones entre departamentos
8. Diagrama espacio-relación
9. Alternativa 0
10. Alternativa 1
11. Alternativa 2
12. Alternativa 3
13. Alternativa 4
14. Alternativa 5
15. Alternativa 6
16. Alternativa 7
17. Alternativa 8
18. Alternativa 9
19. Alternativa 10
20. Alternativa 11
21. Alternativa 12
22. Alternativa 13
23. Alternativa 14
24. Alternativa 15
25. Alternativa 16
26. Alternativa 17
27. Alternativa 18
28. Inventario en pasillo
29. Ampliación de bodega de producto terminado
30. Eficiencia de alternativas

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Envapac Ltda.**

Envapac Ltda. es una empresa familiar creada hace 30 años aproximadamente, dedicada a la extrusión plástica. En el momento de su creación contaban con dos (2) máquinas extrusoras para varilla plástica de chupeta, una (1) extrusora para manguera de empaque y otra extrusora para manguera de riego. Sus primeros clientes fueron La Joya, a quien se le vendía manguera de empaque para cera de pisos y Productora Andina de Dulces S.A., quienes utilizaban la varilla plástica para chupeta. Dos años después de su fundación surge la necesidad de adquirir tres (3) máquinas más para extruir la varilla plástica para chupeta, luego la empresa ve la oportunidad de incursionar en el mercado de la manguera para empaque impresa, razón por la cual adquieren una (1) impresora para dicha manguera. Actualmente la empresa cuenta con trece (13) máquinas dedicadas a los procesos de termoformado e inyección de las distintas referencias que se ofrecen a los más de 50 clientes junto con una (1) máquina para la impresión de logos de los clientes.

Desde hace más de 15 años Envapac no solamente trabaja para cumplir con los requisitos del cliente, trabaja bajo un esquema de calidad total, para brindar a la clientela nuevas soluciones y desarrollos, entregando artículos más confiables y resistentes. Adicionalmente, están buscando la certificación ISO 9000, con el fin de brindar estándares de calidad más confiables para sus clientes.

### **1.2 Misión**

“Somos una empresa colombiana con más de 20 años de experiencia en el desarrollo y diseño de envases plásticos, elaborados mediante tecnología de última generación. Contamos con un recurso humano altamente calificado y el compromiso de calidad total, con el fin de satisfacer a nuestros clientes.”

### **1.3 Visión**

“Crecer en capacidad y tecnología a la par de las necesidades de nuestra clientela, utilizando materiales y técnicas cada vez más eficientes, a fin de suministrar los mejores diseños y envases del mercado, ampliando nuestra cobertura tanto a los mercados nacionales como internacionales.”



## **1.4 Clientes**

La empresa actualmente cuenta con más de 100 clientes entre los cuales se destacan:

- Crepes & Waffles
- Hamburguesas El Corral
- Dunkin Donuts
- Baskin Robinns
- Helados Mimos
- Helados Popsy
- Kokoriko
- Helados La Campiña
- Sándwich Qbano

## **1.5 Portafolio de productos**

El portafolio de productos que ofrece Envapac es bastante amplio y cuenta con aproximadamente 250 referencias. Para la fabricación de los productos ofrecidos la empresa emplea procesos de termoformado e inyección. Envapac utiliza como materias primas el poliestireno cristal, polipropileno y polietileno de baja densidad. Los productos ofrecidos son los siguientes:

- Vasos
- Cubetas
- Canastillas
- Copas
- Pocillos
- Tapas
- Cucharas

## 1.6 Distribución de planta actual

La planta de producción de Envapac consta de trece (13) máquinas encargadas de los procesos de termoformado e inyección para las más de 100 referencias que se manejan en la compañía. Al lado de las distintas máquinas se encuentra almacenado el inventario de producto terminado, adicionalmente la planta cuenta con zona de mantenimiento, zona de almacenamiento de materia prima y zona de descargue.

Actualmente, Envapac cuenta con una planta en la que se almacenan grandes cantidades de inventario, situación que dificulta el acceso de los operarios que están constantemente en la planta. Como se puede observar en las figuras 2 y 3, en algunos casos el inventario de producto terminado se encuentra al lado de las máquinas, comprometiendo la seguridad de los operarios y el flujo correcto de personas y material. La compañía no cuenta con una zona para almacenamiento de producto terminado adecuada, de hecho, el Gerente Administrativo de Envapac manifestó que existe la posibilidad de mover la planta y buscar un espacio más grande que permitiría un mejor flujo entre departamentos.

El diseño de la planta lleva más de 10 años y en el momento de su implementación no se tuvo en cuenta ningún tipo de modelo de optimización. La planta se ha ido acondicionando intuitivamente, respondiendo al crecimiento de la compañía en los últimos años.

A continuación se presenta el diagrama de la planta de producción, este diagrama fue realizado en el software SolidWorks debido a que la empresa no contaba con ningún tipo de diagrama existente.

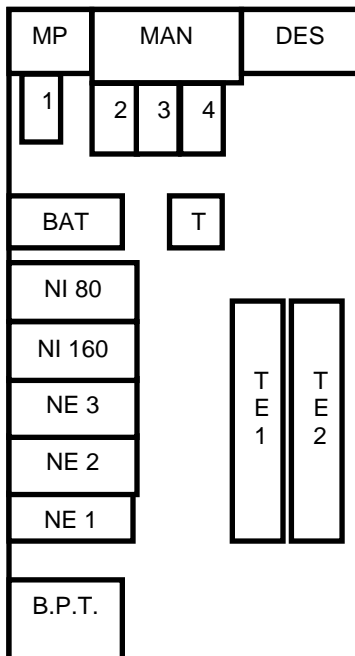


Figura 1. Diagrama de planta actual

NOMBRE EN EL DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN
MP	Zona de almacenamiento de materia prima
MAN	Zona de mantenimiento
DES	Zona de descarga
1	Topformer 1
2	Topformer 2
3	Topformer 3
4	Topformer 4
BAT	Battenfel
T	Troqueladora
NI 80	Nissei 80
NI 160	Nissei 160
NE 1	Nestal 1
NE 2	Nestal 2
NE 3	Nestal 3
B.P.T.	Bodega producto terminado
TE1	Termoformadora 1
TE2	Termoformadora 2

Tabla 1. Elementos del diagrama de planta actual

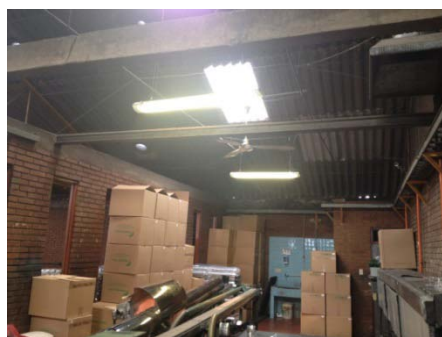


Figura 2. Maquinaria e inventario 1



Figura 3. Maquinaria e inventario 2

La adecuada distribución de planta en una empresa tiene un impacto significativo en su rendimiento. Su optimización va ligada a los métodos cuantitativos, los cuales son una gran herramienta a la hora de abordar el tema. Uno de los aspectos clave para abordar esta problemática y determinar el mejor método para resolverla, es formular la distribución como un problema multiobjetivo; sin embargo, este enfoque, puede dificultar la solución del problema. Gran parte de las investigaciones sobre este tema buscan minimizar los costos asociados a los flujos o al manejo de material entre departamentos.

La investigación que busca solucionar el problema de distribución de planta por medio de algoritmos, generalmente simplifica las restricciones de diseño y los objetivos en busca de una función objetivo alternativa. <sup>1</sup> La mayoría de literatura se basa en esta formulación algorítmica.

Los factores que involucra la distribución de planta son muy amplios y van desde disminución de riesgos profesionales, pasando por facilitación de transporte, disminución de tiempos, manejo de material, flujo de personas, flujo de información hasta disminución de cuellos de botella de la producción. Cabe aclarar que no existe un estudio que unifique todos los conceptos, por lo que parte fundamental para resolver el problema es la identificación de la técnica a utilizar.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Por medio de la elaboración de este proyecto se aplican los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Industrial, donde se involucran personas y procesos para contribuir al logro de la productividad de Envapac Ltda., mejorando también la calidad de vida de las personas.

La distribución de la planta, incluyendo su aspecto físico, es parte fundamental en la organización de una empresa. Por esta razón es indispensable su estudio y análisis, con el fin de optimizar recursos y mejorar procesos, siendo estas labores claves de un Ingeniero Industrial. Pero, ¿de qué forma elegir que distribución de planta utilizar? Para resolver esta pregunta es necesaria la utilización de métodos cuantitativos como herramientas favorables para este tipo de análisis.

La distribución de planta de una empresa manufacturera como Envapac Ltda. siempre será muy importante para que su funcionamiento sea eficaz y eficiente. La empresa viene funcionando en esa misma sede por más de 10 años. Cabe aclarar que cuando la empresa comenzó sus actividades únicamente contaba con dos (2) máquinas y producía un (1) solo producto. La empresa ha crecido significativamente a través de los años y como se mencionó anteriormente, actualmente la empresa cuenta con trece (13) máquinas dedicadas al termoformado y la inyección y una (1) máquina dedicada a la impresión de logos; así mismo, cuenta también con más de 200 referencias y funciona las 24 horas del día.

La metodología que se propone combina información cualitativa, la cual es un complemento a la información cuantitativa que se obtiene en el proceso. La parte cualitativa dará un soporte importante al proyecto siempre y cuando sea combinada con la parte cuantitativa de la operación. El artículo de Ertay, Da Ruan y Rifat Tuzkaya propone una integración del Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés) con el Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) en el que se busca minimizar las entradas y maximizar las salidas del proceso.

---

<sup>1</sup> YANG, CHUNWEI. A hierarchical AHP/DEA methodology for facilities layout design problem, European journal of operational research. 2003

Para el manejo de la información cualitativa se adoptó el Análisis Jerárquico (AHP). El AHP se adopta esencialmente porque maneja de forma adecuada los factores cualitativos que regularmente no son tratados de forma correcta. Por medio del AHP se evalúa la información cualitativa y los diferentes factores de las distintas alternativas generadas anteriormente. La metodología que combina AHP con DEA para resolver problemas de diseño de planta es una técnica innovadora que combina las ventajas de los algoritmos y de las técnicas cualitativas. <sup>2</sup>

El desarrollo de un modelo que involucre tanto datos cualitativos como cuantitativos se muestra en el artículo de Ertay, Ruan y Tuzkaya, el cual combina el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) con el Análisis Envolvente de Datos para lograr un modelo más completo.

Existen diferentes herramientas para la generación de alternativas de distribuciones de planta, una de ellas es la Planeación Sistemática de la Distribución de Muther. La Planeación Sistemática de la Distribución de Muther es utilizada para localizar las estaciones de trabajo de una planta dependiendo de las relaciones entre estas, permitiendo un flujo de material más rápido al momento de procesar el producto al costo más bajo posible.<sup>3</sup> Adicionalmente, existen paquetes de software que ya tienen implementados algoritmos para el desarrollo de alternativas de diseño. Uno de estos paquetes es Blocplan, un software desarrollado por los profesores Chung, Kong y Donaghey, de la Universidad de Houston.

---

<sup>2</sup>ERTAN, RUAN, RIFAT TUZKAYA. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems, Information science. 2004

<sup>3</sup> MUTHER, Richard. Systematic layout planning, 1984

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Definiciones**

##### **3.1.1 Distribución de planta**

La distribución en planta implica la ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de taller.<sup>4</sup>

##### **3.1.2 Programación lineal (LP)**

La programación lineal es una herramienta para resolver problemas de optimización. En un problema de programación lineal se efectúa lo siguiente:

1. Se intenta maximizar o minimizar una función lineal de las variables de decisión. La función que se desea maximizar o minimizar es llamada función objetivo.
2. Los valores de las variables de decisión deben satisfacer un conjunto de restricciones. Cada restricción debe ser una ecuación lineal o una desigualdad lineal.
3. Se relaciona una restricción de signo con cada variable. Para cualquier variable  $x_i$ , la restricción de signo especifica  $x_i$  no debe ser negativa ( $x_i \geq 0$ ) o no tener restricciones de signo (nrs)<sup>5</sup>.

##### **3.1.3 Problema de distribución de planta**

Existen diferentes formulaciones y maneras para abordar el problema de distribución de planta. El problema de distribución de planta es uno de los más estudiados para cumplir la meta de productividad y rentabilidad. Numerosas formulaciones se han desarrollado para este problema. Cuando los tamaños y formas de las instalaciones son tenidos en cuenta, el problema de distribución de planta (FLP por sus siglas en inglés) se formula como un problema de asignación cuadrática que busca ubicar las instalaciones entre un espacio discreto sobre una cuadrícula con el objetivo de minimizar una función de

---

<sup>4</sup> MUTHER, Richard. Distribución en planta, Mc Graw Hill.1965

<sup>5</sup> WINSTON, Wayne L. Investigación de operaciones aplicaciones y algoritmos, Thomson Learning. 2005

costo dada.<sup>6</sup> Modelos como la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD) y el Problema de Asignación Cuadrática (QAP por sus siglas en inglés) son herramientas útiles a la hora de decidir el tipo de distribución en una planta de producción.

Algunos estudios en procesos productivos indican que aproximadamente entre el 30-70% del costo de un producto se debe al costo de manejo de material. (Sule, 1991). Las buenas distribuciones de planta logran mejorar la funcionalidad y reducir costos. Las buenas distribuciones de planta logran:

- Reducir congestión y permitir los flujos de producto y trabajadores
- Utilizar efectiva y eficientemente el espacio disponible.
- Proveer un espacio seguro y placentero al personal.
- Mantener alejados los departamentos que no deben estar cercanos
- Mantener cerca los departamentos que deben estar cercanos
- Reducción de número de viajes de los operarios
- Reducción de tiempo por viaje

### **3.1.4 Planeación Sistemática de la Distribución (Distribución de planta de Muther)**

La Planeación Sistemática de la Distribución, es un proceso cuantitativo para el análisis del problema de distribución de planta, se utiliza un procedimiento de 6 pasos en el que se busca ubicar áreas o departamentos según la relación que se considera más adecuada. La Planeación Sistemática de la Distribución implica crear una gráfica de relaciones que muestre el grado de importancia de que cada uno de los centros de trabajo esté ubicado junto a cada uno de los demás.<sup>7</sup>

A continuación se da un ejemplo en el que se explican detalladamente los 6 pasos de la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD).

1. El primer paso consiste en hacer un análisis de relaciones deseadas entre departamentos. Se tiene en cuenta la importancia de que determinado departamento este cercano o alejado a otro. En este paso se crea una matriz entre áreas en las cuales se determina el grado de cercanía entre departamentos. Los posibles resultados de cercanía son:
  - A: Absolutamente necesaria
  - E: Especialmente importante
  - I: Importante
  - U: Sin importancia
  - X: No deseable

---

<sup>6</sup> ERTAN, RUAN, RIFAT TUZKAYA. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems, Information science. 2004

<sup>7</sup> CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert, AQUILANO, Nicholas J. Administración de operaciones producción y cadena de suministros, Mc Graw Hill. 2009

En la tabla 2 se ve un ejemplo de una matriz compuesta por 5 áreas.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
Área 1	-	I	U	E	U
Área 2	I	-	U	I	A
Área 3	U	U	-	U	X
Área 4	E	I	U	-	X
Área 5	U	A	X	X	-

Tabla 2. Matriz de ejemplo de PSD

- El segundo paso consiste en establecer requerimientos de espacio de cada área. En la tabla 3 se muestra el ejemplo implementado en el libro de Chase, Jacobs y Aquilano.

	Espacio requerido (pies cuadrados)
Área 1	100
Área 2	400
Área 3	300
Área 4	100
Área 5	100

Tabla 3. Ejemplo Chase, Jacobs y Aquilano de espacio requerido

- En el tercer paso se realiza un diagrama de relaciones entre los distintos departamentos, cabe aclarar que en este paso no se tienen en cuenta las dimensiones físicas de los distintos elementos. La doble línea indica cercanía importante, la triple línea indica cercanía especialmente importante, las cuatro líneas indican cercanía absolutamente necesaria mientras las líneas en zigzag muestran una cercanía no deseada. A continuación se presenta la gráfica utilizada por Chase.

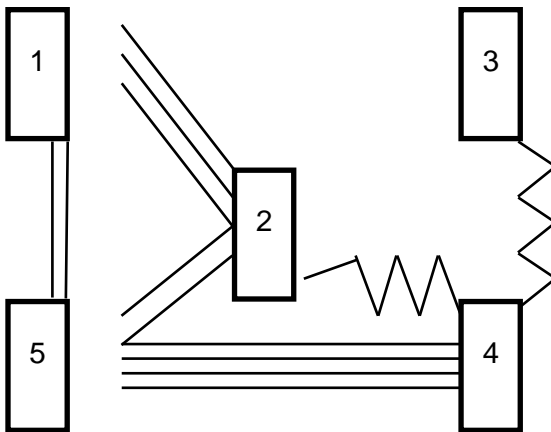


Figura 4. Ejemplo de diagrama de relaciones



4. Luego de realizar el diagrama de relaciones se realiza un diagrama de espacio-relación donde además de identificar las distintas relaciones entre departamentos, se tienen en cuenta las dimensiones físicas de cada área. A continuación se muestra un ejemplo.

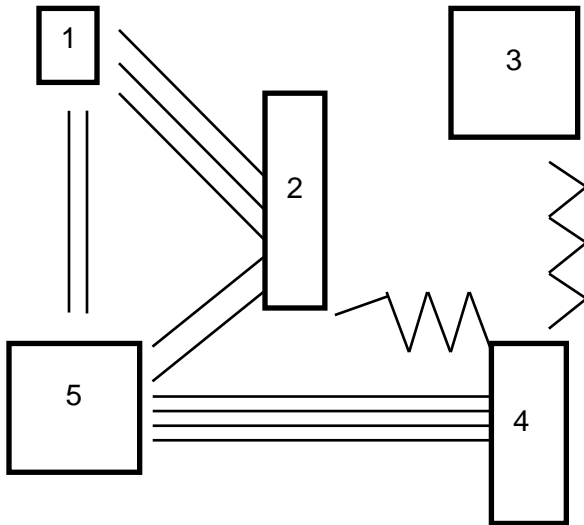


Figura 5. Ejemplo de diagrama espacio-relación

5. Posteriormente, se realizan las diferentes distribuciones y se procede a evaluarlas ponderando los factores tenidos en cuenta.
6. Por último, se selecciona la mejor opción de las distribuciones obtenidas de acuerdo a los resultados obtenidos.

### 3.1.5 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP fue diseñado en 1980 por Thomas L. Saaty con el fin de resolver problemas con múltiples factores. El Proceso Analítico Jerárquico es un método multicriterio de toma de decisión que utiliza estructura jerárquica para representar un problema de decisión y luego desarrolla prioridades para las alternativas basado en el juicio del individuo que toma la decisión en el sistema.<sup>8</sup>

En el modelo a utilizar se utiliza el Proceso Analítico Jerárquico para recolectar información cualitativa relacionada con la flexibilidad y la accesibilidad. La flexibilidad involucra dos criterios, el primero tiene que ver con la flexibilidad del volumen, refiriéndose a futuras expansiones de la planta. El segundo criterio es la variedad de la flexibilidad e indica la capacidad para producir diferentes productos bajo diferentes condiciones de operación en un espacio reducido. La accesibilidad indica que tan eficiente es la alternativa teniendo en cuenta la facilidad para el manejo de materiales y los distintos recorridos que tienen que realizar los operadores. El beneficio del AHP es que permite evaluar problemas de distribución de planta multiobjetivos. Autores como Foulds y Partovi aplican el AHP para evaluar una relación entre distintos departamentos para el problema de distribución de planta. Cambron y Evans utilizaron diferentes softwares computacionales para el diseño de alternativas de diseño de planta que fueron evaluadas posteriormente por medio del AHP de acuerdo a unos determinados criterios. Yang usó el Proceso de Análisis Jerárquico para evaluar alternativas de diseño generadas por un proceso de Planeación Sistemática de Muther. El AHP es capaz de proveer diferentes medidas de una generación de alternativas de diseño, sin embargo no es eficiente en evaluar un largo número de alternativas ni seleccionando las fronteras de rendimiento.<sup>9</sup> El AHP y los modelos de simulación son utilizados para generar salidas que se convertirán en entradas para el DEA.<sup>10</sup>

El Proceso Analítico Jerárquico permite a los decisores especificar preferencias por medio de una escala virtual. Esta escala virtual es muy útil en ayudar a un grupo o un individuo a tomar una decisión.<sup>11</sup> La razón de adoptar el AHP para la información cualitativa es que los factores cualitativos generalmente son complicados y conflictivos, adicionalmente, la aceptación del usuario y la confianza en el análisis proporcionado por la metodología AHP es alta si se compara con otros métodos de decisión que utilizan múltiples atributos.<sup>12</sup> En el modelo utilizado por Ertay et al se utilizó el paquete Expert Choice para realizar un análisis de sensibilidad de comparación de parejas de alternativas de diseño.

Por medio de un diagrama de árbol se pueden representar los niveles del problema de decisión. La figura 6 muestra un ejemplo de un diagrama de árbol que representa los niveles del problema.

---

<sup>8</sup> SAATY, T.L., The analytic hierarchy process, RWS Publications. 1980

<sup>9</sup> YANG, KUO, A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. 2003

<sup>10</sup> ERTAY, RUAN, TUZKAYA, Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. 2006

<sup>11</sup> FINAN, HURLEY, Transitive calibration of the AHP. 1999

<sup>12</sup> ERTAY, RUAN, TUZKAYA, Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. 2006

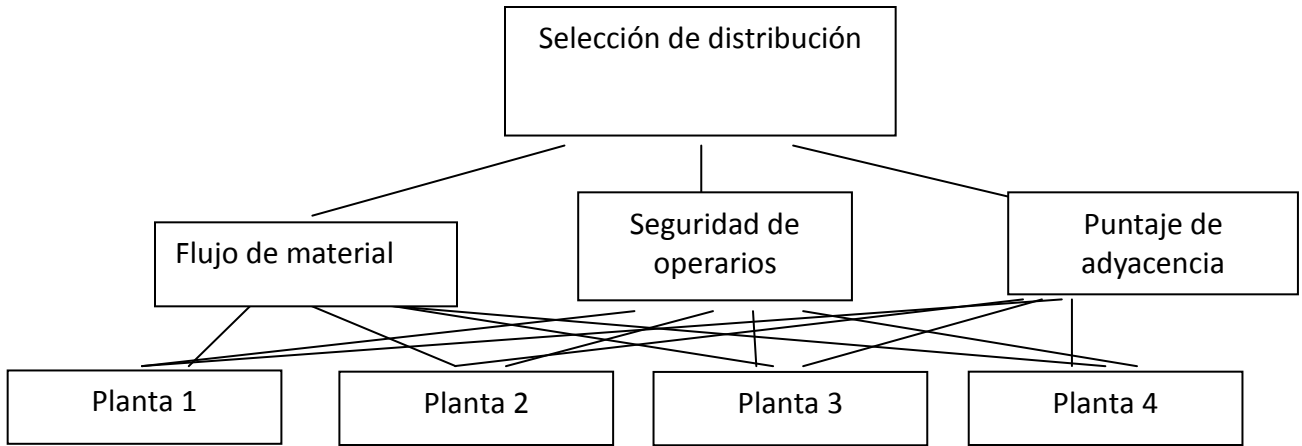


Figura 6. Ejemplo de árbol de decisión de un AHP

Posteriormente, se hace una comparación por pares en las que se obtienen las matrices de comparación. Los criterios más utilizados para hacer estas comparaciones son los que se muestran en la tabla 4.

Valor	Representación
1	Indica que ambos criterios son iguales
3	El primer criterio es moderadamente mejor que el segundo
5	El primer criterio es fuertemente mejor que el segundo
7	El primer criterio es muy fuertemente mejor que el segundo
9	El primer criterio es extremadamente mejor que el segundo
Recíprocos	Indica el valor invertido del criterio

Tabla 4. Valores de la comparación por pares del AHP

Finalmente, se realiza la jerarquización de las distintas alternativas y se selecciona la ponderación más alta, esta ponderación también tendrá en cuenta el peso de cada factor a evaluar en las distintas alternativas.

En el caso de estudio aplicado no se tomará la decisión con los resultados del Análisis Jerárquico. Estos resultados serán utilizados en forma de salida en el modelo DEA, el cual indicará la decisión final.

### 3.1.6 Análisis Envolvente de Datos (DEA)

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una formulación de programación lineal basada en una técnica desarrollada por Charnes, Cooper, Rhodes en su artículo “Measuring the efficiency of decision-making units” en 1978. Con la aplicación de esta metodología se busca medir la eficiencia relativa de distintas unidades comparables. Otro enfoque del Análisis Envolvente de Datos es el que desarrolló Banker en 1984, pero en este trabajo nos enfocaremos en el desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes también conocido como enfoque (CCR).

El enfoque de CCR implica un enfoque de retorno constante. El retorno de un Análisis Envolvente de Datos se refiere a una propiedad técnica de producción que examina cambios en una salida posterior a un cambio proporcional en las entradas. (Donde todas las entradas incrementan de manera constante). Si las salidas incrementan en el mismo cambio proporcional que las entradas entonces son de tipo retorno constante. Si las salidas incrementan en menos que ese cambio proporcional en las entradas, se tiene un retorno decreciente y si las salidas incrementan en mayor proporción al cambio de las entradas se tiene un retorno creciente. En el modelo planteado se asume un modelo de retorno constante (CCR, siglas de sus creadores). (Afsharian, 2014)

Para la aplicación del DEA en la distribución de planta, se busca comparar las diferentes alternativas de diseño de planta. El Análisis Envolvente de Datos utiliza dos criterios simultáneamente para evaluar la distribución, estos son: cualitativo y cuantitativo, de esta forma se complementan formando un modelo más robusto. Según el artículo de Yang y Kuo, el DEA es una aproximación no paramétrica que no requiere supuestos acerca de la forma funcional de la función de producción. El DEA es un método usado para medir la eficiencia productiva de unas unidades de decisión (DMU por sus siglas en inglés). En el caso de la distribución de planta, estas unidades de decisión son las distintas alternativas de distribución de la planta. Doyle y Green plantean los significados y usos del Análisis Envolvente de Datos en su artículo “Efficiency and cross efficiency in DEA: derivations, meanings and uses” publicado en 1994 en “Journal of the Operational Research Society”.

En el artículo “Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization”, Azadeh, Ghaderi y Izadbakhsh utilizan el DEA para la toma de decisión en una aplicación a un sistema ferroviario.

Diferentes autores han utilizado el Análisis Envolvente de Datos para la toma de decisiones en problemas de distribución de planta. Sinuany-Stern utilizó el DEA para una clasificación de eficiente o ineficiente a unas alternativas previas. Shafer y Brandford utilizaron el Análisis Envolvente de Datos para la evaluación de una planta manufacturera, Ertay y Ruan propusieron un modelo basado en DEA para determinar el número más eficiente de operadores y la medición eficiente de la asignación de operarios a un sistema de manufactura. El modelo planteado es el siguiente:

Parámetros:

$n =$  Unidades de decisión (Alternativas de distribución)

$m =$  Entradas

$s =$  Salidas

$h_0 =$  Puntaje de eficiencia de cada alternativa de distribución ( $DMU_0$ )

$y_{rj} =$  Cantidad de salida  $r$  producida por el  $j$ -ésimo DMU

$x_{ij} =$  Cantidad de entrada  $i$  usada por el  $j$  – ésimo DMU

La eficiencia relativa de cada DMU = Peso total de las salidas/Peso total de las entradas

Esta eficiencia relativa es la que se busca maximizar como función objetivo. Las restricciones que se requieren se refieren a que la eficiencia relativa (Peso total de las salidas/Peso total de las entradas) debe ser  $\leq 1$ . Esta formulación trae como resultado una función objetivo no lineal, en el DEA esta función es transformada para convertirla en lineal y resolverla por medio de programación lineal.

$$\max \quad h_0 \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

$$\text{s. a.} \quad \frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

## **4. METODOLOGÍA PROPUESTA**

### **4.1 Objetivos**

#### **4.1.1 Objetivo general**

Aplicar un modelo que involucre el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), con el fin de identificar una opción eficiente de distribución para la planta de producción de Envapac Ltda.

#### **4.1.2 Objetivos específicos**

- Hacer un análisis detallado de la situación actual de Envapac Ltda. con el fin de determinar los factores a utilizar en el diseño de la distribución de planta de la empresa.
- Generar alternativas de distribución de planta teniendo en cuenta los factores encontrados en el anterior análisis, con el fin de su posterior análisis por medio del Proceso de Análisis Jerárquico.
- Priorizar cualitativamente las distintas alternativas de distribución obtenidas en el objetivo anterior con la aplicación del AHP, esto con el propósito de complementar la información cuantitativa, para que la toma de decisión tenga en cuenta tanto los datos cuantitativos como los cualitativos.
- Incorporar factores cuantitativos en la priorización obtenida utilizando el Análisis Envolvente de Datos (DEA) con el fin de encontrar el diseño o los diseños más adecuados.
- Evaluar por medio de un análisis costo-beneficio la propuesta de distribución seleccionada, con el fin de determinar el impacto económico.

## **4.2 Situación actual de Envapac**

Para la realización del proyecto es necesario conocer la situación actual de Envapac Ltda. Se contará con herramientas de la Ingeniería Industrial como los diagramas de procesos, diagramas de flujos, diagramas de recorrido, entre otros que serán fundamentales para la identificación de factores determinantes a la hora de realizar la distribución de la planta, así como para la representación gráfica de los diferentes procesos.

Es importante tener clara la distribución física de la planta y las dimensiones de los distintos departamentos, que en este caso son las máquinas y las zonas de almacenamiento de materia prima, de mantenimiento, de almacenamiento de producto terminado y de descargue. Adicionalmente, es primordial conocer los flujos que se mueven dentro de la planta, el número de operarios y las máquinas asignadas a estos, con el fin de conocer a fondo los procesos al interior de la planta de producción de Envapac.

## **4.3 Generación de alternativas de distribución de planta**

Para la generación de las diferentes alternativas de distribución de planta se decidió utilizar la Planeación Sistemática de la Distribución, más adelante se especificará el porqué de esta decisión. Esta generación de alternativas permite identificar posibles distribuciones para la planta de Envapac, con base en el análisis de los diferentes pasos de la Planeación Sistemática de la Distribución, metodología propuesta por Richard Muther, uno de los pioneros en la investigación de las distribuciones de planta.

Esta generación de alternativas requiere la información recolectada anteriormente para su realización, donde se determinan las necesidades de espacio de los diferentes departamentos y las dimensiones totales de la planta. Posteriormente, las alternativas serán evaluadas en cada uno de los factores seleccionados por medio del AHP.

## **4.4 Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico**

Las diferentes alternativas de distribución obtenidas por medio de la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD) serán evaluadas por medio de la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El AHP es una técnica utilizada para tomar decisiones complejas, ya que tienen varios factores involucrados. El AHP ayuda a encontrar la decisión que mejor se ajusta a las necesidades del decisor. Parte fundamental para la elección de esta herramienta es la combinación de información cualitativa brindada por expertos en el tema, con la información cuantitativa. Esta combinación permite generar un modelo más robusto donde se tienen en cuenta los conocimientos de los expertos y la información numérica brindada por el modelo.

El AHP estructura el problema de forma racional y hace que los factores considerados puedan ser cuantificados, teniendo en cuenta datos cualitativos brindados por expertos. Una vez estructurado el problema, los factores son evaluados en cada una de las distintas alternativas posibles por parejas, esta comparación por parejas hace que el proceso comparativo sea más fácil para el evaluador.

Como primer paso para la realización del Proceso Analítico Jerárquico se identifican los factores a tratar en el proyecto, estos factores posteriormente serán evaluados en las distintas alternativas encontradas. Posteriormente se hará la selección de los expertos, adicionalmente se da el peso de importancia de cada uno de estos evaluadores, esto con el fin de darle mayor relevancia a los expertos con más experiencia si se llega a dar el caso. Se procede entonces a la evaluación por pares de las distintas alternativas lo que dará como resultado una ponderación por alternativa que considerará un determinado peso para los diferentes factores.

Los resultados obtenidos en este proceso serán fundamentales para el Análisis Envolvente de Datos (DEA), que dará el resultado final del proyecto. Estos resultados del Proceso Analítico Jerárquico serán considerados como las diferentes salidas de las alternativas en el modelo DEA que se explica más adelante.

#### **4.5 Aplicación del Análisis Envolvente de Datos**

Luego de la aplicación del AHP el siguiente paso es realizar el modelo con base en la metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA). El DEA es una formulación de programación lineal que permite medir la eficiencia productiva de unas unidades de decisión (DMU por sus siglas en inglés). En el presente proyecto las diferentes unidades de decisión (DMU) serán las distintas alternativas generadas por medio de la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD).

El tipo de DEA que se va a utilizar es el de retorno constante (CRS, Constant return to scale), esto implica que un crecimiento en las entradas incidirá en igual proporción en las salidas. El Análisis Envolvente de Datos ha sido utilizado para diferentes problemas de toma de decisión. Con el DEA se busca maximizar la eficiencia de cada DMU, esta eficiencia será calculada como:

$$\frac{\textit{Entradas}}{\textit{Salidas}}$$

Esta será la medida para determinar la eficiencia relativa de cada DMU. El objetivo del Análisis Envolvente de Datos es comparar estas eficiencias y determinar las eficiencias más altas, por ende, las mejores alternativas. En caso de haber más de una eficiencia con el mayor puntaje, la decisión de la mejor elección se basará en la alternativa donde los operarios realicen menos distancia recorrida. Los datos de entrada de los diferentes DMU (Decision making units) serán:



- Costos asociados a cada alternativa de distribución que se dividen en costos de redistribución y costos de manejar inventario en pasillo
- Puntaje de adyacencia de las distintas alternativas

#### **4.6 Evaluación costo-beneficio**

Luego de determinar por medio del Análisis Envolvente de Datos cual es la mejor o las mejores alternativas en cuanto a eficiencia, se debe realizar una evaluación costo-beneficio que compare la situación actual de Envapac con la propuesta de la nueva distribución seleccionada. Al identificar la distribución con mayor eficiencia se procede a determinar sus costos.

Los costos que se tendrán en cuenta son los de movimiento de maquinaria y el costo asociado a parar la producción mientras se realiza la redistribución. Es importante tener en cuenta que en el momento de implementar la propuesta se tendría un costo asociado a la detención de la producción durante el tiempo que dure la redistribución.

Así mismo se tienen los siguientes beneficios cuantificables:

- Reducción de inventario en pasillo
- Reducción de distancia y/o tiempo de viajes de los operarios

Actualmente la planta cuenta con un porcentaje de inventario en pasillo que posiblemente podrá ser reubicado, esto implicaría una disminución del costo de inventario en pasillo. Una buena distribución de planta también reducirá la distancia de los viajes de los operarios y los tiempos de estos. Con la elaboración de este análisis se determina la ganancia de la empresa al implementar la propuesta sugerida.

## 5. Situación actual

### 5.1 Distribución de planta

#### 5.1.1 Dimensiones

Para la representación de la distribución de planta actual de Envapac fue necesario realizar el proceso desde la toma de medidas de los distintos departamentos y dimensiones de la planta. Esta toma de dimensiones fue realizada con la ayuda de un medidor láser facilitado por la Universidad Javeriana, posteriormente se realizó el plano de la distribución por medio del software SolidWorks.

Anteriormente se mostró el resultado obtenido, con base en estos resultados se muestran las dimensiones de las distintas máquinas involucradas en los procesos de producción en la planta y de las zonas de almacenamiento de materia prima, almacenamiento de producto terminado, descargue y mantenimiento.

Estación de trabajo	Largo x ancho (m)
Nestal 1	6,950 x2,652
Nestal 2	6,950 x3,265
Nestal 3	6,950 x3,418
Nissei 160	6,950 x3,108
Nissei 80	6,950 x2,956
Battenfel	6,151x2,797
Topformer 1	3,793x2,365
Topformer 2	3,916x2,723
Topformer 3	3,916x2,423
Topformer 4	3,916x2,442
Troqueladora	2,597x3,039
Termoformadora 1	12,773x2,778
Termoformadora 2	12,773x2,778
Zona de almacenamiento de M.P.	3,875x4,657
Zona de mantenimiento	4,502x8,210
Zona de descargue	6,279x3,789
Planta total	25,131 x 18,901

Tabla 5. Dimensiones de la planta actual

### 5.1.2 Departamentos

Envapac cuenta actualmente con 10 departamentos en su distribución actual. Un departamento es aquel espacio físico donde los recursos humanos y/o tecnológicos desarrollan procesos y cumplen un objetivo específico. Estos 10 departamentos son:

Departamento	Áreas			
NESTAL	Nestal 1	Nestal 2	Nestal 3	
NISSEI	Nissei 80	Nissei 160		
Battenfel	Battenfel			
Topformer	Topformer 1	Topformer 2	Topformer 3	Topformer 4
Troqueladora	Troqueladora			
Termoformado	Termoformadora 1	Termoformadora2		
Materia prima	Zona de materia prima			
Mantenimiento	Zona de mantenimiento			
Descargue	Zona de descargue			
Producto terminado	Bodega de producto terminado			

Tabla 6. Departamentos

### 5.1.3 Turnos asignados

Actualmente Envapac organiza la producción con 7 operarios por turno. Estos operarios son asignados de la siguiente manera:

Cargo	Máquinas asignadas			
Supervisor Topformer	Topformer 1	Topformer 2	Topformer 3	
Operario inyección	Topformer 1	Topformer 2	Topformer 3	
Operario inyección	Nestal 1	Nestal 2	Nestal 3	
Operario inyección	Battenfel	Nissei 80	Nissei 160	Topformer 4
Supervisor Termoformadora	Termoformadora 1	Termoformadora 2		
Auxiliar Termoformadora	Termoformadora 1	Termoformadora 2		
Troqueladora	Troqueladora			

Tabla 7. Asignación de turnos

Además de la asignación por máquinas la empresa hace un control sobre la producción de cada operario por turno y las cantidades de producto programado en este tiempo, esta información es comparada con la cantidad real producida, de esta manera se lleva el control sobre el inventario y el producto terminado.

## **6. Elaboración de alternativas**

### **6.1 Selección de herramienta a utilizar**

En primer lugar, se intentó utilizar un software especializado en desarrollar alternativas de distribución de planta. Por medio de una búsqueda exhaustiva en la web se encontraron varias posibles alternativas entre las que se encontraban:

- Bloclan
- Craft
- VisFactory
- Vip-Planopt

El más interesante y el más utilizado en los artículos científicos consultados era Bloclan. Bloclan es un programa desarrollado por Donaghey y Pire (1991) que desarrolla varias alternativas de diseño y cuenta con herramientas útiles para la toma de decisión en un problema de distribución de planta. Ofrece algoritmos heurísticos que manejan información tanto cualitativa como cuantitativa de forma adecuada. Sin embargo, no fue posible utilizar este software debido a que ya no se encuentra libre para estudiantes. Cabe aclarar que se intentó por todos los medios posibles contar con este software, incluso se escribieron varios correos electrónicos al fundador del software de quien no se tuvo respuesta alguna.

Por las razones expuestas anteriormente, se decidió utilizar la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD) como herramienta para la generación de alternativas de distribución de planta. La razón principal por la cual la Planeación Sistemática de la Distribución ha permanecido popular por más de 30 años es su simple estructura paso a paso para desarrollar el problema de distribución de planta. <sup>13</sup>

---

<sup>1313</sup>HERAGU, SUNDERESH S., Facilities design third edition. 2008

## 6.2 Planeación Sistemática de la Distribución

### 6.2.1 Relaciones entre departamentos

El primer paso a implementar según la Planeación Sistemática de la Distribución (PSD) es la identificación de relaciones entre departamentos. Como se mencionó anteriormente son 10 los departamentos involucrados en los procesos productivos de Envapac, sin embargo y para un mejor análisis se tuvieron en cuenta las 17 áreas que interactúan en la producción. Con esto se corrobora si la relación por departamentos es consecuente a sus componentes, es decir, si por ejemplo el departamento X tiene una relación de tipo i con el departamento Y, todos los componentes del departamento X deben tener el mismo tipo de relación i con el departamento Z. En las tablas 9 y 10 se puede ver claramente esta relación.

Se prosiguió entonces a elaborar la tabla de relaciones entre los distintos departamentos involucrados en la planta. Para la elaboración de esta tabla era necesario identificar la importancia de cercanía deseada entre los distintos departamentos, información fundamental para el buen desarrollo del trabajo.

El Jefe de Planta de Envapac, quien tiene una experiencia de más de 10 años en la empresa, lo que garantiza que la información brindada es útil y razonable, fue el encargado de determinar esta importancia entre departamentos.

La información insertada en las tablas de importancia de cercanía se basa en las siguientes opciones, donde se indica que tan importante es que 2 departamentos estén cercanos.

Letra	Importancia de cercanía
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Cercanía ordinaria
U	Sin importancia
X	No deseable

Tabla 8. Importancia de cercanía entre departamentos

El resultado de la tabla de cercanía que tiene en cuenta las 17 áreas de la planta luego de analizar la situación con el Jefe de planta de Envapac es el siguiente:

Área	NE 2	NE 3	NI 160	NI 80	BAT	TOP 1	TOP 2	TOP 3	TOP 4	TRO	TE 1	TE 2	MP	MAN	DES	BOD
Nestal 1	E	E	O	O	O	O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Nestal 2		E	O	O	O	O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Nestal 3			O	O	O	O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Nissei 160				E	O	O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Nissei 80					O	O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Battenfel						O	O	O	O	U	X	X	I	O	O	I
Topformer 1							A	A	A	U	X	X	I	O	O	I
Topformer 2								A	A	U	X	X	I	O	O	I
Topformer 3									A	U	X	X	I	O	O	I
Topformer 4										U	X	X	I	O	O	I
Troqueladora											X	X	O	O	O	O
Termoformadora 1												A	I	U	O	I
Termoformadora 2													I	U	O	I
M.P.														U	U	U
Mantenimiento															U	U
Descargue																A

Tabla 9. Relaciones de 17 áreas de la PSD

Luego de identificar las relaciones deseadas entre las 17 áreas que intervienen en los procesos productivos se elabora la tabla que tiene en cuenta los 10 departamentos. Este agrupamiento de áreas se puede hacer ya que las relaciones de un mismo tipo de máquina son las mismas entre sí, es decir, la relación deseada de la Nestal 1 por ejemplo, es igual a las relaciones deseadas de la Nestal 2 y Nestal 3 por lo que se hace más eficiente realizar el análisis teniendo en cuenta los 10 departamentos.

A continuación se muestra la tabla 10 de relaciones por departamentos.

	NI	B	Top	Tro	Ter	MP	Man	Des	PT
Nestal	O	O	O	U	X	I	O	O	I
Nissei		O	O	U	X	I	O	O	I
Battenfel			O	U	X	I	O	O	I
Topformer				U	X	I	O	O	I
Troqueladora					X	O	O	O	O
Termoformadora						I	U	O	I
Materia prima							U	U	U
Mantenimiento								U	U
Descargue									A

Tabla 10. Relaciones por departamento

En la tabla se evidencia la importancia de que las máquinas termoformadoras estén alejadas del resto, esto se debe a las altas temperaturas que emiten. Adicionalmente se identificó con una A (Absolutamente necesario) la relación entre la zona de descargue y la bodega de materia prima, ya que el proceso de entrega de material pasa inmediatamente desde la zona de producto terminado a la zona de descargue, lo que haría que los recorridos fueran menores si las distancias entre estos departamentos fueran menores. Cabe aclarar que esta situación no hace parte de la planta actual donde se ven bastante alejadas entre sí estas dos zonas. De igual manera, se observa que la bodega de producto terminado debe estar cercana a la mayoría de departamentos, situación que tampoco se evidencia en la distribución actual. Por último se identifica que la Troqueladora es la de menor importancia en su ubicación ya que tiene una calificación de U (Sin importancia) con los departamentos: Nestal, Nissei, Battenfel y Troqueladora, debido a que estas maquinarias manejan procesos totalmente diferentes los que se manejan en la Troqueladora.

### 6.2.2 Diagrama de relaciones

Se realizó un diagrama de relaciones entre departamentos donde se observa gráficamente el tipo de relación entre estos. Esta representación se hizo por medio de colores y grosor en las líneas para un mejor análisis.







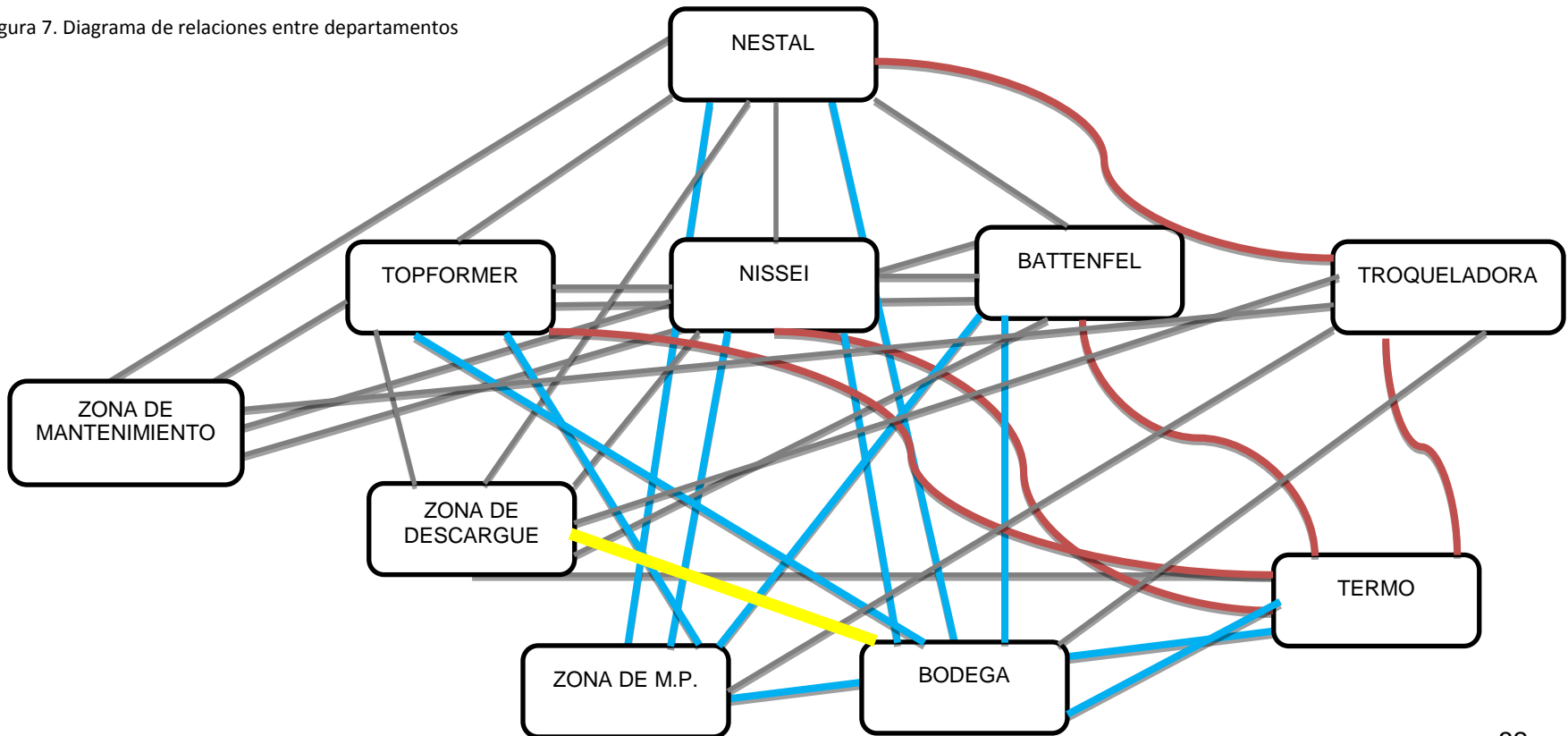
Letra	Interpretación	Representación gráfica
A	Absolutamente necesario	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Cercanía ordinaria	
U	Sin importancia	
X	No deseable	

Tabla 11. Tabla para diagramas de relaciones

Figura 7. Diagrama de relaciones entre departamentos





### 6.2.3 Diagrama espacio-relación

Luego de la realización del diagrama de relaciones se procedió a la elaboración del diagrama espacio-relación. Este diagrama además de mostrar las relaciones entre los distintos departamentos tiene en cuenta las dimensiones de estos, a diferencia del diagrama de relación, de esta manera se obtiene una aproximación más cercana a la realidad.

La figura 8 muestra los resultados de este proceso.

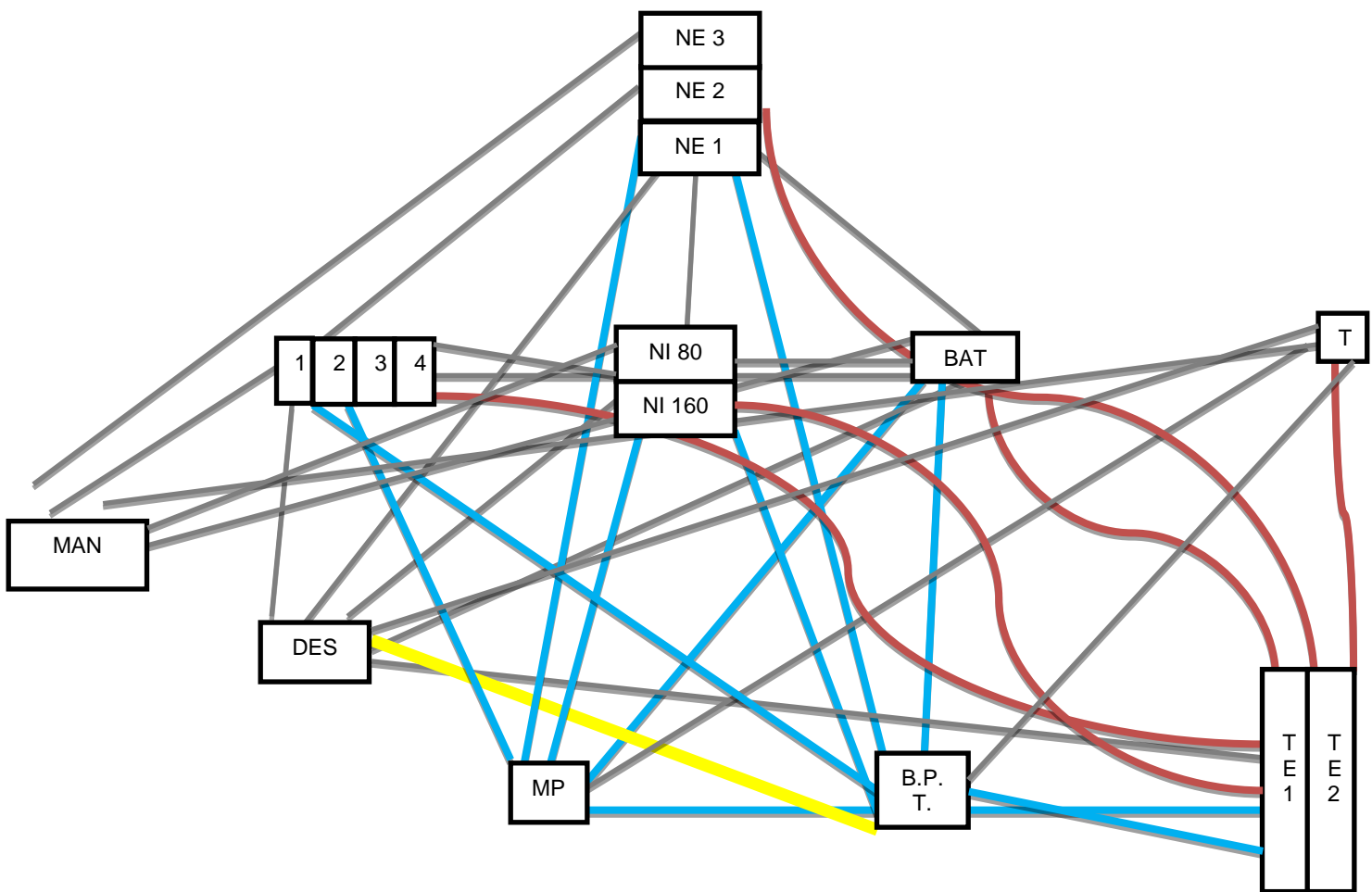


Figura 8. Diagrama espacio-relación

### 6.2.4 Generación de alternativas de distribución

Luego de la realización de los distintos pasos de la Planeación Sistemática de la Distribución se procedió a realizar las diferentes alternativas que posteriormente serán evaluadas por medio del AHP en principio y luego por el DEA, que dará los resultados de la eficiencia de cada DMU (Decision making units). Se decidió realizar 18 alternativas adicionales a la distribución actual, con lo que en total serían 19 alternativas a evaluar.

La teoría indica que el mínimo número que se deben considerar en un Análisis Envolvente de Datos (DEA) debe ser el doble de las entradas y salidas. En el caso de evaluación de la planta de Envapac se tienen 3 entradas y 2 salidas por lo que con 10 alternativas sería posible realizar el modelo de programación lineal. No obstante, se tomó la decisión de hacer 18 alternativas más para tener un modelo más completo que incorpore más alternativas para su posterior evaluación.

Esta generación de alternativas es parte fundamental para el modelo ya que de la calidad de estas depende que la solución no se encuentre en un óptimo local sino que se ubique un óptimo global o una aproximación a este.

A continuación se muestran las 18 alternativas que fueron realizadas teniendo en cuenta las dimensiones de cada departamento y las dimensiones de la planta, esta elaboración de distintas distribuciones fue realizada utilizando el software SolidWorks 2013.

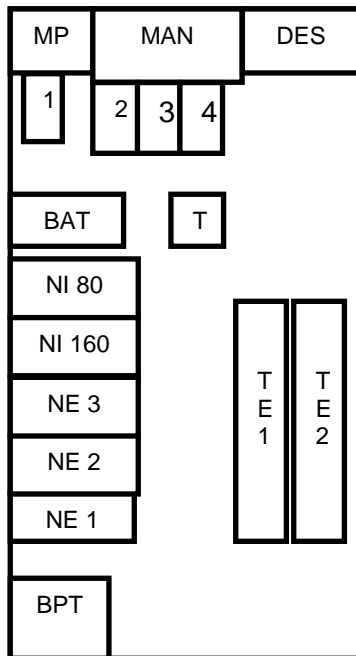


Figura 9. Alternativa 0

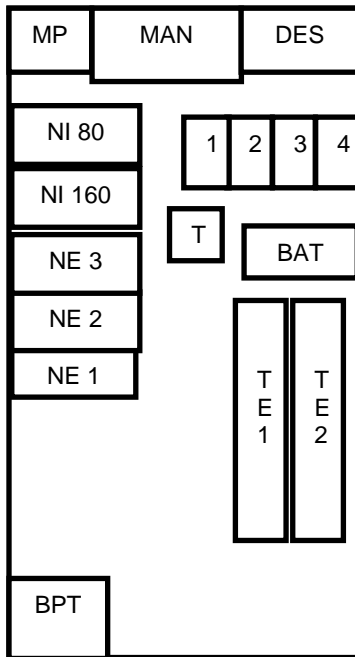


Figura 10. Alternativa 1

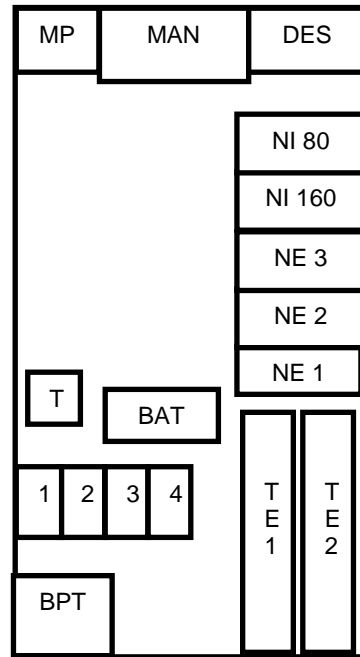


Figura 11. Alternativa 2

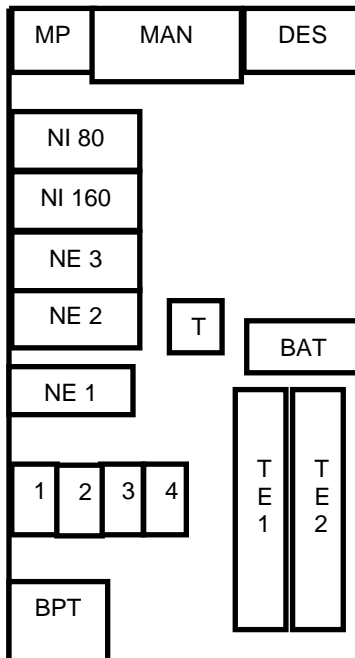


Figura 12. Alternativa 3

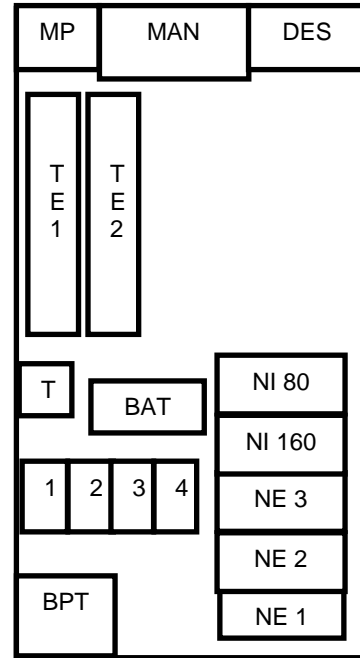


Figura 13. Alternativa 4

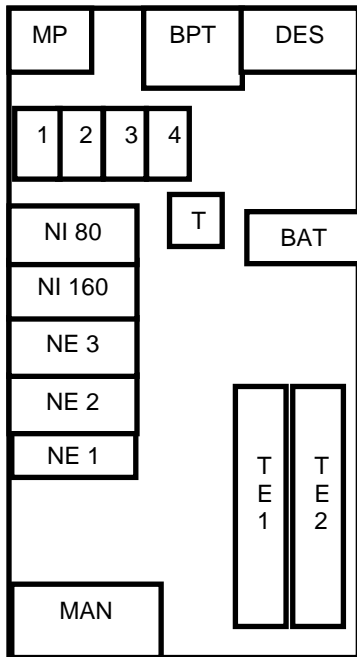


Figura 14. Alternativa 5

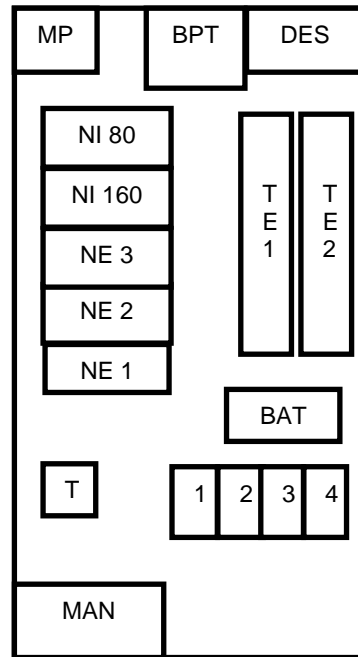


Figura 15. Alternativa 6

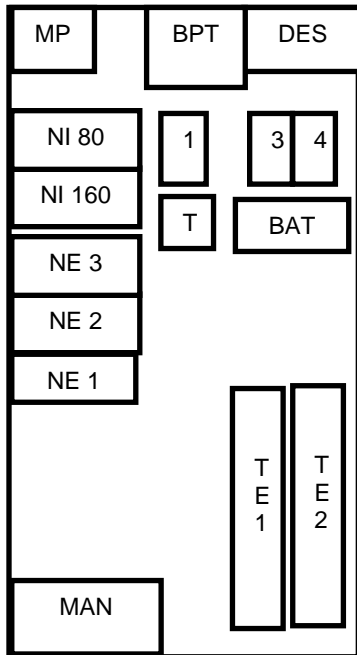


Figura 16. Alternativa 7

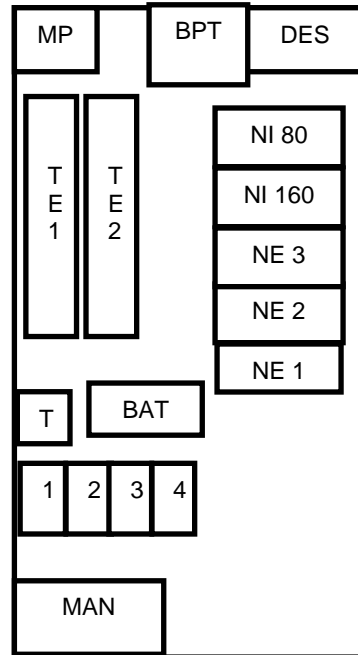


Figura 17. Alternativa 8

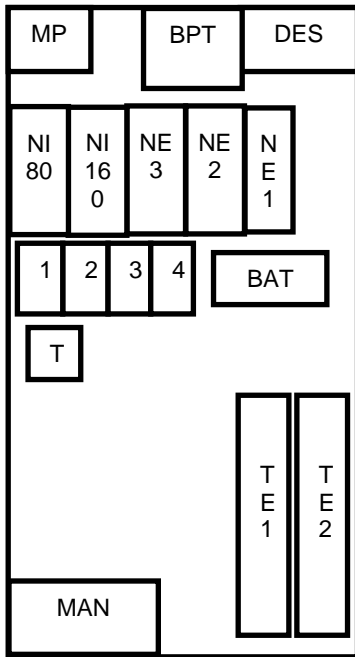


Figura 18. Alternativa 9

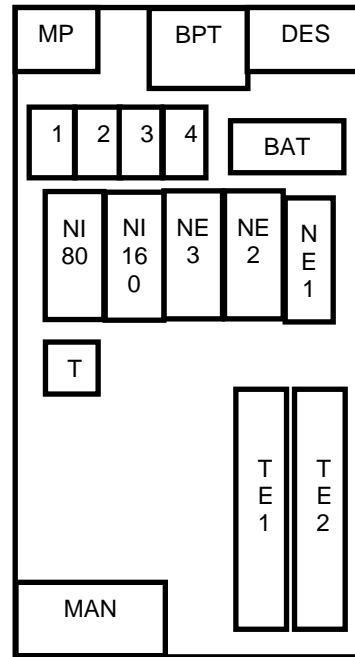


Figura 19. Alternativa 10

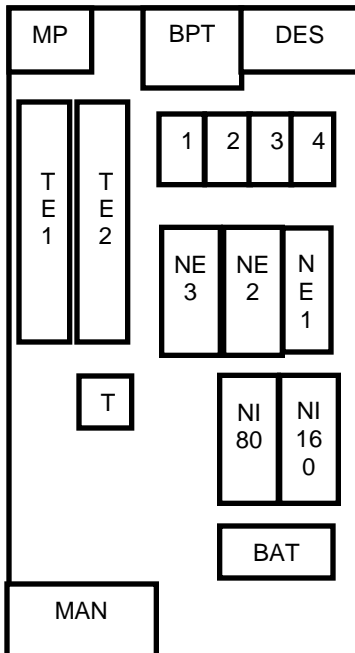


Figura 20. Alternativa 11

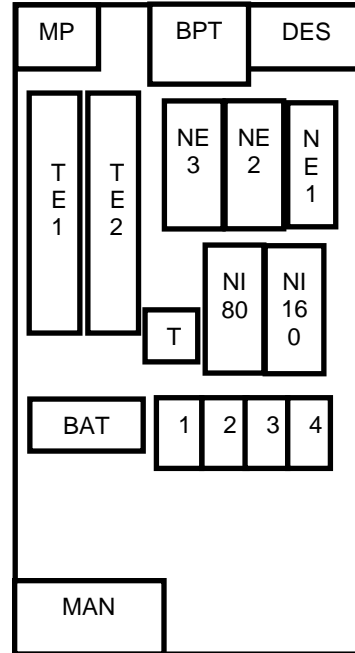


Figura 21. Alternativa 12

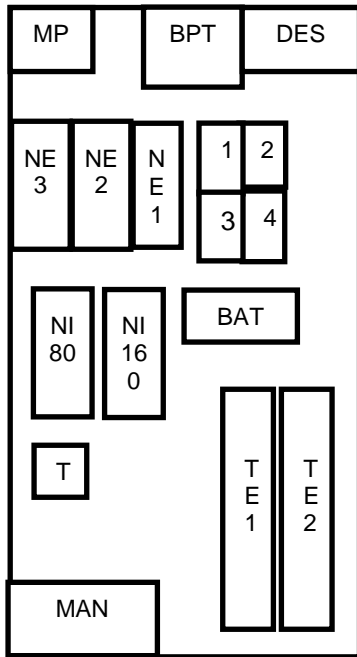


Figura 22. Alternativa 13

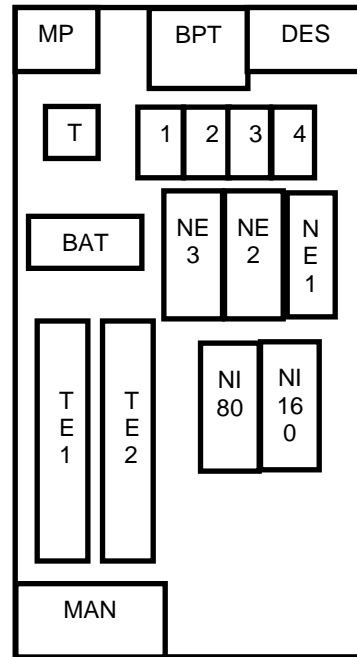


Figura 23. Alternativa 14

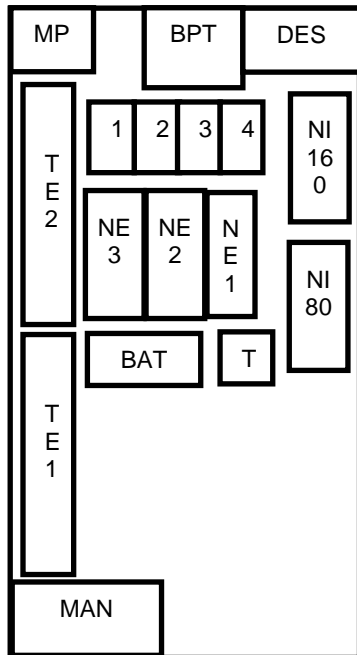


Figura 24. Alternativa 15

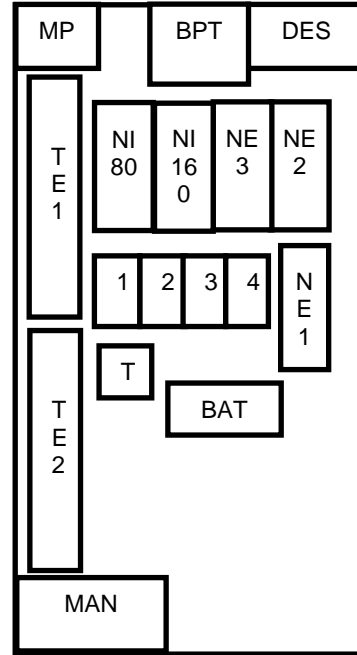


Figura 25. Alternativa 16

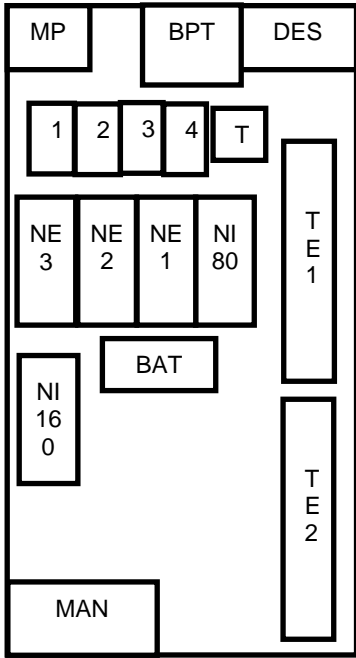


Figura 26. Alternativa 17

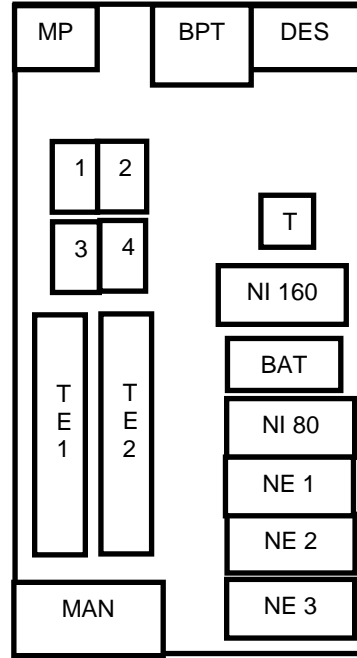


Figura 27. Alternativa 18

## 7. Proceso Analítico Jerárquico

### 7.1 Selección de factores a analizar

Después de analizar los resultados de La Planeación Sistemática de la Distribución y mirar las distintas alternativas de diseño, se decidió incluir los siguientes factores para el análisis de las diferentes alternativas de diseño.

- Flexibilidad
- Accesibilidad

La accesibilidad indica que tan buena es la alternativa teniendo en cuenta la facilidad para el manejo de materiales y el espacio disponible para los operarios. Adicionalmente tiene en cuenta los diferentes recorridos que tienen que realizar los operarios. A distancias recorridos más cortos mejor serán los puntajes de accesibilidad. Por la forma de asignación que utiliza Envapac para su producción, algunos operarios se encargan de más de una máquina por lo que tienen que realizar constantes recorridos entre las máquinas que se le asignaron.

En cuanto al factor de flexibilidad, se refiere a la capacidad para reacondicionar la distribución de la planta, esto se refiere a futuros cambios del diseño de planta. Es fundamental considerar que tanta flexibilidad va a tener la planta y que tanto se podría reacomodar debido a futuros cambios, ya sea en la demanda o en la producción de Envapac.

Es fundamental garantizar una buena accesibilidad de los operarios a las distintas áreas, que actualmente se ven afectados por el almacenamiento de producto terminado a lo largo de la planta de producción. Este inventario ubicado en los pasillos tiene un costo asociado que más adelante será desarrollado en detalle, el análisis de la situación actual evidencia un problema con el inventario de producto terminado que se encuentra en áreas donde no debe estar, ya que ocasiona problemas de seguridad y de movilidad a los operarios.

Luego de identificar los factores a considerar se da una ponderación de estos. La accesibilidad es fundamental ya que debido a las asignaciones de máquinas de los diferentes operarios estos se tienen que desplazar constantemente dentro de la planta, sin una buena accesibilidad los operarios tendrían problemas al realizar sus desplazamientos. Por otro lado, la flexibilidad es igualmente importante ya que determina la posibilidad de realizar ajustes al diseño de planta elegido. Debido a que no se tiene evidencia suficiente de que alguno de los dos factores es más importante que el otro, se decidió dar igual importancia a ambos factores por lo que la ponderación quedo de la siguiente manera:

- Accesibilidad = 0.5
- Flexibilidad = 0.5



## 7.2 Comparación de alternativas por pares

Luego de identificar los factores que afectan las diferentes alternativas de distribución, se prosiguió a realizar la comparación por pares. En total son 171 comparaciones que se realizaron contando las 18 alternativas propuestas más la alternativa actual.

Esta comparación se decidió realizarla teniendo en cuenta dos evaluadores, el primer evaluador es Juan Pablo Jiménez, Jefe de producción de la compañía y a quien se le dará mayor peso debido a su amplia experiencia, ya que cuenta con más de 10 años trabajando en la compañía. Por otro lado se decidió considerar el criterio de Gustavo Galán como válido pero teniendo una ponderación menor, esto debido a que se conoce la empresa hace más de un año y se ha trabajado en la realización de trabajos para la carrera de Ingeniería Industrial que han desarrollado un conocimiento de la situación de Envapac Ltda.

Para la comparación por pares se utilizó la siguiente escala de valores que propone el autor de esta metodología:

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Moderadamente más importante que el otro
5	Fuertemente más importante que el otro
7	Mucho más fuerte la importancia que el otro
9	Importancia extrema de un elemento frente a otro

Tabla 12. Escala numérica para comparación por pares

Cabe aclarar que cuando una alternativa evaluada en una fila pierde con la columna se pone el recíproco de la fuerza de importancia considerada, es decir si la alternativa 1 (columna) es moderadamente más importante que la 0 (fila) se pone una calificación de 1/3 en el lugar indicado para hacer esta comparación. Los resultados obtenidos de los diferentes factores evaluados por cada uno de los evaluadores escogidos se muestran en las tablas siguientes.

## 7.2.1 Evaluaciones de Juan Pablo Jiménez

### 7.2.1.1 Flexibilidad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1/5	1/9	1/5	1/3	1/5	1	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1	1/3	1/7	1/7	1/3	1
1		1/5	1	3	1	5	3	3	1	1	5	3	5	3	1/3	1/3	3	5
2			5	7	5	9	7	7	5	5	9	7	9	7	3	3	7	9
3				3	1	5	3	2	1	1	5	3	5	3	1/3	1/3	3	5
4					1/3	3	1	1	1/3	1/3	3	1	3	1	1/5	1/5	1	3
5						1/3	3	1	1	1/3	3	1	3	1	1/5	1/5	1	3
6							1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/3	1
7								1	1/3	1/3	3	1	3	1	1/5	1/5	1	3
8									1/3	1/3	3	1	3	1	1/5	1/5	1	3
9										1	5	3	5	3	1/3	1/3	3	5
10											5	3	5	3	1/3	1/3	3	5
11												3	1	3	1/5	1/5	1/3	1
12													3	1	1/5	1/5	1	3
13														1/3	1/7	1/7	1/3	1
14															1/5	1/5	1	3
15																1	5	7
16																	5	7
17																		3

Tabla 13. Comparación por pares de flexibilidad hecha por Juan Pablo Jiménez

### 7.2.1.2 Accesibilidad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3	3	1	3	1/3	5	1	1/7	3	3	1/3	1/7
1		1	1/3	1	1/3	1/3	1	5	3	5	1	7	3	1/5	5	5	1	1/5
2			1/3	1	1/3	1/3	1	5	3	5	1	7	3	1/5	5	5	1	1/5
3				3	1	1	3	7	5	7	3	9	5	1/3	7	7	3	1/3
4					1/3	1/3	1	5	3	5	1	7	3	1/5	5	5	1	1/5
5						1	3	7	5	7	3	9	5	1/3	7	7	3	1/3
6							3	7	5	7	3	9	5	1/3	7	7	3	1/3
7								5	3	5	1	7	3	1/5	5	5	1	1/5
8									1/3	1	1/5	3	1/3	1/9	1	1	1/5	1/9
9										3	1/3	5	1	1/7	3	3	1/3	1/7
10											1/5	3	1/3	1/9	1	1	1/5	1/9
11												7	3	1/5	5	5	1	1/5
12													1/5	1/9	1/3	1/3	1/7	1/9
13														1/7	3	3	1/3	1/7
14															9	9	5	1
15																1	1/5	1/9
16																	1/5	1/9
17																		1/3

Tabla 14. Comparación por pares de accesibilidad hecha por Juan Pablo Jiménez

## 7.2.2 Resultado de evaluación de Gustavo Galán

### 7.2.2.1 Flexibilidad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1	1/7	1/5	1/7	1/5	1	1/3	1	1/3	1/7	1/7	1/5	1/3
1		1	1	3	3	7	1	3	1	1	3	3	7	5	1	1	3	5
2			1	3	3	7	1	3	1	1	3	3	7	5	1	1	3	5
3				3	3	7	1	3	1	1	3	3	7	5	1	1	3	5
4					1	5	1/3	1	1/3	1/3	1	1	5	3	1/3	1/3	1	3
5						5	1/3	1	1/3	1/3	1	1	5	3	1/3	1/3	1	3
6							1/7	1/5	1/7	1/5	1	1/3	1	1/3	1/7	1/7	1/5	1/3
7								3	1	1	3	3	7	5	1	1	3	5
8									1/3	1/3	1	1	5	3	1/3	1/3	1	3
9										1	3	3	7	5	1	1	3	5
10											3	3	7	5	1	1	3	5
11												1	5	3	1/3	1/3	1	3
12													5	3	1/3	1/3	1	3
13														1/3	1/7	1/7	1/5	1/3
14															1/5	1/5	1/3	1
15																1	3	5
16																	3	5
17																		3

Tabla 15. Comparación por pares de flexibilidad hecha por Gustavo Galán

### 7.2.2.2 Accesibilidad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1/5	1	1/3	3	1/5	1/5	1/3	3	1	1	1	5	1/3	1/3	5	5	1	1/7
1		5	3	5	1	1/3	3	5	5	5	5	7	3	3	7	7	5	1/5
2			1/3	3	1/5	1/5	1/3	3	1	1	1	5	1/3	1/3	5	5	1	1/7
3				5	1/3	1/5	1	5	3	3	3	5	1	1	5	5	3	1/5
4					1/5	1/7	1/5	1	1/3	1/3	1/3	3	1/5	1/5	3	3	1/3	1/7
5						1/3	3	5	5	5	5	7	3	3	7	7	5	1/5
6							5	7	5	5	5	7	5	5	7	7	5	1/3
7								5	3	3	3	5	1	1	5	5	3	1/5
8									1/3	1/3	1/3	3	1/5	1/5	3	3	1/3	1/7
9										1	1	5	1/3	1/3	5	5	1	1/7
10											1	5	1/3	1/3	5	5	1	1/7
11												5	1/3	1/3	5	5	1	1/7
12													1/5	1/5	1	1	1/5	1/9
13														1	5	5	3	1/5
14															5	5	3	1/5
15																1	1/5	1/9
16																	1/5	1/9
17																		1/7

Tabla 16. Comparación por pares de accesibilidad hecha por Gustavo Galán

### 7.3 Resultados

Se decidió la utilización de un software especializado en Proceso Analítico Jerárquico para la obtención de los resultados del AHP. En los anexos se puede ver detalladamente la manera como se introdujeron los datos al software. El software seleccionado es TransparentChoice desarrollado por Stuart Easton. Una de las ventajas del uso de esta herramienta es que hace un constante análisis de la información introducida y da aviso cuando se encuentra algún tipo de inconsistencia, por otro lado ahorra tiempo en la multiplicación de matrices y cálculos de vectores propios.

Adicional a esto, el software permite especificar las ponderaciones tanto de los evaluadores como de los factores a considerar. Las tablas 17 y 18 muestran estos datos de entrada.

Criterio	Ponderación (%)
Accesibilidad	50%
Flexibilidad	50%

Tabla 17. Ponderación de criterios

Evaluador	Ponderación (%)
Juan Pablo Jiménez	75%
Gustavo Galán	25%

Tabla 18. Ponderación evaluadores

Luego de terminar de ingresar los datos en el software se obtuvieron los resultados que serán utilizados como las salidas del DEA.

La tabla 19 muestra los resultados por factor y los resultados de la suma de criterios que no será relevante para nuestro caso, ya que no se busca tomar una decisión basándose únicamente en esto. El AHP está hecho con el fin de ser una herramienta para toma de decisiones, sin embargo, en nuestro caso la decisión final no será tomada considerando únicamente estos resultados ya que haría un modelo que tendría su aspecto fuerte en la información cualitativa y lo que se busca es combinar tanto esta información cualitativa que brinda el AHP como la información cuantitativa del DEA.

<b>Alternativa</b>	<b>Ponderación total (%)</b>	<b>Accesibilidad (%)</b>	<b>Flexibilidad (%)</b>
Alternativa 2	10,63%	2,12%	8,51%
Alternativa 18	9,46%	8,76%	0,70%
Alternativa 14	8,38%	6,94%	1,43%
Alternativa 3	7,89%	4,44%	3,46%
Alternativa 5	7,61%	4,80%	2,81%
Alternativa 15	6,37%	0,57%	5,79%
Alternativa 16	6,37%	0,57%	5,79%
Alternativa 1	6,08%	2,54%	3,54%
Alternativa 6	5,82%	5,13%	0,68%
Alternativa 9	4,75%	1,21%	3,54%
Alternativa 7	4,26%	2,38%	1,88%
Alternativa 10	4,23%	0,70%	3,54%
Alternativa 17	3,67%	2,14%	1,52%
Alternativa 4	3,52%	1,99%	1,52%
Alternativa 11	3,00%	2,12%	0,87%
Alternativa 8	2,18%	0,63%	1,55%
Alternativa 13	2,00%	1,34%	0,67%
Alternativa 12	1,93%	0,40%	1,52%
Alternativa 0	1,86%	1,21%	0,65%

Tabla 19. Resultados AHP

En los anexos se puede ver los resultados obtenidos por factor analizado.

## 8. DEA

### 8.1 Entradas

Las entradas del modelo del DEA serán parte fundamental en la solución y en el cálculo de la eficiencia. Se decidió considerar 3 entradas en el modelo propuesto, estas son:

- Costo de redistribución
- Costo de inventario en pasillo
- Puntaje de adyacencia

#### 8.1.1 Costo de redistribución

El costo de redistribución se refiere al costo asociado al movimiento de maquinaria, en muchos artículos no tienen en consideración este costo pero en nuestro caso, al tener máquinas pesadas se hace necesario incluirlo. Para el cálculo de este costo se tuvieron en cuenta varios aspectos en cada una de las alternativas evaluadas, en primer lugar se determinaron cuantos departamentos se deben mover en cada alternativa. Para identificar esto fue necesario hacer una comparación de cada una de las alternativas con la alternativa 0 (Actual), por supuesto el costo de redistribución de la alternativa 0 es \$0.

Alternativa	Número de departamentos que se mueven	Departamentos que se mueven
Alternativa 0	0	
Alternativa 1	4	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel
Alternativa 2	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 3	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 4	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 5	5	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora
Alternativa 6	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 7	5	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora
Alternativa 8	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 9	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 10	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 11	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 12	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 13	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora



Alternativa 14	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 15	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 16	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 17	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora
Alternativa 18	6	Nissei, Nestal, Topformer, Battenfel, Termoformadora, Troqueladora

Tabla 20. Movimiento de departamentos por alternativa

Posterior a esto, se determinaron los pesos y las dimensiones de las diferentes máquinas de la planta. Los pesos y dimensiones por máquina son los siguientes:

Máquina	Peso (Kg)	Dimensiones (m)
Nissei	6000	6.9 x 3.4
Nestal	6000	6.9 x 3.2
Topformer	2200	3.9 x 2.7
Battenfel	6000	6.2 x 2.8
Termoformadora	37000	12.8 x 2.8
Troqueladora	910	2.6 x 3.0

Tabla 21. Pesos y dimensiones de máquinas

Con base en esta información se buscó el tipo de montacargas adecuado para el movimiento de estas máquinas pesadas. Se necesita un montacargas especial para el movimiento de la Termoformadora de 37 Toneladas. El vehículo seleccionado es una Grande Contrapesada de McAllister que tiene un costo de alquiler de \$300.000 por hora. Este vehículo tiene una capacidad de 46 Toneladas, lo que es suficiente para lo que se necesita.

Por otro lado, para mover las otras máquinas es necesario el alquiler de un montacarga Hyster, un equipo con motor diésel y capacidad de hasta 7.5 toneladas. El alquiler de este vehículo lo presta la empresa Suramericana de montacargas y tiene un valor de \$60.000 por hora.

Se hizo un supuesto de los tiempos requeridos para mover la maquinaria discriminando por el tipo de máquina que se desea mover.

Adicional a esto existen unos costos asociados a la instalación de esta maquinaria en la nueva ubicación. Estos costos incluyen factores como instalaciones eléctricas, malla electro soldada y fijación de la maquinaria. Es necesario que se garantice que las máquinas queden instaladas en óptimas condiciones al realizar la reubicación de modo que no se presenten fallas o accidentes al momento de la producción en la nueva distribución. Con base en información suministrada por la empresa se calcularon estos costos de instalación.

En el caso de las termoformadoras es necesario adecuar un piso especial que evite vibraciones y garantice unas condiciones adecuadas para su funcionamiento.

La tabla 22 muestra los costos de movimiento e instalación para cada una de las diferentes máquinas.

Tipo de máquina	Costo de instalación	Costo de movimiento por hora	Tiempo necesario para mover máquina (horas)
Nissei	\$ 100.000	\$ 60.000	1
Nestal	\$ 100.000	\$ 60.000	1
Topformer	\$ 60.000	\$ 60.000	0,5
Battenfel	\$ 100.000	\$ 60.000	1
Termoformadora	\$ 450.000	\$ 300.000	3
Troqueladora	\$ 0	\$ 60.000	0,2

Tabla 22. Costos y tiempos de mover maquinaria

Con base en esta información y esta ecuación se calculó el costo de redistribución de cada alternativa:

$$CT_i = \sum_m (n_{mi} * ci_{mi}) + (n_{mi} * cm_{mi} * t_{mi})$$

Donde,

$CT_i$  = Costo total de redistribución de alternativa  $i$

$n_{mi}$  = Número de máquinas de tipo  $m$  que se mueven en la alternativa  $i$

$ci_{mi}$  = Costo de instalación de máquinas tipo  $m$  en la alternativa  $i$

$cm_{mi}$  = Costo de mover maquinas de tipo  $m$  en la alternativa  $i$

$t_{mi}$  = Tiempo en horas necesario para mover máquinas de tipo  $m$  en la alternativa  $i$

Tipos de máquinas ( $m$ ):

$m_1$  = Nissei

$m_2$  = Nestal

$m_3$  = Topformer

$m_4$  = Battenfel

$m_5$  = Termoformadora

$m_6$  = Troqueladora

Los resultados obtenidos para cada alternativa son:

<b>Número de alternativa</b>	<b>Costo de redistribución (Pesos)</b>
Alternativa 0	\$ 0
Alternativa 1	\$ 1.320.000
Alternativa 2	\$ 4.080.000
Alternativa 3	\$ 4.080.000
Alternativa 4	\$ 4.080.000
Alternativa 5	\$ 4.020.000
Alternativa 6	\$ 4.080.000
Alternativa 7	\$ 4.020.000
Alternativa 8	\$ 4.080.000
Alternativa 9	\$ 4.080.000
Alternativa 10	\$ 4.080.000
Alternativa 11	\$ 4.080.000
Alternativa 12	\$ 4.080.000
Alternativa 13	\$ 4.080.000
Alternativa 14	\$ 4.080.000
Alternativa 15	\$ 4.080.000
Alternativa 16	\$ 4.080.000
Alternativa 17	\$ 4.080.000
Alternativa 18	\$ 4.080.000

Tabla 23. Costos de redistribución

### 8.1.2 Costo de inventario en pasillo

Otra entrada tomada en cuenta para el modelo DEA es el costo de inventario en pasillo. Como se mostró anteriormente uno de los problemas más grandes de Envapac está en que almacenan grandes cantidades de inventario al lado de las máquinas y esto dificulta las labores de los operarios. Luego de identificar las cantidades de inventario y los lugares donde ubican lo que no cabe en las bodegas se procedió a pintar este inventario en el diagrama de planta actual para identificar sus dimensiones con la ayuda del software SolidWorks. La figura 28 muestra este inventario ubicado en los pasillos.

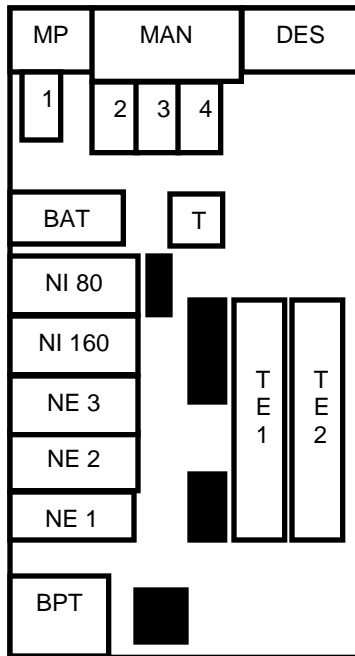


Figura 28. Inventario en pasillo

Las zonas negras representan el inventario en pasillo.

Con algunas alternativas de distribución se tiene la opción de ampliar la bodega de producto terminado debido a que ocuparía el espacio que actualmente ocupa la zona de mantenimiento, teniendo en cuenta que la zona de mantenimiento se podría reubicar fácilmente donde actualmente está la bodega de producto terminado. Esta zona de mantenimiento se encuentra en un gran desorden y con seguridad se podría reubicar con las dimensiones de la actual bodega de producto terminado, permitiendo la ampliación de la bodega.

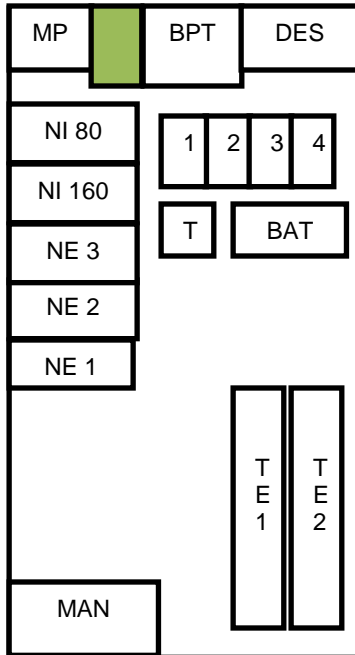


Figura 29. Ampliación de bodega de producto terminado

En la figura 29 se puede ver la cantidad de producto terminado que puede ser reubicado si se llega a ampliar la bodega. El espacio en color verde representa el espacio extra que podría tener la bodega. El cálculo numérico de los metros cuadrados de inventario en pasillo que tendría este tipo de alternativas se obtuvo restando el espacio verde al espacio de la alternativa 0 (actual).

Con la información de la tabla 24 se calculó el costo de inventario en pasillo.

Inventario en pasillo actual (m)	Ampliación de bodega (m)	Inventario en pasillo para alternativas con ampliación (m)
26,82	11,13	15,69

Tabla 24. Información para costo de inventario en pasillo

Adicional a esta información fue necesario calcular el costo de arriendo de 1 m<sup>2</sup> de una bodega similar a la de Envapac (por ubicación y dimensiones).

Se determinó un costo mensual de \$ 13.211 m.

Debido a que el costo de redistribución es un costo diario, se hizo la conversión del costo de obteniendo:

Costo diario de m= \$ 440

Con esta información se calcula el costo de inventario en pasillo.

Alternativa	Costo de inventario en pasillo (día)	Inventario en pasillo (m)
Alternativa 0	\$ 11.811	26,82
Alternativa 1	\$ 11.811	26,82
Alternativa 2	\$ 11.811	26,82
Alternativa 3	\$ 11.811	26,82
Alternativa 4	\$ 11.811	26,82
Alternativa 5	\$ 6.883	15,63
Alternativa 6	\$ 6.883	15,63
Alternativa 7	\$ 6.883	15,63
Alternativa 8	\$ 6.883	15,63
Alternativa 9	\$ 6.883	15,63
Alternativa 10	\$ 6.883	15,63
Alternativa 11	\$ 6.883	15,63
Alternativa 12	\$ 6.883	15,63
Alternativa 13	\$ 6.883	15,63
Alternativa 14	\$ 6.883	15,63
Alternativa 15	\$ 6.883	15,63
Alternativa 16	\$ 6.883	15,63
Alternativa 17	\$ 6.883	15,63
Alternativa 18	\$ 6.883	15,63

Tabla 25. Costo inventario en pasillo

### 8.1.3 Puntaje de adyacencia

El puntaje de adyacencia es la tercera y última entrada al modelo DEA. Este puntaje unifica dos factores fundamentales en una distribución de planta, el primero es la distancia entre departamentos y el segundo es la importancia de cercanía entre departamentos, la cual se calculó anteriormente como parte de la metodología de la PSD para la generación de alternativas.

Para el cálculo de las distancias entre los departamentos se decidió utilizar una métrica Euclidiana. La métrica Euclidiana mide la distancia en línea recta entre los centros de 2 departamentos. A pesar de que en algunos casos no es una medida realista, es la medida más utilizada porque es eficiente (distancia más corta entre dos puntos)<sup>14</sup>.

Las tablas que se muestran a continuación fueron el resultado de los cálculos de estas distancias Euclidianas para cada una de las alternativas propuestas. Los datos están en m<sup>2</sup>.

<sup>14</sup> HERAGU, Sunderesh S. Facilities design third edition, Taylor & Francis Group. 2008

Para un mejor manejo de datos y disminución del espacio ocupado por las tablas se utilizaron números para cada departamento de la forma que muestra la tabla 26.

Número	Departamento
1	Nestal
2	Nissei
3	Battenfel
4	Topformer
5	Troqueladora
6	Termoformadora
7	Zona de M.P.
8	Zona de mantenimiento
9	Zona de descargue
10	Bodega de producto terminado

Tabla 26. Números por departamento

<b>Alternativa 0</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,9	13,41	20,48	19,45	10,28	23,73	27,5	29,92	9,05
2		7,46	14,21	9,44	16,35	15,48	19,96	26,87	16,47
3			7,74	6,94	21,99	10,08	15	21,59	21,31
4				10,4	25,44	6,67	6,63	13,69	29,61
5					14,92	17,14	10,99	15,12	28,1
6						31,75	25,6	19,64	23,18
7							6,07	12,98	30,84
8								6,91	36,35
9									43,22

Tabla 27. Distancias entre departamentos de alternativa 0 (metros)

<b>Alternativa 1</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	15,83	19,37	10,75	17,5	14,68	19,01	25,91	17,26
2		16,75	11,47	10,08	24,72	7,1	11,43	18,33	25,2
3			6,67	6,75	15,4	12,82	10,72	14,76	28,61
4				8,02	14,88	16,71	10,64	6,51	36,71
5					14,92	17,14	10,99	15,12	28,1
6						31,75	25,6	19,64	23,18
7							6,07	12,98	30,84
8								6,91	36,35
9									43,22

Tabla 28. Distancias entre departamentos de alternativa 1 (metros)

<b>Alternativa 2</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	12,86	20,32	17,22	10,91	27,66	17,7	15	28,14
2		20,56	27,78	25,24	18,41	20,08	10,16	7,42	35,76
3			7,5	6,75	8,22	25,91	21,07	27,78	15,48
4				7,3	10,72	6,83	28,14	35	8,06
5					18,49	19,68	25,64	32,34	10,72
6						38,22	32,34	25,95	17,22
7							6,07	12,98	30,84
8								6,91	36,35
9									43,22

Tabla 29. Distancias entre departamentos de alternativa 2 (metros)

<b>Alternativa 3</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	13,26	9,17	6,75	21,19	16,15	19,92	26,91	16,15
2		21,35	17,3	14,88	28,49	7,9	11,83	18,85	24,49
3			17,62	6,43	9,09	28,89	23,26	16,31	27,38
4				8,06	11,47	24,53	26,11	33,02	10,48
5					14,01	22,74	16,67	20,91	23,45
6						36,71	31,31	25,24	18,22
7							6,07	12,98	30,84
8								6,91	36,35
9									43,22

Tabla 30. Distancias entre departamentos de alternativa 3 (metros)

<b>Alternativa 4</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	15,32	12,7	21,55	29,53	39,09	32,74	28,57	14,88
2		7,78	14,09	13,77	22,11	31,55	25,6	20,72	22,46
3			6,19	6,39	14,17	24,25	20,84	27,7	15,04
4				9,33	17,26	26,87	27,26	34,61	8,45
5					11,79	19,21	24,84	32,19	12,98
6						9,6	13,14	20,08	22,58
7							6,07	12,98	30,84
8								6,91	36,35
9									43,22

Tabla 31. Distancias entre departamentos de alternativa 4 (metros)



<b>Alternativa 5</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	20,95	16,19	16,35	15,87	5,36	11,35	31,63	25,76
2		13,77	8,65	8,85	23,41	13,49	4,77	23,97	18,3
3			3,95	6,43	15,48	24,01	7,9	10,95	16,59
4				8,53	29,37	8,22	26,03	15,64	9,84
5					20,52	17,42	26,23	15,28	9,48
6						37,34	15,76	25,72	30,04
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 32. Distancias entre departamentos de alternativa 5 (metros)

<b>Alternativa 6</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	15,87	19,01	12,34	14,6	17,14	17,62	24,41	18,57
2		23,85	26,91	19,57	13,37	9,01	24,72	17,3	11,31
3			6,03	15,36	11,55	32,19	20,72	21,59	24,41
4				10,91	17,26	35,64	14,6	27,38	27,94
5					26,67	25,08	6,98	36,79	30,99
6						21,63	32,07	10	14,33
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 33. Distancias entre departamentos de alternativa 6 (metros)

<b>Alternativa 7</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	15,91	18,3	11,19	21,51	14,92	17,7	26,87	21,27
2		14,05	9,84	9,33	28,73	7,54	24,61	18,73	12,62
3			6,67	5,2	13,61	22,62	30,28	11,23	3,82
4				7,14	20,48	15,91	32,9	8,14	8,89
5					19,01	16,91	25,76	15,28	9,92
6						37,34	15,76	25,72	30,04
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 34. Distancias entre departamentos de alternativa 7 (metros)

<b>Alternativa 8</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	12,34	18,45	16,35	15,83	26,07	26,35	15,68	18,41
2		19,57	25,91	23,85	11,71	18,65	33,81	8,45	10,87
3			10,08	6,67	14,72	24,88	13,61	28,34	22,58
4				9,13	16,71	26,83	7,82	34,25	28,85
5					11,87	19,21	14,17	32,3	26,47
6						9,52	22,26	20,4	14,96
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 35. Distancias entre departamentos de alternativa 8 (metros)

<b>Alternativa 9</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	9,37	11,83	18,45	22,22	15,95	29,61	11,87	7,9
2		17,38	8,25	10,91	30,12	8,22	24,09	19,37	13,85
3			9,13	15,44	12,94	25,32	26,47	14,96	4,41
4				4,68	21,79	16,43	18,3	23,57	18,02
5					19,25	18,22	14,01	30,16	24,25
6						38,06	16,11	25,76	31,07
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 36. Distancias entre departamentos de alternativa 9 (metros)

<b>Alternativa 10</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,66	6,23	15,12	16,59	13,65	23,81	28,3	13,65	16,19
2		14,01	7,78	9,17	20,8	16,07	20,76	21,23	15,16
3			9,21	23,14	19,57	17,74	34,76	7,1	10,44
4				14,56	28,34	8,77	25,84	15,72	10
5					19,25	18,22	14,01	30,16	24,25
6						38,06	16,11	25,76	31,07
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 37. Distancias entre departamentos de alternativa 10 (metros)

<b>Alternativa 11</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,49	14,37	6,19	13,29	12,86	22,46	27,22	14,76	14,88
2		6,43	14,01	6,71	20,2	30,56	19,96	21,95	23,1
3			20,44	12,66	27,07	36,23	13,29	28,45	29,41
4				19,8	12,42	16,07	33,26	8,57	9,09
5					13,89	24,33	13,73	28,26	22,62
6						9,76	22,18	21,07	15,56
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 38. Distancias entre departamentos de alternativa 11 (metros)

<b>Alternativa 12</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,49	23,34	15,4	16,47	11,15	17,38	32,38	9,68	9,25
2		15,87	7,94	8,89	15,32	25,4	25,32	16,75	17,78
3			8,41	7,3	12,58	22,98	9,52	33,1	27,5
4				8,41	21,63	31,79	17,06	21,15	24,01
5					13,1	23,06	15,2	26,59	21,07
6						9,76	22,18	21,07	15,56
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 39. Distancias entre departamentos de alternativa 12 (metros)

<b>Alternativa 13</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,2	15,16	8,53	16,43	27,7	9,96	23,45	18,26	12,1
2		10,16	16,79	6,35	17,1	19,25	13,22	27,7	22,9
3			6,83	16,35	11,91	25,32	23,81	17,82	17,06
4				23,26	18,89	18,45	30,68	11,23	10,4
5					13,26	23,57	9,09	34,53	28,81
6						38,06	16,11	25,76	31,07
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 40. Distancias entre departamentos de alternativa 13 (metros)

<b>Alternativa 14</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9,13	8,85	7,1	15,6	18,53	21,31	27,86	13,93	13,26
2		18,22	16,39	25,12	9,25	30,52	18,89	22,98	22,54
3			13,14	6,83	10,72	12,86	19,6	22,58	16,63
4				9,37	22,82	14,92	31,79	9,72	6,98
5					17,03	5,87	26,47	17,06	11,19
6						22,26	9,64	32,03	25,95
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 41. Distancias entre departamentos de alternativa 14 (metros)

<b>Alternativa 15</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,06	7,74	6,03	9,52	10,87	18,02	24,17	17,78	12,18
2		16,35	12,74	10,72	19,49	24,8	31,91	11,87	17,18
3			13,61	5,12	7,18	22,46	16,23	25,6	19,88
4				15,28	16,47	12,22	29,96	12,1	6,15
5					11,87	27,22	21,87	19,17	19,01
6						15,52	17,14	28,81	23,18
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 42. Distancias entre departamentos de alternativa 15 (metros)

<b>Alternativa 16</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,86	16,99	13,06	20,52	20,91	20,32	34,13	8,57	20,16
2		16,91	8,69	12,54	13,69	11,75	26,95	15,28	8,81
3			8,81	6,95	14,41	29,33	18,37	24,09	21,23
4				7,38	7,3	20,72	21,27	20,87	15
5					7,18	21,75	14,29	28,06	22,26
6						15,52	17,14	28,81	23,18
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 43. Distancias entre departamentos de alternativa 16 (metros)

<b>Alternativa 17</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5,28	7,82	7,06	13,69	17,34	15,12	20	21,51	15,64
2		3,02	11,71	15,8	11,83	20,04	17,94	24,29	18,02
3			13,69	16,11	9,45	22,78	17,26	24,53	18,49
4				6,47	23,18	9,05	27,07	14,68	8,53
5					17,18	15,16	33,53	8,33	7,06
6						32,03	24,53	19,01	24,25
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 44. Distancias entre departamentos de alternativa 17 (metros)

<b>Alternativa 18</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	10	27,94	17,3	17,22	38,97	14,41	28,02	31,23
2		0	17,82	8,18	12,86	28,73	23,53	18,77	21,15
3			17,86	7,66	13,14	28,85	23,97	18,45	20,87
4				10,56	11,51	11,07	21,67	20,32	11,75
5					21,47	21,63	31,55	10,6	14,29
6						22,03	9,96	31,91	23,18
7							32,7	12,98	7,34
8								41,51	35,84
9									5,6

Tabla 45. Distancias entre departamentos de alternativa 18 (metros)

El resultado obtenido de la distancia entre departamentos de las diferentes alternativas es después multiplicado por una matriz dependiendo del tipo de relación entre departamentos como lo muestra la tabla 46.

<b>Relación entre departamentos</b>	<b>Factor multiplicador</b>
A	80
E	60
I	40
O	20
U	0
X	-80

Tabla 46. Matriz multiplicadora de puntaje de adyacencia

Cada uno de los resultados de estas nuevas matrices (ver anexos) se suma para obtener el puntaje de adyacencia de la tabla 47.

<b>Número de alternativa</b>	<b>Puntaje de adyacencia</b>
<b>Alternativa 0</b>	10.299,4
<b>Alternativa 1</b>	10.745,8
<b>Alternativa 2</b>	14.517,6
<b>Alternativa 3</b>	12.585,2
<b>Alternativa 4</b>	12.281,2
<b>Alternativa 5</b>	5.584,8
<b>Alternativa 6</b>	9.809,0
<b>Alternativa 7</b>	5.909,2
<b>Alternativa 8</b>	10.343,0
<b>Alternativa 9</b>	5.996,8
<b>Alternativa 10</b>	6.607,0
<b>Alternativa 11</b>	8.765,6
<b>Alternativa 12</b>	9.630,0
<b>Alternativa 13</b>	8.634,0
<b>Alternativa 14</b>	8.325,2
<b>Alternativa 15</b>	9.045,8
<b>Alternativa 16</b>	9.950,0
<b>Alternativa 17</b>	7.466,6
<b>Alternativa 18</b>	11.120,0

Tabla 47. Puntaje de adyacencia

## 8.2 Salidas

Las salidas del DEA serán los resultados obtenidos por el AHP, estos puntajes indicarán la eficiencia de cada alternativa evaluada por el modelo. Estos resultados son los puntajes de los siguientes factores:

- Flexibilidad
- Accesibilidad

### 8.3 Resultados

Para la obtención de resultados del DEA se buscó un software libre que sea útil para calcular las eficiencias de cada DMU. Como no se encontró un software gratuito que pudiera procesar la información del trabajo fue necesaria la compra de un software online que tiene capacidad para desarrollar 50 unidades de decisión y 8 entradas y/o salidas.

El software elegido fue D.E.A.O.S. un software desarrollado que permite elegir el tipo de DEA que se quiere utilizar, entre retorno constante y retorno variable, aspecto clave a la hora de desarrollar el problema.

Como datos de entrada al modelo se tienen por un lado las salidas del AHP (Flexibilidad y Accesibilidad) y por otro lado las entradas calculadas para el DEA (Costo de redistribución, costo de inventario en pasillo y puntaje de adyacencia).

Alternativa	Costo de redistribución	Costo de inventario en pasillo	Puntaje de adyacencia	Accesibilidad	Flexibilidad
	Entrada	Entrada	Entrada	Salida	Salida
0	\$ 0	\$ 11.811	10299,4	0,0121	0,0065
1	\$ 1.320.000	\$ 11.811	10745,8	0,0040	0,0152
2	\$ 4.080.000	\$ 11.811	14517,6	0,1340	0,0067
3	\$ 4.080.000	\$ 11.811	12585,2	0,0063	0,0155
4	\$ 4.080.000	\$ 11.811	12281,2	0,0212	0,0087
5	\$ 4.020.000	\$ 6.883	5584,8	0,0199	0,0152
6	\$ 4.080.000	\$ 6.883	9809,0	0,0214	0,0152
7	\$ 4.020.000	\$ 6.883	5909,2	0,0070	0,0354
8	\$ 4.080.000	\$ 6.883	10343,0	0,0238	0,0188
9	\$ 4.080.000	\$ 6.883	5996,8	0,0121	0,0354
10	\$ 4.080.000	\$ 6.883	6607,0	0,0513	0,0068
11	\$ 4.080.000	\$ 6.883	8765,6	0,0254	0,0354
12	\$ 4.080.000	\$ 6.883	9630,0	0,0057	0,0579
13	\$ 4.080.000	\$ 6.883	8634,0	0,0057	0,0579
14	\$ 4.080.000	\$ 6.883	8325,2	0,0480	0,0281
15	\$ 4.080.000	\$ 6.883	9045,8	0,0444	0,0346
16	\$ 4.080.000	\$ 6.883	9950,0	0,0694	0,0143
17	\$ 4.080.000	\$ 6.883	7466,6	0,0876	0,0070
18	\$ 4.080.000	\$ 6.883	11120,0	0,0212	0,0851

Tabla 48. Datos para resolver DEA

### 8.3.1 Estadística descriptiva

Nombre	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Costo redistribución	0	4080000	3713684.2105	1098525,3273
Costo inventario pasillo	6883	11811	8179.8421	2170.0319
Puntaje de adyacencia	5584.8	14517.6	9348.2211	2336.3049
Accesibilidad	0.0025	0.0876	0.0251	0.0234
Flexibilidad	0.0065	0.3539	0.0431	0.0761

Tabla 49. Estadística descriptiva

### 8.3.2 Eficiencias

Los resultados obtenidos desarrollando el DEA fueron los siguientes:

DMU	Eficiencia
DMU0	100,00%
DMU1	19.7%
DMU2	15,2%
DMU3	10,6%
DMU4	24,4%
DMU5	36,3%
DMU6	28,9%
DMU7	24,2%
DMU8	30,6%
DMU9	31,1%
DMU10	67,2%
DMU11	100,00%
DMU12	21.9%
DMU13	22,3%
DMU14	60.8%
DMU15	61,2%
DMU16	78.8%
DMU17	100,00%
DMU18	47,1%

Tabla 50. Eficiencias de las alternativas



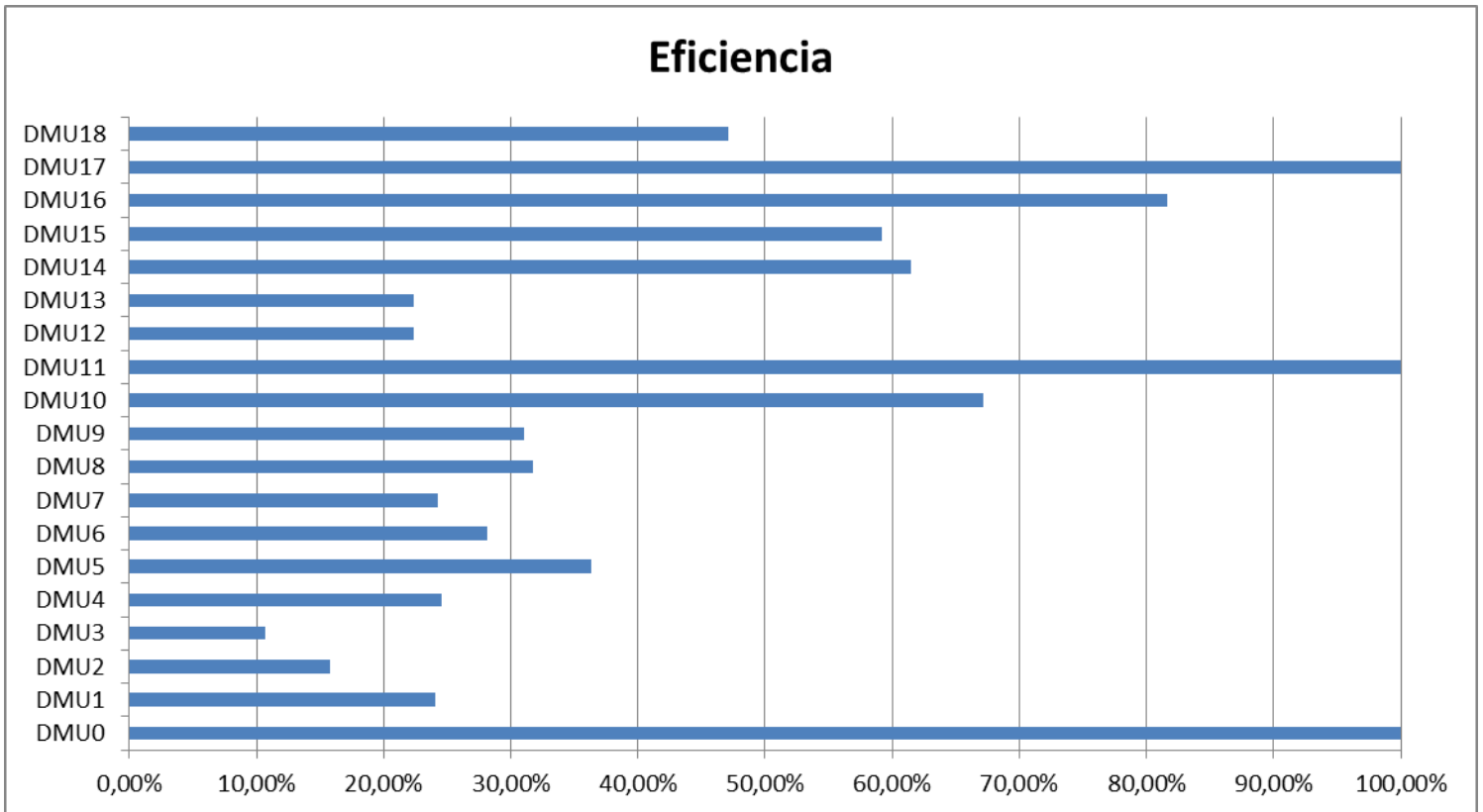


Figura 30. Eficiencia por alternativas

Como se puede ver en los resultados obtenidos, 3 alternativas logran llegar al 100% de eficiencia. La alternativa 0 (actual) logra este puntaje debido a que no tiene un costo de redistribución, lo que genera una gran ventaja en comparación de las otras opciones de distribución. Para verificar si la eficiencia del DMU 0 se debía a este costo se hizo una prueba que no tenía en cuenta ningún costo de redistribución. Los resultados obtenidos fueron:

DMU	Eficiencia
DMU0	11,30%
DMU1	6,57%
DMU2	9,78%
DMU3	7,16%
DMU4	16,11%
DMU5	36,31%
DMU6	28,19%
DMU7	24,29%
DMU8	31,78%
DMU9	31,06%
DMU10	67,21%
<b>DMU11</b>	<b>100,00%</b>
DMU12	22,32%

DMU13	22,32%
DMU14	61,49%
DMU15	59,16%
DMU16	81,68%
<b>DMU17</b>	<b>100,00%</b>
DMU18	47,11%

Tabla 51. Corrida sin costo de redistribución

Se evidencia como la eficiencia de la planta actual cae en un 88.7% pasando de un 100% a un 11.3%. Este análisis se verá en profundidad más adelante en el análisis costo-beneficio.

### 8.3.3Slacks

Los slacks representan la subproducción de salidas o el exceso de entradas. Representan las mejoras necesarias para que una alternativa ineficiente pase a ser eficiente.

	Costo redistribución	Costo inventario en pasillo	Puntaje de adyacencia	Accesibilidad	Flexibilidad
DMU0	0	0	0	0	0
DMU1	0	28,10189	0	0	0
DMU2	0	0	415,2383	0	0
DMU3	0	0	33,1114	0	0
DMU4	0	0	103,4063	0	0
DMU5	76620,8267	676,1296	0	0	0
DMU6	0	0	610,6441	0	0
DMU7	52885,3940	466,6797	0	0	0
DMU8	0	0	852,1683	0	0
DMU9	60888,2888	537,3001	0	0	0
DMU10	61393,2072	541,7556	0	0	0
DMU11	0	0	0	0	0
DMU12	0	0	271,8585	0	0
DMU13	0	0	49,5239	0	0
DMU14	0	0	438,9420	0	0
DMU15	0	0	820,2329	0	0
DMU16	0	0	1996,3362	0	0
DMU17	0	0	0	0	0
DMU18	0	0	1414,8699	0	0

Tabla 52. Slacks

### 8.3.4 Grupos de referencia

Los grupos de referencia de una unidad ineficiente son los grupos de unidades eficientes a las que más se parece la unidad ineficiente, esto haciendo una comparación al calcular los puntajes de eficiencia. Contienen las unidades eficientes que tienen una orientación similar tanto de entradas como de salidas.

Con esta información se puede determinar qué medidas de una alternativa eficiente debe emular una determinada alternativa ineficiente

DMU	Grupos de referencia (Peer group)	Frecuencias
DMU0	DMU0	5
DMU1	DMU0,DMU11,DMU17	0
DMU2	DMU0,DMU11,DMU17	0
DMU3	DMU0,DMU11,DMU17	0
DMU4	DMU0,DMU11,DMU17	0
DMU5	DMU11,DMU17	0
DMU6	DMU11,DMU17	0
DMU7	DMU11,DMU17	0
DMU8	DMU11,DMU17	0
DMU9	DMU11,DMU17	0
DMU10	DMU11,DMU17	0
DMU11	DMU11	17
DMU12	DMU11,DMU17	0
DMU13	DMU11,DMU17	0
DMU14	DMU11,DMU17	0
DMU15	DMU11,DMU17	0
DMU16	DMU11,DMU17	0
DMU17	DMU17	17
DMU18	DMU11,DMU17	0

Tabla 53. Grupos de referencia

## **9. Análisis costo-beneficio**

Por medio del análisis costo-beneficio se busca determinar qué tan rentable es la propuesta seleccionada en comparación con la alternativa actual. La comparación a realizar evidencia cual es la distribución más conveniente para la empresa en términos económicos.

### **9.1 Costo de redistribución**

El costo de redistribución ya se conoce y es de \$ 4.080.000 para la alternativa propuesta. Este costo es equivalente al costo de inversión del proyecto.

### **9.2 Costo de oportunidad al parar la producción para implementar el cambio**

El costo de oportunidad se entiende como aquel costo en el que se incurre al tomar una decisión en detrimento de otra. Es aquel valor que se sacrifica por elegir una alternativa A y despreñar una alternativa B. En el proyecto planteado, tomar la decisión de redistribuir la planta significa renunciar al beneficio que ofrece el camino descartado. Este beneficio es la ganancia obtenida de la producción de la planta.

Se conoce gracias a información brindada por Envapac que la demanda promedio mensual del vaso de poliestireno cristal es de 300.000 unidades, de las cuales en promedio 250.000 son demandas por Crepes & Waffles y las otras 50.000 por otros clientes. Debido a esto Envapac estableció un precio de venta especial para Crepes & Waffles. El precio de venta unitario para Crepes es de \$ 153.9 mientras que para los otros clientes es \$ 160.7. Por otro lado, se tiene un costo unitario de \$ 130.7. Se conoce también que en una hora la planta tiene capacidad para producir 1.200 unidades de este producto. El tiempo que se estimó para la redistribución de planta es de 6 horas 42 minutos por lo que en ese lapso de tiempo se alcanzarían a producir 8.040 unidades.

Para determinar el costo de oportunidad fue necesario considerar algunos supuestos, estos son:

1. Como no se puede conocer el momento en el que se realizará la redistribución se asume que la empresa tiene previsto fabricar vasos de poliestireno cristal durante el tiempo de la redistribución.
2. Debido a que de las 300.000 unidades demandadas mensualmente 250.000 son demandadas por Crepes & Waffles, se asume que durante el tiempo de duración de la redistribución el 83.3% del vaso de 9 oz es demandado por Crepes.

Teniendo en cuenta estos supuestos, se determina que de las 8.040 unidades 6697 serían para Crepes y 1343 para otros clientes.

Con estos datos es posible calcular el costo de oportunidad.

- Venta Crepes =  $6697 * 153.9 = \$ 1.030.668$
- Venta otros =  $400 * 160.7 = \$ 215.820$
- Costo total durante las 2 horas del proceso =  $130.7 * 8040 = \$ 1.050.828$
- Ganancia total durante las 2 horas =  $(307.800 + 64.280 - 313.680) = \$ 58.400$

El costo de oportunidad entonces es igual a  $(1.030.668 + 215.820 - 1.050.828) = \$ 195.660$

### 9.3 Costo anual de inventario en pasillo

Se tiene un costo actual diario de \$ 11.811 para la planta actual y de \$ 6.883 para la alternativa seleccionada, por lo que el costo anual de inventario en pasillo para la distribución actual es de \$ 4.251.951 y para la propuesta es de \$ 2.477.927.

### 9.4 Beneficio de disminución de distancias de viaje de los operarios

Debido a que el DEA dio como resultado una eficiencia de 100% tanto para la alternativa 11 como para la alternativa 17 se tuvieron en cuenta ambas para la comparación de beneficios con la situación actual.

Con base en la asignación de turnos a los operarios que realiza Envapac se determinaron las distancias recorridas por estos, esta información es la base para decidir entre la alternativa 11 y la alternativa 17.

La tabla que se muestra a continuación muestra las distancias en metros que debe recorrer cada operario dependiendo de la alternativa para cumplir con sus asignaciones. Esto sin tener en cuenta el número de viajes que realiza debido a que es una medida muy variable que no se tendrá en consideración para no alterar los resultados.

Operario	Alternativa 0	Alternativa 11	Alternativa 17
Supervisor Topformer	15.44	9.28	9.36
Operario 1 inyección	15.44	9.28	9.36
Operario 2 inyección	13.43	12.38	13.25
Operario 3 inyección	87.35	68.96	76.43
Auxiliar Termoformadora	2.38	2.38	13.1
Supervisor Termoformadora	2.38	2.38	13.1
Distancia total	136.42	104.66	134.6

Tabla 54. Distancia de recorrido por los operarios (metros)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 54, se decide elegir la **Alternativa 11** como la propuesta seleccionada. Se demuestra que si se utiliza esta alternativa un operario estaría recorriendo 31.76 m menos, realizando todos los recorridos necesarios para cumplir con su asignación.

### 9.5 Ahorro en horas hombre

Gracias a la información brindada por Envapac es posible calcular el beneficio que tendría la compañía al implementar la propuesta en cuanto ahorro en horas hombre. Cabe aclarar que esta situación se podría aprovechar utilizando a los operarios en otras labores sin necesidad de despedirlos. El salario promedio de un operario de Envapac es de \$ 890.000 mensuales. En un mes un operario labora realmente 22 días por lo que dividiendo los \$ 890.000 entre 22 días se tiene un valor de \$ 40.454 por día, de los cuales realmente laborados son 7 horas diarias lo que da una hora hombre de \$ 5.779.

Se hace un supuesto de que durante un turno el operario tiene que realizar todos los recorridos entre sus máquinas asignadas en promedio unas 15 veces. Esto quiere decir que durante un turno un operario recorrería 476.4 metros menos con la propuesta seleccionada. Considerando que la velocidad promedio de una persona caminando es de 4 km/h., es decir, 66,6 m/min, cada operario estaría ahorrando 7 minutos 9 segundos por turno. Lo que en horas hombre equivale a \$ 115.58

Por último se considera que en un día se tienen 3 turnos de 7 operarios cada uno lo que equivale a que en un día la empresa estaría ahorrando en valor de hora-hombre \$ 2.427,18

### 9.6 Costos anuales

	Planta actual	Propuesta seleccionada
Costo de redistribución	\$ 0	\$ 4.080.000
Costo de parar la producción	\$ 0	\$ 195.660
Costo de inventario en pasillo	\$ 4.251.951	\$ 2.477.927
Valor mano de obra	\$ 224.280.000	\$ 219.786.003
Costo total	\$ 228.531.951	\$ 226.548.158

Tabla 55. Primer año

	Planta actual	Propuesta seleccionada
Costo de redistribución	\$ 0	\$ 0
Costo de parar la producción	\$ 0	\$ 0
Costo de inventario en pasillo	\$ 4.251.951	\$ 2.477.927
Valor mano de obra	\$ 224.280.000	\$ 219.786.003
Costo total	\$ 228.531.951	\$ 222.272.498

Tabla 56. Segundo año

La empresa se estaría ahorrando **\$ 1.983.793** en el primer año, si implementa la propuesta de distribución seleccionada y a partir del segundo año la ganancia sería de **\$ 6.259.453**.

## **10. Conclusiones**

- 1.** Con los resultados obtenidos en el análisis costo-beneficio desarrollado se evidencia que un modelo que involucra información cuantitativa por medio de un Proceso Analítico Jerárquico y posteriormente introduce información cualitativa en un modelo de Análisis Envolvente de Datos permite mejorar la distribución de planta de Envapac Ltda, minimizando costos asociados a esta.
- 2.** El Análisis Envolvente de Datos es una buena herramienta para el desarrollo del problema de distribución de planta ya que es capaz de combinar diferentes tipos de entradas y/o salidas sin necesidad de utilizar el mismo tipo de unidades, adicionalmente aborda de manera eficiente este tipo de problemas que tienen una función multiobjetivo, lo que permite una buena toma de decisión por parte del usuario.
- 3.** El Proceso Analítico Jerárquico es una buena herramienta para utilizar información cualitativa y convertirla en datos cuantitativos, siempre y cuando se tengan los expertos y/o evaluadores pertinentes para el manejo de los factores seleccionados anteriormente. Adicionalmente, brinda opciones interesantes para ponderar los evaluadores involucrados en el proceso y los factores elegidos.



## **11.Recomendaciones**

- Se recomienda desarrollar un software para la generación de alternativas de planta eficientes, ya que en la web no se consiguen herramientas que ayuden a desarrollar alternativas para su posterior análisis.
- Se recomienda hacer un análisis detallado de tiempos y movimientos de los operarios involucrados en los procesos productivos para su posterior análisis estadístico, esto con el fin de incluir dentro del DEA los resultados obtenidos.
- Se recomienda la construcción de un modelo de simulación que evalúe el comportamiento de las diferentes alternativas de distribución generadas, de manera que permita obtener indicadores relevantes para el modelo de Análisis Envoltente de Datos.

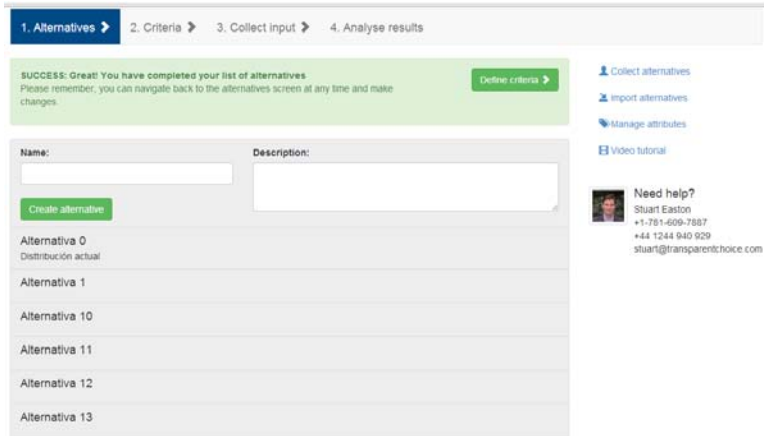
## 12. Bibliografía

- Adel El-Baz, M. (2004). A genetic algorithm for facility layout problems of different. *Computers & Industrial Engineering*.
- Afsharian, N. A. (Mayo de 2014). *D.E.A.O.S.* Recuperado el Mayo de 2014, de D.E.A.O.S.: <https://www.deaos.com/Options.aspx?PID=36364>
- Azadeh, A., & Izadbakhsk, H. (2008). A multi-variate/multi-attribute approach for plant layout design. *International Journal of Industrial Engineering*.
- Beasley, J.E. (1995) Determining teaching and research efficiencies. Imperial College, London
- Chase, R. N., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Deba, S., & Bhattacharyyab, B. (2005). Fuzzy decision support system for manufacturing. *Decision Support Systems*.
- Emrouznejad, A. (2012). *DEA zone*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2013, de Sitio web de DEA zone: <http://deazone.com/en/faq-what-is-data-envelopment-analysis>
- Envapac. (2008). *Envapac*. Recuperado el 16 de Agosto de 2013, de Sitio web de Envapac: <http://www.envapac.com.co/home/index.html>
- Envapac. (2008). *Envapac*. Recuperado el 16 de Agosto de 2013, de Sitio web de Envapac: <http://www.envapac.com.co/home/page0/page0.html>
- Envapac. (2008). *Envapac*. Recuperado el 16 de Agosto de 2013, de Sitio web de Envapac: <http://www.envapac.com.co/home/page4/page4.html>
- Ertay, T., Ruan, D., & Rifat Tuzkaya, U. (2004). Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Science*, 240.
- Finan, J.S. and Hurley, W.J. (1999), Transitive calibration of the AHP verbal scale, *European Journal of Operational Research*
- Heragu, Sunderesh S. (2008) *Facilities Design* Third edition
- Hillier, F., & Lieberman, G. (s.f.). *Introduction to operations research*. McGraw Hill.
- Javeriana, P. U. (s.f.). *Facultad de Ingeniería*. Recuperado el 26 de Agosto de 2013, de Sitio web de facultad de ingeniería: [http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/plt\\_car\\_industrial/Perfil%20del%20egresado](http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/plt_car_industrial/Perfil%20del%20egresado)
- Liang, L. Y., & Chao, W. C. (2008). The strategies of tabu search technique for facility layout optimization. *Automation in Construction*.
- Ltda, E. (2008). *Envapac*. Recuperado el 16 de Agosto de 2013, de Sitio web de Envapac: <http://www.envapac.com.co/home/page4/page4.html>

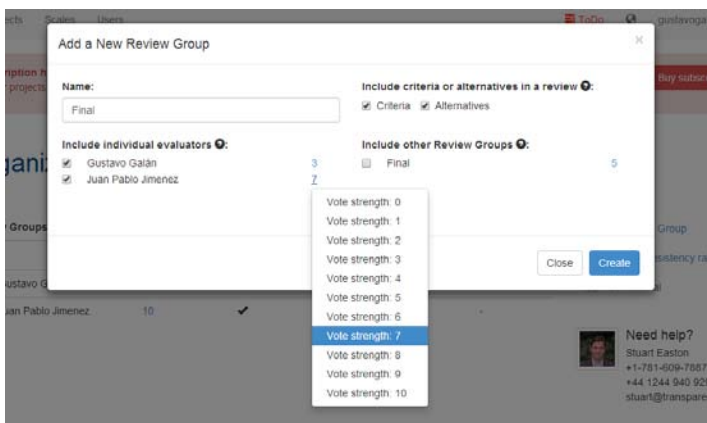
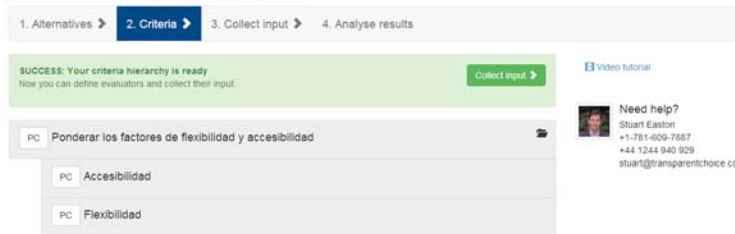
- Muther, R. (1965). *Distribución en planta*. McGraw Hill Book Company.
- Muther, R. (1984). *Systematic layout planning*. Cahners Books.
- Muther & Associates, R. (2005) Overview of Systematic Layout Planning (SLP), Consultants in Industrial Management & Engineering
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería industrial métodos y estándares*. McGraw Hill.
- Papageorgiou, L. G., & Rotstein, G. E. (1998). Continuous-Domain Mathematical Models for Optimal Process Plant.
- Pérez, G., Medina, J., & Romero, R. (2008). Una metodología, con niveles de jerarquía, propuesta para. *Nexo*.
- Pontificia Universidad Javeriana. (s.f.). *Facultad de Ingeniería*. Recuperado el 26 de Agosto de 2013, de Sitio web de facultad de ingeniería: [http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/plt\\_car\\_industrial/Perfil%20del%20egresado](http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/plt_car_industrial/Perfil%20del%20egresado)
- Poormostafa, M. (2011). *Facility Layout Simulation and Optimization: an Integration of. Modern Applied Science*.
- Russell D., KAI Yin Gau. *The facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives. Journal of manufacturing systems. Vol 15. No 5. 1996. 16p.*
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Solimanpur, M., & Jafari, A. (2008). Optimal solution for the two-dimensional facility layout. *Computers & Industrial Engineering*.
- S. P. Singh, (2006) P. R. Sharma. A review of different approaches to the facility layout problems. *International journal of manufacturing technology*. No 30. 2006. 9p.
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de operaciones aplicaciones y algoritmos*. Thomson Learning.
- Yang, T., & Chunwei, K. (2003). A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem.
- Yang, T., & Hung, C.-C. (2007). Multiple-attribute decision making methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*.
- Yang, T. (2003). Systematic layout planning a study on semiconductor water fabrication facilities

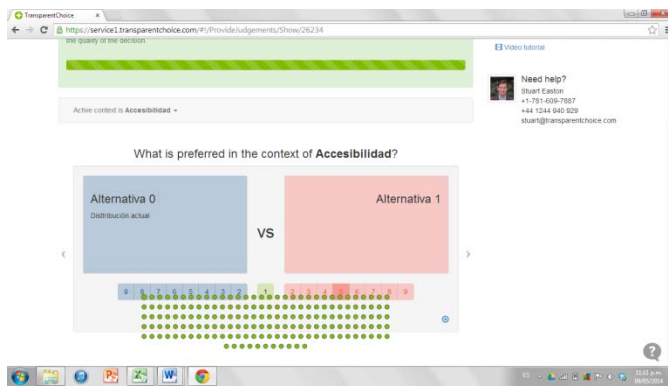
# 13. Anexos

## 13.1 Transparent Choice (Software para AHP)



### Proceso Analítico Jerárquico





### 13.2 Pesos

	Costo redistribución	Costo inventario pasillo	Puntaje de adyacencia	Accesibilidad	Flexibilidad
DMU0	8,3606E-06	0	0,000097093	82,73340583	0
DMU1	3,1196E-06	0	4,08033E-05	30,64469144	7,667090374
DMU2	1,0975E-06	1,21906E-05	0	10,52417125	2,580591046
DMU3	1,0975E-06	1,21906E-05	0	10,52417125	2,580591046
DMU4	1,0975E-06	1,21906E-05	0	10,52417125	2,580591046
DMU5	0	0	0,000179057	14,91674677	4,328320596
DMU6	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU7	0	0	0,000169228	14,09785543	4,090706841
DMU8	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU9	0	0	0,000166756	13,89191691	4,030950651
DMU10	0	0	0,000151355	12,60890682	3,658665788
DMU11	1,1178E-06	0	1,46197E-05	10,97987024	2,747087781
DMU12	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU13	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU14	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU15	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU16	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444
DMU17	1,1538E-06	0	1,33991E-05	11,41744562	0
DMU18	1,1676E-06	1,29698E-05	0	11,19682333	2,745529444

### 13.3 Mejoramientos

	Costo redistribución	Costo inventario pasillo	Puntaje de adyacencia	Accesibilidad	Flexibilidad
DMU0	0 to 0	11811 to 11811	10299.4 to 10299.4	0.012087016 to 0.012087016	0.006501345 to 0.006501345
DMU1	180000 to 43362.8987110551	11811 to 2817.2269763216	10745.8 to 2588.7168720514	0.004046066 to 0.004046066	0.015248881 to 0.015248881
DMU2	780000 to 123087.43235405	11811 to 1863.8277737611	14517.6 to 1875.7027822494	0.013353164 to 0.013353164	0.006693589 to 0.006693589
DMU3	780000 to 83047.0572033306	11811 to 1257.5240931135	12585.2 to 1306.8421878696	0.006305134 to 0.006305134	0.015544608 to 0.015544608
DMU4	780000 to 191727.962551716	11811 to 2903.2038021773	12281.2 to 2915.3749690554	0.0212138 to 0.0212138	0.008737307 to 0.008737307
DMU5	780000 to 206616.076260862	6883 to 1823.2544267994	5584.8 to 2027.9762252243	0.019918699 to 0.019918699	0.015248881 to 0.015248881
DMU6	780000 to 219883.274634907	6883 to 1940.328947836	9809 to 2154.5289605156	0.021437811 to 0.021437811	0.015248881 to 0.015248881
DMU7	780000 to 136594.941544887	6883 to 1205.3627982737	5909.2 to 1435.4835886644	0.006963373 to 0.006963373	0.035386276 to 0.035386276
DMU8	780000 to 247898.276876624	6883 to 2187.5433842844	10343 to 2435.0263296334	0.023776882 to 0.023776882	0.018791551 to 0.018791551
DMU9	780000 to 181342.391422703	6883 to 1600.2303591826	5996.8 to 1862.3191585937	0.012087016 to 0.012087016	0.035386276 to 0.035386276
DMU10	780000 to 462815.829583976	6883 to 4084.0530192648	6607 to 4440.3193667251	0.051315321 to 0.051315321	0.006842048 to 0.006842048
DMU11	780000 to 780000	6883 to 6883	8765.6 to 8765.6	0.0025417364 to 0.0025417364	0.35386276 to 0.35386276
DMU12	780000 to 174117.439558234	6883 to 1536.4747903581	9630 to 1877.8221825165	0.005732891 to 0.005732891	0.05792592 to 0.05792592
DMU13	780000 to 174117.439558234	6883 to 1536.4747903581	8634 to 1877.8221825165	0.005732891 to 0.005732891	0.05792592 to 0.05792592
DMU14	780000 to 479595.738832434	6883 to 4232.1249620303	8325.2 to 4679.9430933569	0.048027707 to 0.048027707	0.028085141 to 0.028085141
DMU15	780000 to 461418.198802986	6883 to 4071.7198235397	9045.8 to 4530.9167343778	0.044351216 to 0.044351216	0.034590437 to 0.034590437
DMU16	780000 to 637137.315806198	6883 to 5622.3283906334	9950 to 6131.2487503761	0.069434584 to 0.069434584	0.014349124 to 0.014349124
DMU17	780000 to 780000	6883 to 6883	7466.6 to 7466.6	0.087585265 to 0.087585265	0.007038082 to 0.007038082
DMU18	780000 to 367448.279268855	6883 to 3242.4955207789	11120 to 3823.6234996267	0.0212138 to 0.0212138	0.085069336 to 0.085069336

### 13.4 Puntaje de adyacencia por alternativa

Alternativa 0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	158	268,2	409,6	0	-822,4	949,2	550	598,4	362
2	0	149,2	284,2	0	-1308	619,2	399,2	537,4	658,8
3	0	0	154,8	0	-1759,2	403,2	300	431,8	852,4
4	0	0	0	0	-2035,2	266,8	132,6	273,8	1184,4
5	0	0	0	0	-1193,6	342,8	219,8	302,4	562
6	0	0	0	0	0	1270	0	392,8	927,2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	3457,6
<b>SUMA</b>	<b>10.299,40</b>								

Alternativa 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	316,6	387,4	0	-1400	587,2	380,2	518,2	690,4
2	0	335	229,4	0	-1977,6	284	228,6	366,6	1008
3	0	0	133,4	0	-1232	512,8	214,4	295,2	1144,4
4	0	0	0	0	-1190,4	668,4	212,8	130,2	1468,4
5	0	0	0	0	-1193,6	342,8	219,8	302,4	562
6	0	0	0	0	0	1270	0	392,8	927,2

7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	3457,6

**SUMA 10.745,80**

Alternativa 2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	257,2	406,4	0	-872,8	1106,4	354	300	1125,6
2	0	411,2	555,6	0	-1472,8	803,2	203,2	148,4	1430,4
3	0	0	150	0	-657,6	1036,4	421,4	555,6	619,2
4	0	0	0	0	-857,6	273,2	562,8	700	322,4
5	0	0	0	0	-1479,2	393,6	512,8	646,8	214,4
6	0	0	0	0	0	1528,8	0	519	688,8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	3457,6

**SUMA 14.517,60**

Alternativa 3	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	265,2	183,4	0	-1695,2	646	398,4	538,2	646
2	0	427	346	0	-2279,2	316	236,6	377	979,6
3	0	0	352,4	0	-727,2	1155,6	465,2	326,2	1095,2
4	0	0	0	0	-917,6	981,2	522,2	660,4	419,2
5	0	0	0	0	-1120,8	454,8	333,4	418,2	469
6	0	0	0	0	0	1468,4	0	504,8	728,8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	3457,6

**SUMA 12.585,20**

Alternativa 4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	306,4	254	0	-2362,4	1563,6	654,8	571,4	595,2
2	0	155,6	281,8	0	-1768,8	1262	512	414,4	898,4
3	0	0	123,8	0	-1133,6	970	416,8	554	601,6
4	0	0	0	0	-1380,8	1074,8	545,2	692,2	338
5	0	0	0	0	-943,2	384,2	496,8	643,8	259,6
6	0	0	0	0	0	384	0	401,6	903,2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3457,6
<b>SUMA</b>		<b>12.281,20</b>								

Alternativa 5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	153,2	419	323,8	0	-1269,6	214,4	227	632,6	1030,4	
2	0	275,4	173	0	-1872,8	539,6	95,4	479,4	732	
3	0	0	79	0	-1238,4	960,4	158	219	663,6	
4	0	0	0	0	-2349,6	328,8	520,6	312,8	393,6	
5	0	0	0	0	-1641,6	348,4	524,6	305,6	189,6	
6	0	0	0	0	0	1493,6	0	514,4	1201,6	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448	
<b>SUMA</b>		<b>5.584,80</b>								

Alternativa 6	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	153,2	317,4	380,2	0	-1168	685,6	352,4	488,2	742,8	
2	0	477	538,2	0	-1069,6	360,4	494,4	346	452,4	
3	0	0	120,6	0	-924	1287,6	414,4	431,8	976,4	
4	0	0	0	0	-1380,8	1425,6	292	547,6	1117,6	
5	0	0	0	0	-2133,6	501,6	139,6	735,8	619,8	
6	0	0	0	0	0	865,2	0	200	573,2	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448	
<b>SUMA</b>		<b>9.809,00</b>								

Alternativa 7	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	153,2	318,2	366	0	-1720,8	596,8	354	537,4	850,8	
2	0	281	196,8	0	-2298,4	301,6	492,2	374,6	504,8	
3	0	0	133,4	0	-1088,8	904,8	605,6	224,6	152,8	
4	0	0	0	0	-1638,4	636,4	658	162,8	355,6	
5	0	0	0	0	-1520,8	338,2	515,2	305,6	198,4	
6	0	0	0	0	0	1493,6	0	514,4	1201,6	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448	
<b>SUMA</b>		<b>5.909,20</b>								



Alternativa 8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	246,8	369	0	-1266,4	1042,8	527	313,6	736,4
2	0	391,4	518,2	0	-936,8	746	676,2	169	434,8
3	0	0	201,6	0	-1177,6	995,2	272,2	566,8	903,2
4	0	0	0	0	-1336,8	1073,2	156,4	685	1154
5	0	0	0	0	-949,6	384,2	283,4	646	529,4
6	0	0	0	0	0	380,8	0	408	598,4
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>10.343,00</b>								

Alternativa 9	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	187,4	236,6	0	-1777,6	638	592,2	237,4	316
2	0	347,6	165	0	-2409,6	328,8	481,8	387,4	554
3	0	0	182,6	0	-1035,2	1012,8	529,4	299,2	176,4
4	0	0	0	0	-1743,2	657,2	366	471,4	720,8
5	0	0	0	0	-1540	364,4	280,2	603,2	485
6	0	0	0	0	0	1522,4	0	515,2	1242,8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>5.996,80</b>								

Alternativa 10	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	153,2	124,6	302,4	0	-1092	952,4	566	273	647,6
2	0	280,2	155,6	0	-1664	642,8	415,2	424,6	606,4
3	0	0	184,2	0	-1565,6	709,6	695,2	142	417,6
4	0	0	0	0	-2267,2	350,8	516,8	314,4	400
5	0	0	0	0	-1540	364,4	280,2	603,2	485
6	0	0	0	0	0	1522,4	0	515,2	1242,8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>6.607,00</b>								

Alternativa 11	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	169,8	287,4	123,8	0	-1028,8	898,4	544,4	295,2	595,2
2	0	128,6	280,2	0	-1616	1222,4	399,2	439	924
3	0	0	408,8	0	-2165,6	1449,2	265,8	569	1176,4
4	0	0	0	0	-993,6	642,8	665,2	171,4	363,6
5	0	0	0	0	-1111,2	486,6	274,6	565,2	452,4
6	0	0	0	0	0	390,4	0	421,4	622,4
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>8.765,60</b>								

Alternativa 12	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	169,8	466,8	308	0	-892	695,2	647,6	193,6	370
2	0	317,4	158,8	0	-1225,6	1016	506,4	335	711,2
3	0	0	168,2	0	-1006,4	919,2	190,4	662	1100
4	0	0	0	0	-1730,4	1271,6	341,2	423	960,4
5	0	0	0	0	-1048	461,2	304	531,8	421,4
6	0	0	0	0	0	390,4	0	421,4	622,4
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>9.630,00</b>								

Alternativa 13	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	204	303,2	170,6	0	-2216	398,4	469	365,2	484
2	0	203,2	335,8	0	-1368	770	264,4	554	916
3	0	0	136,6	0	-952,8	1012,8	476,2	356,4	682,4
4	0	0	0	0	-1511,2	738	613,6	224,6	416
5	0	0	0	0	-1060,8	471,4	181,8	690,6	576,2
6	0	0	0	0	0	1522,4	0	515,2	1242,8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>8.634,00</b>								

Alternativa 14	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	182,6	177	142	0	-1482,4	852,4	557,2	278,6	530,4
2	0	364,4	327,8	0	-740	1220,8	377,8	459,6	901,6
3	0	0	262,8	0	-857,6	514,4	392	451,6	665,2
4	0	0	0	0	-1825,6	596,8	635,8	194,4	279,2
5	0	0	0	0	-1362,4	117,4	529,4	341,2	223,8
6	0	0	0	0	0	890,4	0	640,6	1038
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>8.325,20</b>								

Alternativa 15	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,2	154,8	120,6	0	-869,6	720,8	483,4	355,6	487,2
2	0	327	254,8	0	-1559,2	992	638,2	237,4	687,2
3	0	0	272,2	0	-574,4	898,4	324,6	512	795,2
4	0	0	0	0	-1317,6	488,8	599,2	242	246
5	0	0	0	0	-949,6	544,4	437,4	383,4	380,2
6	0	0	0	0	0	620,8	0	576,2	927,2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>9.045,80</b>								

Alternativa 16	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	157,2	339,8	261,2	0	-1672,8	812,8	682,6	171,4	806,4
2	0	338,2	173,8	0	-1095,2	470	539	305,6	352,4
3	0	0	176,2	0	-1152,8	1173,2	367,4	481,8	849,2
4	0	0	0	0	-584	828,8	425,4	417,4	600
5	0	0	0	0	-574,4	435	285,8	561,2	445,2
6	0	0	0	0	0	620,8	0	576,2	927,2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448
<b>SUMA</b>	<b>9.950,00</b>								

Alternativa 17	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	----

1	105,6	156,4	141,2	0	-1387,2	604,8	400	430,2	625,6
2	0	60,4	234,2	0	-946,4	801,6	358,8	485,8	720,8
3	0	0	273,8	0	-756	911,2	345,2	490,6	739,6
4	0	0	0	0	-1854,4	362	541,4	293,6	341,2
5	0	0	0	0	-1374,4	303,2	670,6	166,6	141,2
6	0	0	0	0	0	1281,2	0	380,2	970
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448

SUMA	7.466,60
------	----------

Alternativa 18	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	200	200	558,8	0	-1377,6	1558,8	288,2	560,4	1249,2
2	0	0	356,4	0	-1028,8	1149,2	470,6	375,4	846
3	0	0	357,2	0	-1051,2	1154	479,4	369	834,8
4	0	0	0	0	-920,8	442,8	433,4	406,4	470
5	0	0	0	0	-1717,6	432,6	631	212	285,8
6	0	0	0	0	0	881,2	0	638,2	927,2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	448

SUMA	11.120,00
------	-----------