



# **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

INSTITUTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ

JEFATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS

---

## **PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE UNA PLANTA PARA UN SISTEMA DE MOLDEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

---

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MIREYA HERNÁNDEZ IBÁÑEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ÁLVARO JESÚS MENDOZA JASSO

CODIRECTOR DE TESIS:

M.P.I.I.O. FERNANDO ITURBIDE JIMÉNEZ

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, ENERO DE 2020.

## **Dedicatoria**

A mis padres: **Laurentino y Enedina**, porque sin importar el camino que debíamos de recorrer nunca me negaron cumplir mis sueños, porque cada esfuerzo que hicieron todos los días valió la pena, por darme lo mejor de ustedes y hacerme una persona de bien.

A mis hermanas y hermanos: **Virginia, Guadalupe, Ángel y Alejandro**, por ser las personas más valientes y ejemplares de mi vida, por apoyarme en las metas que me propongo. Por darme fuerzas y motivarme a seguir adelante porque juntos con papá y mamá somos un gran equipo.

A mis abuelos **Serafín y María**, por apoyar a mi familia en todo momento, por estar para nosotros siempre, por darnos fuerzas y sostenernos cuando más hemos necesitado de ustedes.

A **Eduardo**, por brindarme su amistad, confianza y amor cada día, por apoyarme en todo momento, por estar para mí en mis días tristes y felices, por el tiempo que me da y por la felicidad que me ocasiona al estar a su lado.

## **Agradecimientos**

A **Dios**, por permitirme cumplir una meta más con mi familia, por darme salud y vida.

A **mi padre, madre, hermanas, hermanos y abuelitos**, por apoyarme en mis sueños siempre, por darme su amor, confianza y amistad.

A mi director de tesis el **Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso**, por inspirarme todos los días a ser una mejor persona, a ser responsable y dedicada, gracias por su ejemplo.

A mi co-director de tesis el **M.P.I.I.O. Fernando Iturbide Jiménez**, por sus enseñanzas y consejos que me orientaron para la realización de este trabajo.

A mis revisores de tesis, **Dr. Alfredo, Dr. Ignacio y Mtro. Salvador**, por las enseñanzas que me dieron en mi estancia en la universidad y por orientarme durante el desarrollo de mi trabajo de Tesis.

A la **Secretaría de Educación Pública (SEP)**, quien a través del “**Apoyo y Fortalecimiento de Cuerpos Académicos**”, con el proyecto titulado “**Diseño y desarrollo de unidades modulares de techo y muro en poliestireno expandido (EPS), como sistema alternativo de construcción**”, contribuyó con el financiamiento para la realización de este trabajo de tesis.

A la **Universidad Tecnológica de la Mixteca**, por ser la casa de estudios que me permitió formarme como profesionista, por enseñarme a ser perseverante, y a todos los que forman parte de esta Universidad por los beneficios que me otorgaron.

**Índice**

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Lista de tablas .....	vi
Lista de figuras .....	viii
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	6
1.4. Justificación.....	7
1.5. Objetivos .....	8
1.5.1. Objetivo general .....	8
1.5.2. Objetivos específicos.....	8
1.6. Limitación del caso de estudio.....	8
1.7. Metodología .....	9
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1. Distribución de planta .....	12
2.1.1. Tipos de distribución de planta.....	12
2.1.2. Metodologías para la distribución de planta.....	15
2.1.3. Evaluación de alternativas .....	16
2.1.4. Evaluación de las propuestas de distribución.....	17
2.1.5. Diagrama de flujo del proceso.....	18
2.1.6. Gráfico P-Q .....	18
2.1.7. Tabla de relación de actividades.....	19
2.2. Sistemas alternativos de construcción.....	20
2.2.1. Sistema alternativo: EPS en la industria de la construcción.....	22
2.2.2. Sistemas de moldeo de EPS.....	24
2.2.3. ICF y sus variedades.....	24
2.2.4. Casetón de EPS .....	25
<b>CAPÍTULO III. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE EPS.....</b>	<b>26</b>
3.1. Materia prima .....	26
3.2. Almacenamiento .....	27
3.3. Pre-Expansión .....	27
3.4. Reposo intermedio de partículas pre-expandidas.....	30
3.5. Expansión.....	31
3.5.1. Expansión a pieza moldeada .....	31
3.5.2. Expansión a bloque .....	32
3.6. Almacenamiento .....	32

3.7. Regulaciones .....	33
<b>CAPÍTULO IV. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....</b>	<b>36</b>
4.1. Macrolocalización.....	36
4.2. Microlocalización.....	37
4.3. Selección del sitio de instalación .....	39
<b>CAPÍTULO V. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PSD .....</b>	<b>43</b>
5.1. Definición.....	43
5.1.1. Análisis Producto-Cantidad.....	43
5.1.2. Relación entre actividades.....	53
5.1.2.1. Diseño del departamento de producción y servicios de apoyo.....	54
5.1.2.2. Servicios complementarios.....	64
5.1.2.3. Diagrama de relación de actividades .....	68
5.1.3. Diagrama de relación entre actividades .....	70
5.2. Análisis.....	71
5.2.1. Requerimientos de espacio.....	71
5.2.2. Diagrama relacional de espacios .....	72
5.3. Síntesis .....	72
5.3.1. Factores influyentes.....	72
5.3.2. Limitaciones prácticas .....	79
5.3.3. Generación de alternativas .....	80
5.4. Evaluación.....	82
5.5. Selección .....	86
5.6. Implantación.....	87
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
6.1. Resultados .....	88
6.2. Conclusiones .....	98
Bibliografía .....	99
Anexo A .....	104

**Lista de tablas**

Tabla 1. Materiales usados en la construcción (Paolella & Cocci, 2011)..... 21

Tabla 2. Construcción con EPS y un sistema tradicional (Fuente: Propia)..... 22

Tabla 3. Clasificación de la espuma rígida de poliestireno expandido (ONNCCE, 2010)..... 23

Tabla 4. Especificaciones para la espuma rígida de EPS (ONNCCE, 2010). ..... 23

Tabla 5. Dispositivos de alimentación (BASF, 2001). ..... 30

Tabla 6. Factores para la selección del sitio (Sule, 1994). ..... 39

Tabla 7. Evaluación de servicios de transporte (Fuente: Propia). ..... 40

Tabla 8. Evaluación de mano de obra (Fuente: Propia)..... 40

Tabla 9. Evaluación de disponibilidad de terreno (Fuente: Propia). ..... 40

Tabla 10. Evaluación de servicios adecuados (Fuente: Propia). ..... 40

Tabla 11. Evaluación de consideraciones geográficas y meteorológicas (Fuente: Propia). ..... 41

Tabla 12. Evaluación de impuestos y consideraciones legales (Fuente: Propia)..... 41

Tabla 13. Porcentaje de piezas de EPS requeridas (Fuente: Propia). ..... 47

Tabla 14. Conjunto de símbolos del diagrama de proceso (Niebel & Freivalds, 2009)..... 48

Tabla 15. Consideraciones para la operación de la planta (Fuente: Propia)..... 51

Tabla 16. Tiempo para la producción bimestral de piezas de EPS (Fuente: Propia)..... 52

Tabla 17. Información de Línea de EPS de diferentes proveedores (Fuente: Propia)..... 55

Tabla 18. Características del pre-expansor de los diferentes proveedores (Fuente: Propia) ..... 56

Tabla 19. Características del silo de los diferentes proveedores (Fuente: Propia) ..... 56

Tabla 20. Características de la máquina de moldeo de forma de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)..... 56

Tabla 21. Características del molde de los diferentes proveedores (Fuente: Propia) ..... 56

Tabla 22. Características del compresor de aire de los diferentes proveedores (Fuente: Propia) ..... 57

Tabla 23. Características del acumulador de vapor de los diferentes proveedores (Fuente: Propia) 57

Tabla 24. Características de la caldera de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)..... 57

Tabla 25. Factores relevantes que determinan la adquisición de equipo y maquinaria (Baca, 2010) 58

Tabla 26. Dimensiones de la maquinaria de producción de EPS (Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd, 2019)..... 58

Tabla 27. Características del embalaje de las perlas de Poliestireno expandible (BASF, 2001) ..... 62

Tabla 28. Información de las piezas de EPS (Fuente: Propia). ..... 63

Tabla 29. Características de la materia prima según BASF (2001)..... 63

Tabla 30. Requerimientos de espacio para almacén de materias primas (Servicios Globales, 2019). .....	63
Tabla 31. Características para el almacenamiento de producto terminado (Fuente: Propia).....	64
Tabla 32. Área requerida para los departamentos de oficina (Sule, 1994).....	65
Tabla 33. Dotación mínima de cajones por el género del inmueble (Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca, 1998).....	67
Tabla 34. Área requerida para estacionamiento (Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca, 1998). .....	67
Tabla 35. Valores de relación del diagrama relacional de actividades (Niebel & Freivalds, 2009)..	68
Tabla 36. Ponderaciones de los evaluadores del diagrama de relación de actividades (Fuente: Propia).....	68
Tabla 37. Evaluación de la relación entre departamentos por medio del diagrama de relación de actividades (Fuente: Propia).....	69
Tabla 38. Área para los departamentos de la planta (Fuente: Propia).....	71
Tabla 39. Requerimientos de mano de obra (Fuente: Propia). .....	73
Tabla 40. Valores obtenidos de la tabla de relaciones (Fuente: Propia). .....	80
Tabla 41. Cálculo de bloques para cada departamento (Fuente: Propia).....	83
Tabla 42. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (a) (Fuente: Propia).....	85
Tabla 43. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (b) (Fuente: Propia).....	85
Tabla 44. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (c) (Fuente: Propia).....	85
Tabla 45. Resultados obtenidos de las evaluaciones de las alternativas (Fuente: Propia).....	86
Tabla 46. Resultados de la evaluación por alternativas para la selección del sitio (Fuente: Propia)	88
Tabla 47. Resultados de la evaluación por alternativas para la selección de la maquinaria (Fuente: Propia).....	88
Tabla 48. Área final para los departamentos de la planta (Fuente: Propia).....	89

**Lista de figuras**

Figura 1. Fotografía del proceso de los diez Galones de Dow Chemical (Chávez, 2014). ..... 3

Figura 2. Proceso de producción de EPS (DuBois, 1987). ..... 4

Figura 3. Diagrama de la planeación sistemática de la distribución (PSD) (Muther, 1968). ..... 11

Figura 4. Distribución por proceso (Groover, 2007). ..... 13

Figura 5. Distribución por producto (Groover, 2007). ..... 13

Figura 6. Distribución por posición fija (Groover, 2007). ..... 14

Figura 7. Distribución por tecnología de grupo (Groover, 2007). ..... 14

Figura 8. Diagrama P-Q de diferentes productos (Muther, 1968). ..... 18

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de preparación de anuncios (Niegel & Freivalds, 2009). . 19

Figura 10. Tabla de relación de actividades (Niegel & Freivalds, 2009). ..... 20

Figura 11. Estructura química del EPS (BASF, 2001). ..... 23

Figura 12. Forma de: a) núcleo sólido, b) núcleo sólido armable, c) núcleo parrilla o en cuadrícula (ICF México, 2019). ..... 25

Figura 13. Casetón de EPS (Estrutec, 2011). ..... 25

Figura 14. Diagrama de flujo de fabricación de piezas de EPS (BASF, 2001). ..... 26

Figura 15. Aumento del volumen del poliestireno expandido (BASF, 2001). ..... 27

Figura 16. Pre-expansor de trabajo a) Continuo, b) Discontinuo (BASF, 2001). ..... 28

Figura 17. Densidad aparente en función del tiempo de expansión (BASF, 2019). ..... 29

Figura 18. Proceso de almacenamiento intermedio de las perlas pre-expandidas (IMPI, 2000). ..... 31

Figura 19. Proceso de expansión final (IMPI, 2000). ..... 31

Figura 20. Proceso de fabricación de piezas de moldeo de EPS (Fuente: Propia). ..... 33

Figura 21. Municipio de Huajuapán de León y agencias propuestas para la instalación de la planta, Editado de Archivo México-Oaxaca (2016). ..... 36

Figura 22. Evaluación de alternativas para la selección del sitio de instalación (Fuente: Propia). ... 42

Figura 23. Larguero de EPS (Fuente: Propia). ..... 44

Figura 24. Esquinero de EPS (Fuente: Propia). ..... 45

Figura 25. Casetón Térmico Estructural (Estrutec, 2011). ..... 45

Figura 26. Gráfico P-Q de los productos de EPS (Fuente: Propia). ..... 47

Figura 27. Diagrama de flujo de procesos de la fabricación de ICF (Larguero) (Fuente: Propia). ... 49

Figura 28. Hoja de Ruta para el larguero (Fuente: Propia). ..... 50

Figura 29. Evaluación de alternativas para adquisición de maquinaria para una línea de producción de EPS (Fuente: Propia).....	59
Figura 30. Diagrama de relación de Actividades (Fuente: Propia). ....	70
Figura 31. Diagrama de relación entre actividades (Fuente: Propia). ....	71
Figura 32. Diagrama relacional de espacios de la Figura 31 (Fuente: Propia).....	72
Figura 33. Intensidad de recorrido trazada directamente sobre el diagrama relacional de espacios por clases de productos (Fuente: Propia).....	75
Figura 34. Hoja de trabajo de relación de actividades de la Figura 30 (Fuente: Propia). ....	80
Figura 35. Diagrama adimensional de bloques para la alternativa A (Fuente: Propia). ....	81
Figura 36. Diagrama adimensional de bloques B (Fuente: Propia).....	81
Figura 37. Diagrama de relación entre actividades B (Fuente: Propia). ....	81
Figura 38. Diagrama adimensional de bloques C (Fuente: Propia).....	82
Figura 39. Diagrama de relación entre actividades C (Fuente: Propia). ....	82
Figura 40. Representación en red: a) Alternativa A, b) Alternativa B y c) Alternativa C (Fuente: Propia). ....	84
Figura 41. Distribución de planta para un sistema de moldeo de poliestireno expandido (EPS) (Fuente: Propia).....	90
Figura 42. Distribución del área de producción (Fuente: Propia). ....	91
Figura 43. Distribución del área de recepción y envíos (Fuente: Propia). ....	92
Figura 44. Distribución del área de almacén de materia prima (Fuente: Propia).....	93
Figura 45. Distribución del área de almacén de producto terminado (Fuente: Propia).....	94
Figura 46. Distribución del área de oficinas (Fuente: propia).....	95
Figura 47. Distribución del área de estacionamiento (Fuente: Propia). ....	96
Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ICF (Larguero) a partir de la distribución final (Fuente: Propia). ....	97

# CAPÍTULO I. GENERALIDADES

---

## 1.1. Introducción

En la industria de la construcción entre los principales materiales empleados se utilizan los plásticos debido especialmente a su versatilidad; entre sus principales aplicaciones se encuentran componentes semi-estructurales, pinturas y recubrimientos, sistemas de anclado y fijación y aislantes térmicos, así como acústicos. Entre los productos de plástico que se utilizan, se encuentran los fabricados a base de poliestireno expandido o EPS (Del inglés Expanded Polystyrene). González (2005), menciona que las ventajas que hacen que este material sea de gran uso en la construcción son la resistencia a los factores del medio, la facilidad de procesado, la facilidad de maquinado en obra, las propiedades de aislamiento eléctrico, térmico y acústico, la baja densidad y la poca demanda de mantenimiento. Los productos y materiales del EPS se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros y a la vez resistentes, son materiales con excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío, además su utilización supone un ahorro de energía significativo y una drástica disminución de emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>), contribuyendo de esta forma a paliar el efecto invernadero y la lluvia ácida (Martínez, 2012).

El uso del poliestireno expandido como sistema alternativo de construcción ofrece múltiples beneficios para todos los usuarios que forman parte de su cadena de valor, para los arquitectos adaptabilidad y funcionalidad; funcionan con cualquier tipo de cimentación o estructura, se adaptan a las diferentes soluciones de suelo y techo y ofrecen flexibilidad con una amplia variedad de formas, componentes y acabados. Para los constructores ofrece velocidad, el reducido peso de los paneles de EPS hacen que la construcción sea más rápida y segura, proporcionan reducción en el costo asociado al trabajo, ya que requiere menos mano de obra y para los usuarios finales este sistema es 33% más eficiente energéticamente frente a la construcción tradicional consiguiendo mayor rendimiento térmico (CEMEX, 2017). La importancia de este producto es tan significativo que la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) y la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), estiman que el consumo nacional del unicel en México es de 125 mil toneladas anuales, de las cuales el 25% se destinan a la fabricación de productos

desechables para la industria alimenticia; el 75% restante se divide en el sector de la construcción y embalaje (UNAM, 2018).

Una empresa del sector de la construcción establecida actualmente en la Ciudad de Huajuapán de León, usa un sistema alternativo a base de EPS; este material de construcción es transportado desde estados como Chihuahua y Estado de México. Actualmente, en la región Mixteca no existen empresas dedicadas a la producción de piezas de EPS por lo cual, todo el mercado es abastecido por empresas ubicadas en otros estados, además del aumento del costo de transporte y la existencia de mercado son razones que han llevado a esta empresa a la necesidad de una propuesta de diseño de una planta en la Heroica Ciudad de Huajuapán de León. Por ello, diseñar una distribución de planta permitirá satisfacer la necesidad de la empresa, también proporcionará a los interesados información sobre el proceso de producción de las piezas de EPS, la maquinaria, insumos y servicios necesarios, además de una propuesta del sitio de instalación y las dimensiones de éste.

## **1.2. Antecedentes**

En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban con resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), aceites (de semillas), derivados del almidón o del carbón, estas resinas ya se utilizaban en Egipto, Babilonia, India, Grecia y China (Sisfix, 2011).

En 1866, Marcelin Berthelot identificó la formación de metastyrol/styroloxyl de estireno como un proceso de unión de varias cadenas, después en el año 1926 se inicia con la expansión de materiales poliméricos y el diseño de máquinas para procesarlos, que estimularon la creación de máquinas con aplicación industrial, en la construcción y fabricación en serie de inyectores de émbolo impulsada por la síntesis del poliestireno y acrílico (Instituto Mexicano del plástico Industrial [IMPI], 2000).

Ya para el año 1949, el químico Fritz Stastny trabajaba en el desarrollo de diferentes productos sintéticos para su uso en aglutinantes, plastificantes y productos similares a la goma, se orientó a la investigación de productos especializados en el sector de las espumas. Su invento más importante fue el desarrollo de un proceso para transformar el poliestireno en una espuma porosa con lo cual obtuvo perlas de poliestireno pre-expandidas mediante la incorporación de hidrocarburos alifáticos como el pentano. Estas perlas son la materia prima para piezas de moldeo o en hojas de extrusión. BASF y Stastny solicitaron una

patente titulada “Proceso para la producción de materiales porosos o piezas moldeadas porosas de polímeros” que fue presentada en 1950 y otorgada en 1952 (Foronda, 2017).

### ***Procesamiento del poliestireno***

El poliestireno expandible fue sintetizado por primera vez a escala industrial en el año 1930, desarrollado por la empresa alemana BASF y bajo la iniciativa del Dr. F. Stastny, quien desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: poliestireno expandible, bajo la marca Styropor (Foronda, 2017).

En un inicio el procesamiento para los plásticos era principalmente manual, por ejemplo para el control de los ciclos y las temperaturas se confiaba en relojes normales, y en el menor de los casos en un pirómetro de superficie para calcular las temperaturas de platina. A menudo se calentaban las prensas con vapor y la presión del vapor que se leía en un calibrador que estaba sobre la prensa era el único control de temperatura en esos casos, la especificación para realizar el trabajo incluiría una presión de vapor necesaria. Estos procesos dependían mucho de la habilidad y confiabilidad del operador (Morton-Jones, 2002).

Posteriormente en América, Dow Chemical, ideó un proceso para la producción de poliestireno conocido como “El de los Diez Galones”, que consistía en llenar bidones de diez galones con estireno resultado de la mezcla de Benceno y Etileno. Los bidones una vez sellados se calentaban lentamente en baño maría por varios días hasta llegar a una polimerización del 99% como se observa en la Figura 1. Por su parte en México, la industria del poliestireno inicia con la llegada de Monsanto a Lechería en 1951, y la producción de EPS en 1978 cuando se establece en Tultitlan BASF14 (Chávez, 2014).



Figura 1. Fotografía del proceso de los diez Galones de Dow Chemical (Chávez, 2014).

DuBois (1987), explica cómo es el procesamiento del poliestireno expandible cuando se procesa con moldeo de formas; la transformación inicia con una expansión del poliestireno expandible antes del moldeo, después se separa de acuerdo a su tamaño para llevar a cabo el envejecimiento, al final el poliestireno pre-expandido es depositado en el molde. En la Figura 2, se observa el flujo del poliestireno expandible donde durante el llenado, la cavidad del molde se llena completamente con el material pre-expandido, la fusión tiene lugar cuando el material se calienta lo suficiente como para ablandarse y el agente de soplado se activa. Las perlas individuales se unen para formar la pieza deseada. A continuación, la pieza se enfría de manera suficiente para contener su presión interna y evitar la expansión posterior cuando se retira del molde. Finalmente, la pieza terminada es expulsada de la cavidad.

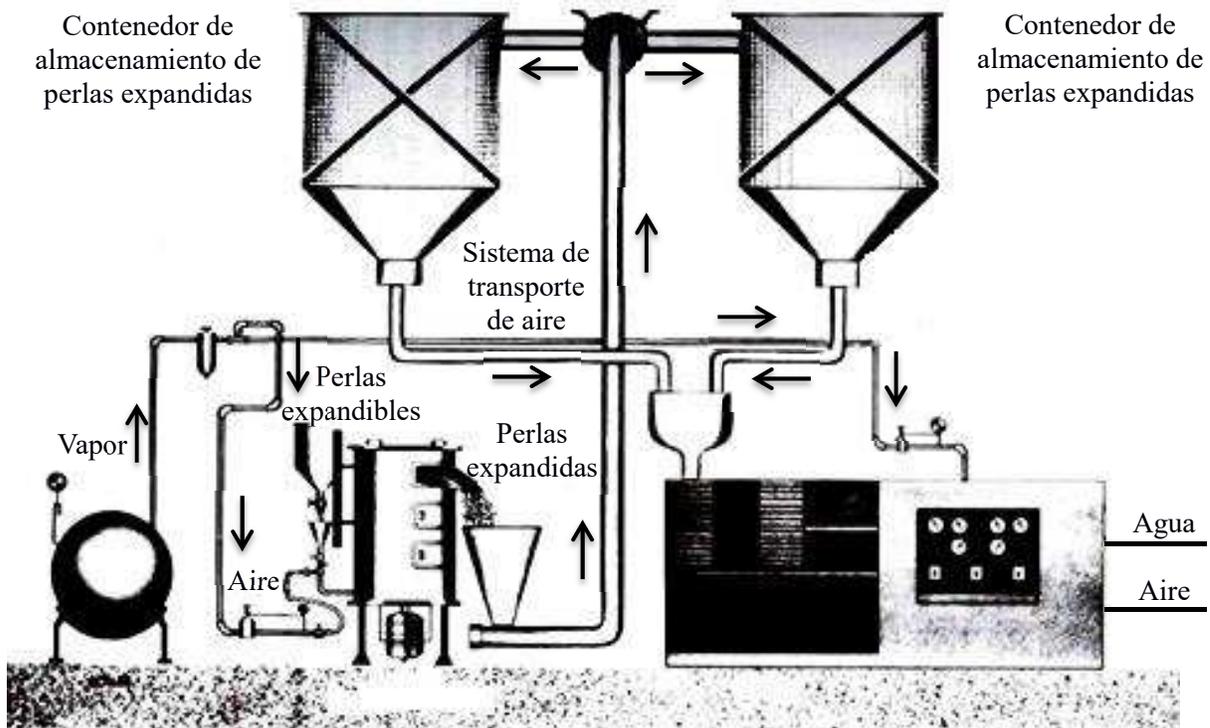


Figura 2. Proceso de producción de EPS (DuBois, 1987).

Actualmente, para la manufactura de productos elaborados con EPS, se utilizan principalmente 3 métodos: moldeo, mecanizado y corte por hilo caliente, el primero empleado principalmente en la industria del embalaje, requiere la fabricación previa de un molde rígido o matriz que permita multiplicar los objetos a producir, lo que encarece e imposibilita la obtención en masa de componentes individualmente diferenciados. El

segundo, consiste en la generación de geometrías por medio de la sustracción de material empleando una fresa que se desplaza en una o más orientaciones en el espacio tridimensional. Este proceso permite la obtención de formas libres, como superficies de doble curvatura, pero convirtiendo el material sustraído en cantidad excesiva de partículas en suspensión. El tercero, corresponde al método tradicional de laminado de planchas, un proceso rápido y limpio, que reduce los tiempos y costos de fabricación de piezas hechas de EPS, no genera desgrane ni polvo en suspensión. Sin embargo, este método está limitado en las posibilidades geométricas de fabricación, ya que solo permite la generación de superficies regladas (Zapata, 2017).

El uso del EPS en forma de bloques no es reciente, países como Noruega, Estados Unidos, Japón, Malasia y Alemania entre otros, los han utilizado de manera exitosa en numerosas aplicaciones geotécnicas, la primera aplicación geotécnica de los bloques de EPS ocurrió en Noruega en el año de 1972, mediante la construcción de terraplenes para vías cimentadas en suelos altamente compresibles (López, 2009).

La invención de la maquinaria moderna fue lenta, sin embargo ha llevado consigo importantes mejoras de productividad ya que en situaciones donde los salarios dependían de la producción de piezas, no era cosa rara que la cantidad importaba más que la calidad, de ahí que el cambio más significativo ha sido en la reducción de costos y tiempo, al grado de que hoy en día una persona puede supervisar varios procesos al mismo tiempo.

### **1.3. Planteamiento del problema**

La empresa constructora está establecida actualmente en la Ciudad de Huajuapán de León, se dedica a la industria de la construcción utilizando formas de concreto aislante o ICF (Por sus siglas en inglés Insulated Concrete Form) y casetones de EPS como sistema constructivo, productos que son transportados desde estados como Estado de México y Chihuahua.

¿Por qué proponer una distribución de planta para producción de piezas de EPS en Huajuapán de León?

Actualmente, en el estado de Oaxaca no existen empresas dedicadas a la producción de piezas de EPS para construcción, por lo cual todo el mercado es abastecido por empresas ubicadas en otros estados, principalmente en el Norte de México, sin embargo, sí existe una demanda de estos productos en la región y esto ha ocasionado que el costo de transporte y de almacenamiento sea elevado, existan retrasos en la entrega, la calidad del producto no sea la requerida, además, proveedores de este tipo de producto han aprovechado las condiciones para aumentar su poder de negociación, ocasionando así contratiempos para el desempeño de la empresa.

El uso de este producto es un ejemplo de los avances en la construcción, ya que ha permitido sustituir materiales rígidos y pesados por ICF y casetones, los cuales están hechos básicamente de EPS, caracterizados por sus propiedades térmicas y acústicas. El incremento del uso de estos productos como consecuencia de sus propiedades ha generado que en este último año haya un aumento en el número de viajes para traer las piezas de EPS a Huajuapán de León, como ha sido expresado por ejecutivos de la empresa, estas condiciones han llevado a la necesidad de instalar una planta de producción; para ello es imprescindible determinar la distribución de las áreas de trabajo y de los departamentos de tal manera que se considere una distancia mínima de recorrido de los materiales, aun cuando existan diseños de distribución de planta para los bloques de EPS, siempre deben considerarse que existen diferentes condiciones que están relacionadas con la manipulación de materiales, el uso de espacio disponible para fabricación, las condiciones del mercado local, entre otros.

## 1.4. Justificación

Elaborar una propuesta de distribución de planta para fabricar formas moldeadas de EPS permitirá tener un efecto positivo para la compañía, como es minimizar costos unitarios, optimizar la calidad del producto, promover el uso efectivo de los recursos, personas, espacio y energía. Así como, mejorar el manejo de materiales que permitirá básicamente algunos beneficios como reducir o eliminar el inventario excesivo, y también tener un efecto positivo sobre los trabajadores ya que según Meyers y Stephens (2006), el manejo de materiales ocasiona aproximadamente el 50% de todos los accidentes, y entre el 40 y el 80% de todos los costos de operación.

Así mismo, Sule (1994), menciona que la distribución de planta es importante por dos razones, la primera es que los costos de manejo de materiales van del 30 al 75% de los costos totales de la manufactura, en segundo lugar la distribución de la planta es una proposición a un futuro lejano a alguna modificación de la planta, es por ello que se dice que si se mejora el flujo del material, en forma automática, se reducen los costos de producción, entre más corto es el flujo a través de la planta, mayor es la reducción de costos.

Determinar la distribución de planta permitirá satisfacer la necesidad de la empresa, además este proyecto es factible de realizarse, ya que cuenta con el apoyo de quienes conforman la empresa, debido a que una nueva localización y distribución de planta hará posible la manufactura de bloques moldeados de EPS en un lugar cercano a donde van a ser usados para la construcción de viviendas/edificaciones, además ayudará al mejoramiento de la calidad de los bloques y de las viviendas que los usen, beneficiando las operaciones de la empresa.

Producir ICF en la región Mixteca traerá como consecuencia una ventaja económica a los desarrolladores inmobiliarios, ya que según la revista *Plastics Technology México* (2016), algunas empresas de la industria de la construcción que actualmente promueven este tipo de producto, prometen ahorros de hasta 41% en materiales de construcción y energía, además de beneficios al medio ambiente. De igual manera Ordoñez (2014), menciona que el uso de productos constructivos de EPS ofrece una reducción cercana al 43% en los consumos energéticos totales (calefacción y refrigeración) respecto a los de una vivienda con los

sistemas constructivos más comunes. Así también, un estudio realizado por Delgado y Bermúdez (2018), demuestra que construir con bloques de EPS permite reducir hasta el 33% el tiempo promedio del proceso de construcción, y reducir hasta un 45% de utilización promedio de mano de obra comparado con la construcción de forma tradicional.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Proponer la localización y distribución de una planta de producción de bloques de poliestireno expandido (EPS) para una empresa constructora.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar la localización de la planta por medio de la evaluación por alternativas por pesos ponderados.
- Determinar la distribución de la planta aplicando la planeación sistemática de la distribución (PSD).
- Dimensionar las áreas de la empresa considerando las necesidades de espacio y personal.
- Seleccionar un proveedor de la maquinaria necesaria para la producción de piezas EPS.

## **1.6. Limitación del caso de estudio**

El presente trabajo se limita a establecer una planta en la región Mixteca, específicamente en tres lugares de Huajuapán de León.

EL análisis se limita a una producción de tiempo promedio, dado por los proveedores.

A petición de la empresa constructora solo se considera la distribución de planta.

El diseño de la planta incluirá tres propuestas para finalmente seleccionar una.

## 1.7. Metodología

Se diseña la planta para una empresa constructora, considerando que la ubicación de su instalación será en la Heroica Ciudad de Huajuapán de León. La metodología es planeada para determinar la ubicación de la instalación y para diseñar la distribución de la planta, para obtener la información se recurre a la literatura y a la información proporcionada por la empresa, además de acudir a las agencias de policía candidatas. La metodología que se empleó es la planeación sistemática de la distribución (PSD) propuesta por Richard Muther, la cual se complementó de la metodología de Sule (1994), principalmente para la selección de la ubicación de la planta y para la evaluación de alternativas generadas a partir de la metodología PSD. Se eligió esta metodología ya que como menciona Cárdenas (2017), la PSD reúne las ventajas de las aproximaciones metodológicas precedentes e incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución, organizando el proceso de planificación total de manera racional y estableciendo una serie de fases y técnicas que permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos. Así mismo Niebel y Freivalds (2009) y Baca (2010), recomiendan la PSD como método a utilizar para diseñar una distribución de planta. La metodología se desarrolla a partir de 6 pasos los cuales son: definición, análisis, síntesis, evaluación, selección e implantación.

El proceso de la selección del sitio se hará antes de proponer la distribución de la planta; se plantearán tres lugares pertenecientes a Huajuapán de León, y se seleccionará un sitio por medio de una evaluación por alternativas considerando factores, tales como servicios de transporte, oferta de mano de obra, características geográficas y meteorológicas, entre otras. Aunque algunos autores mencionan que el proceso de selección del sitio para ubicar la planta no es un trabajo del diseñador de planta tales como Meyers y Stephens (2006), que señalan que la ubicación no siempre es una decisión de ingeniería, y mencionan que quizá sea un tema más apropiado para una clase de ciencias políticas, ya que cada lugar cuenta con programas para atraer a nuevas industrias, además de que el presidente de la empresa es quien normalmente toma esa decisión. Pero debido al interés de la dirección de la empresa, se propone un sitio de instalación a través de la evaluación de alternativas, donde se

considerarán los factores de influencia para la localización de la planta sugeridos por Sule (1994).

En el primer paso de esta metodología (Figura 3), se describirán los productos que se desean producir en la planta, se establecerá la capacidad de producción, con esta información se elaborará un gráfico Producto- Cantidad (O llamado también como gráfico P-Q) para analizar la variación de productos en comparación con la cantidad de producto que es necesario producir, después se elaborará un diagrama de recorrido para visualizar y analizar la secuencia de movimientos que sigue cada producto, después se realizará un diagrama de relaciones para determinar la importancia de la relación entre departamentos traduciéndolo a un diagrama de relación entre actividades.

En el segundo paso, se considerará los requerimientos de espacio del departamento de producción, los servicios de apoyo, así como los servicios para empleados, con esta información y tomando en cuenta el espacio disponible, se elaborará un diagrama relacional de espacios que a diferencia del diagrama anterior este contempla las dimensiones de cada departamento.

En el tercer paso, se revisará la literatura y se considerará los factores de influencia que son los requerimientos y la elección de mano de obra, los requerimientos del manejo de materiales y las consideraciones de seguridad industrial; cada uno de estos puntos se analizarán con el objetivo de observar su importancia y la influencia que tienen en la propuesta de diseño, ya que a partir de estos factores se generarán tres alternativas de distribución de planta, con ello se concretarán las limitaciones.

En el cuarto paso, con las representaciones del diagrama de relación entre actividades que son los diagramas nodales, se elaborará una representación en red de tal manera que coincida la distribución con la representación nodal, con esto se medirá la distancia rectilínea más corta para cada alternativa de distribución, así este flujo se evaluará a partir de un tabla de evaluación de eficacia citado por Sule (1994).

En el quinto paso, se presentan los resultados obtenidos del paso anterior y se analizan minuciosamente con el objetivo de seleccionar la opción que mejor se adecúe a los objetivos del diseño de la planta, los resultados obtenidos se presentarán a la dirección de la empresa para su consideración.

En el sexto paso, la implantación dependerá de la decisión de la empresa, si se decide instalar la planta, se deberá de realizar los ajustes necesarios, conforme se van instalando los equipos y máquinas; para lograr la materialización de la distribución en detalle que fue planeada.

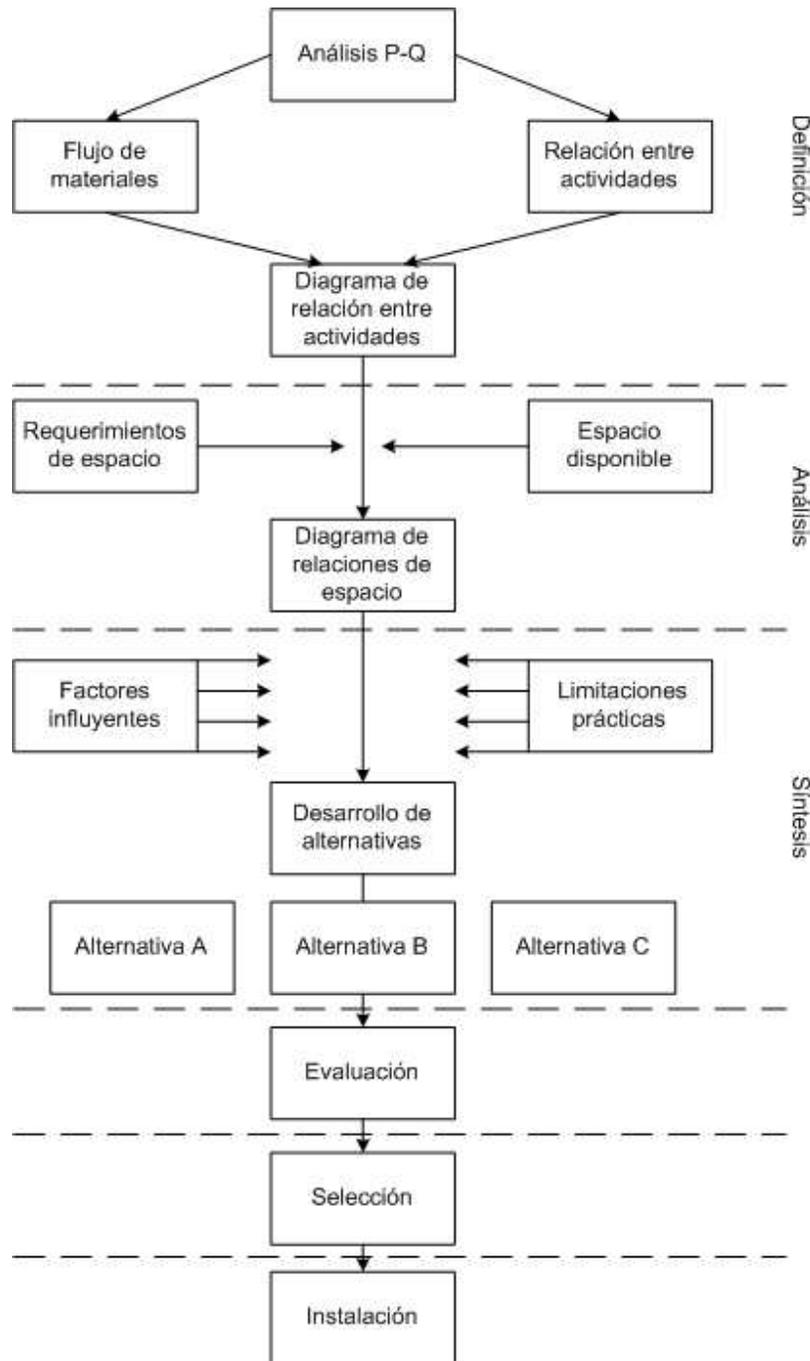


Figura 3. Diagrama de la planeación sistemática de la distribución (PSD) (Muther, 1968).

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

---

En este apartado se mencionan diferentes conceptos de autores que han estudiado acerca de distribución de planta, sistemas de producción, productos de poliestireno expandido y sistemas de moldeo.

### **2.1. Distribución de planta**

Sule (1994), define a la distribución de planta como la organización de las instalaciones físicas de la compañía para alentar la utilización eficiente del equipo, el material, el personal y la energía. Así mismo Núñez (2014), plantea que la distribución de planta consiste en determinar la mejor disposición de los elementos necesarios para llevar a cabo la actividad de una empresa (ubicación de máquinas, puestos de trabajo, almacenes, pasillos, zonas de descanso del personal, oficinas, áreas de servicio, etc.) dentro de la instalación productiva, de manera que se alcancen los objetivos establecidos de la forma más adecuada y eficiente posible.

El objetivo principal de la distribución eficaz de una planta consiste en desarrollar un sistema de producción que permita la fabricación del número deseado de productos con la calidad que se requiere y a bajo costo (Niegel & Freivalds, 2009).

#### **2.1.1. Tipos de distribución de planta**

Baca (2010) y Heizer y Render (2001), coinciden que existen tres tipos de distribución los cuales son:

- Distribución por proceso (Figura 4): Agrupa a las personas y al equipo que realizan funciones similares y hacen trabajos rutinarios en bajos volúmenes de producción. El trabajo es intermitente, guiado por órdenes de trabajo individuales, son sistemas flexibles para trabajo rutinario, por lo que son menos vulnerables a los paros (Baca, 2010), este tipo de distribución puede utilizarse para la fabricación de muebles con diferentes acabados u formas.

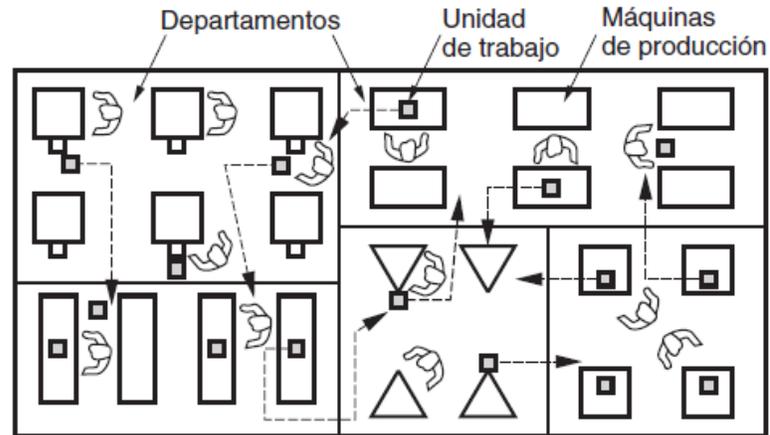


Figura 4. Distribución por proceso (Groover, 2007).

- Distribución por producto (Figura 5): Agrupa a los trabajadores y al equipo de acuerdo con la secuencia de operaciones realizadas sobre el producto o usuario. Las líneas de ensamble son características de esta distribución con el uso de transportadores y equipo muy automatizado para producir grandes volúmenes de, relativamente, pocos productos. El trabajo es continuo y se guía por instrucciones estandarizadas (Baca, 2010), por ejemplo el ensamble de vehículos.

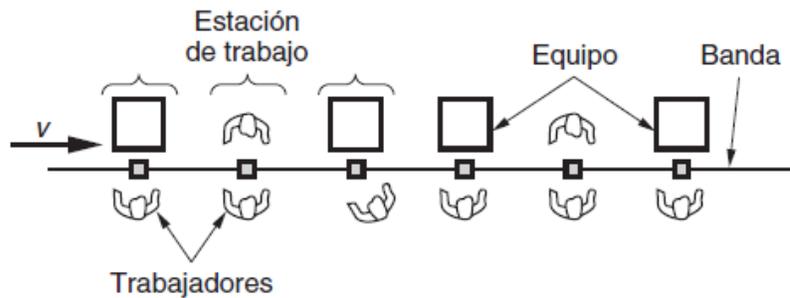


Figura 5. Distribución por producto (Groover, 2007).

- Distribución por componente fijo o posición fija (Figura 6): Aquí la mano de obra, los materiales y el equipo acuden al sitio de trabajo, como en la construcción de un edificio o un barco (Baca, 2010). Empleada para hacer frente a las necesidades de organización desde material de escritorio a proyectos amplios y voluminosos (Heizer & Render, 2001).

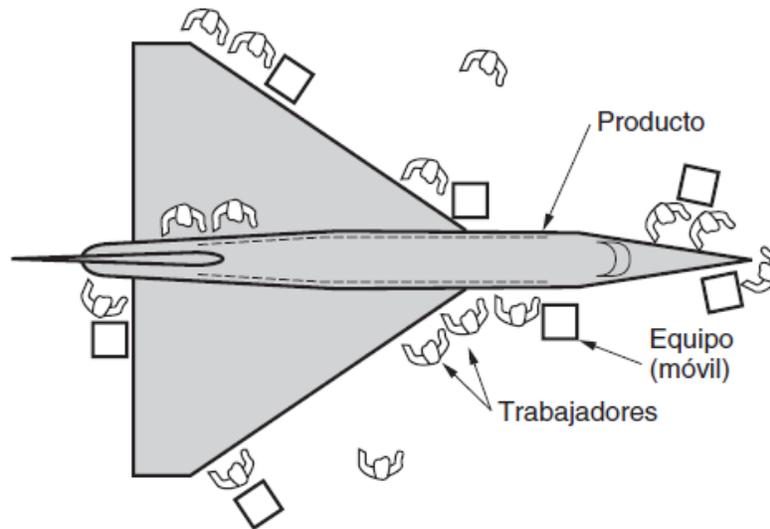


Figura 6. Distribución por posición fija (Groover, 2007).

Por otra parte Tompkins, White, Bozer, y Tanchoco (2011), señalan que existen cuatro tipos de distribución, las cuales son: distribución de ubicación fija de materiales, distribución de líneas de producción, distribución por procesos y distribución por familia de productos o distribución celular o distribución por tecnología de grupo (Figura 7), esta última la define como aquella distribución que acomoda la maquinaria y equipo para enfocarse en la producción de un solo producto o de varios productos relacionados.

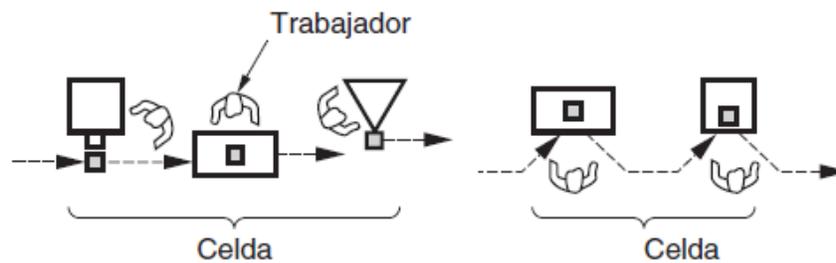


Figura 7. Distribución por tecnología de grupo (Groover, 2007).

Niebel y Freivalds (2009), señalan que todas las distribuciones de la planta representan una o la combinación de las dos distribuciones básicas: distribución por producto y distribución por proceso, tal y como se observa con los autores anteriores.

### **2.1.2. Metodologías para la distribución de planta**

Los primeros estudios sobre las metodologías de diseño de distribuciones de plantas industriales aparecen en la década de los años 50 entre los que se encuentran Immer en 1950, Buffa en 1955 y Muther en 1961 (Del Río, 2003). Así mismo Tompkins, White, Bozer, y Tanchoco (2011), mencionan que gran parte de las observaciones de Immer se mantienen hoy en día y que algunos cambios en la distribución no son más que cambios menores. La técnica de Immer se establece en tres etapas para el proceso de resolución del problema:

- Etapa 1. Plantear correctamente el problema a resolver.
- Etapa 2. Detallar las líneas de flujo.
- Etapa 3. Convertir las líneas de flujo en líneas de materiales.

El procedimiento de Buffa se describe en 4 etapas, las cuales son:

- Etapa 1. Estudio del proceso, recopilación de los datos referente a actividades, piezas y recorridos de éstas.
- Etapa 2. Determinación de la secuencia de operaciones de cada pieza y elaboración de una tabla con dicha información.
- Etapa 3. Determinación de las cargas de transporte mensuales entre los diferentes departamentos que conforman el proceso.
- Etapa 4. Búsqueda de la posición relativa ideal de los diferentes centros de trabajo.

Por otro lado Sule (1994), propone un método convencional, el cual consta de seis pasos:

1. Determinación de áreas necesarias para cada centro de trabajo.
2. Formar una gráfica de relaciones o establecer una tabla “de a”, la cual describe de forma cuantitativa el grado de acercamiento que el analista estima entre los distintos centros de trabajo.
3. Desarrollar una representación gráfica de la tabla de relaciones.
4. Desarrollar una tabla de evaluación para tener una medida de eficacia en el arreglo establecido en el paso tres.
5. Hacer plantillas para representar los departamentos considerando los requerimientos de espacio.

6. Distribuir las plantillas en la misma forma que la representación gráfica de la tabla de relaciones.

### ***Planeación sistemática de la distribución***

Richard Muther, propone en el año 1961 un método para la distribución de planta llamado planeación sistemática de la distribución (por sus siglas en inglés Systematic Layout Planning, SLP o en español PSD), en palabras de Muther la metodología PSD permite identificar, valorar y visualizar todos los elementos que intervienen en la implantación de un proyecto. La metodología consta de 6 pasos que son la definición, análisis, síntesis, evaluación, selección y por último, la instalación. Para la aplicación de este método el autor menciona que son necesarios cinco tipos de entradas, los cuales son: producto, la cantidad, recorrido, servicios y tiempo.

Por su parte Cárdenas (2017), menciona que las propuestas metodológicas precedentes a la PSD son simples e incompletas y las desarrolladas con posterioridad son en muchos casos variantes más o menos detalladas de dicho método y no han alcanzado el nivel de aceptación de la de Muther y que la amplia aceptación de la PSD, ha sido la causa de que no haya posteriores investigaciones de relevancia en este contexto. Los estudios posteriores, se han centrado en los dos pasos fundamentales del procedimiento: la generación de alternativas de distribución y la evaluación y selección de las mismas.

#### **2.1.3. Evaluación de alternativas**

Para la evaluación de alternativas en el caso de la selección del proveedor y del sitio de la instalación se utilizará el método de factores ponderados, que según Heizer y Render (2001), es un método popular que introducen tanto factores cuantitativos como cualitativos, y que algunos de estos factores son más importantes que otros, por ello debe de tomarse en cuenta la opinión de los directivos. El método comprende seis pasos:

1. Determinar la relación de los factores relevantes.
2. Asignar un peso a cada factor para reflejar su importancia relativa para los objetivos de la empresa.
3. Elaborar una escala para cada factor.
4. Considerar la opinión de los directivos para la puntuación de cada factor del paso 3.

5. Multiplicar la puntuación por el peso de cada factor y calcular el total de cada localización.
6. Hacer una recomendación basada en la máxima puntuación, considerando también los resultados de los enfoques cualitativos.

#### **2.1.4. Evaluación de las propuestas de distribución**

Muther (1968), recomienda tres métodos para la evaluación de las alternativas de distribución obtenidas a partir de la metodología PSD, los cuales son: comparación de las ventajas y los inconvenientes, análisis de los factores o criterios y la comparación de los costos y justificación.

Por otro lado, Tompkins, White, Bozer, y Tanchoco (2011), mencionan que entre las técnicas más utilizadas para evaluar planes de planta alternos están elaborar una lista de aspectos positivos y negativos de cada alternativa, jerarquizar el desempeño de cada alternativa contra cada uno de los criterios enumerados, efectuar una comparación bajo evaluación por alternativas y la cuarta técnica, determinar el desempeño económico de cada alternativa para un horizonte de planeación especificado, como se observa las técnicas propuestas anteriormente son muy parecidas.

Por su parte Niebel y Freivalds (2009), proponen una evaluación por factores ponderados citando a Muther. Mientras que Meyers y Stephens (2006), no proponen ningún método para la evaluación de alternativas, sin embargo mencionan que la distribución propuesta es óptima cuando las proximidades coinciden en ambos diagramas y en el plano de la planta.

Sule (1994), propone un método cuantitativo para medir la eficacia de las alternativas obtenidas a través de una tabla de evaluación donde valora la medida de cercanía entre dos áreas. Las distintas alternativas obtenidas se pueden evaluar desarrollando una tabla para cada uno y el que tenga el valor mínimo se selecciona como el óptimo arreglo. La tabla de evaluación se forma convirtiendo primero la representación de diagrama de relación entre actividades (Sule (1994), lo define como representación nodal) a una red o en cuadrícula semi-escalada. Para cada departamento se iguala el área necesaria con la cantidad aproximada de bloques necesarios, con una escala adecuada. Se determina el total de los bloques necesarios y se traza una forma aproximadamente cuadrada. El siguiente paso es ubicar los bloques necesarios de cada departamento usando como guía la representación

nodal y con esto se mide la cercanía, que es igual a la distancia rectilínea más pequeña entre dos áreas, multiplicadas por el valor de la relación entre esos dos departamentos; la suma de esos valores representa la eficacia de la representación nodal, la tabla que tenga suma mínima se selecciona.

### 2.1.5. Diagrama de flujo del proceso

Es aquel que registra operaciones e inspecciones, muestra todos los retrasos de movimientos y almacenamiento a los que se expone un artículo a medida que recorre la planta, es particularmente útil para registrar los costos ocultos no productivos como por ejemplo, las distancias recorridas, los retrasos y los almacenamientos temporales. Una vez que estos periodos no productivos se identifican, los analistas pueden tomar medidas para minimizarlos y, por ende, reducir sus costos (Figura 9) (Niebel & Freivalds, 2009).

### 2.1.6. Gráfico P-Q

Usado para analizar la variedad con la cantidad de productos, permite identificar sobre qué productos debe de enfocarse, al final de este análisis, es posible determinar el tipo de distribución adecuado para el objeto de este estudio. Su resultado es una curva decreciente, habiéndose indicado en primer lugar los artículos producidos en gran cantidad, y habiéndose utilizado las cantidades específicas en vez de cifras acumulativas (Figura 8).

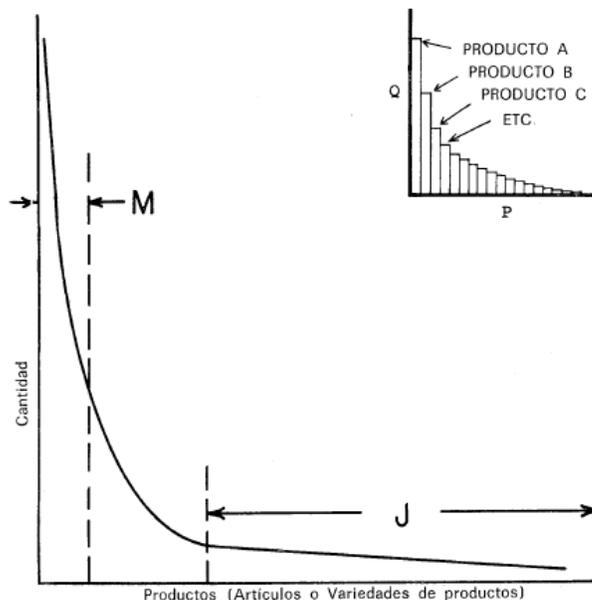


Figura 8. Diagrama P-Q de diferentes productos (Muther, 1968).

Diagrama de flujo del proceso

Ubicación: Dorben Ad Agency		Resumen				
Actividad: Preparación de anuncios por correo directo		Evento	Presente	Propuesto	Ahorros	
Fecha 1-26-98		Operación	4			
Operador: J.S.	Analista: A. F.	Transporte	4			
<i>Encierre en un círculo el método y tipo apropiados</i> Método: (Presente) Propuesto Tipo: (Trabajador) Material Máquina		Retrasos	4			
		Inspección	0			
		Almacenamiento	2			
		Tiempo (min)				
Comentarios:		Distancia (pies)	340			
		Costo				
Descripción de los eventos		Símbolo		Tiempo (en minutos)	Distancia (en pies)	Recomendaciones al método
Cuarto con la existencia de materiales	○ ▷ D □ ●					
Hacia el cuarto de recopilación	○ ● D □ ▽				100	
Ordenar los estantes por tipo	○ ▷ ● □ ▽					
Ordenar cuatro hojas	● ▷ D □ ▽					
Apilar	○ ▷ ● □ ▽					
Hacia el cuarto de doblado	○ ● D □ ▽				20	
Empujar, doblar, rayar	● ▷ D □ ▽					
Apilar	○ ▷ ● □ ▽					
Colocar la engrapadora	○ ● D □ ▽				20	
Poner la grapa	● ▷ D □ ▽					
Apilar	○ ▷ ● □ ▽					
Hacia el cuarto del correo	○ ● D □ ▽				200	
Colocar la dirección	● ▷ D □ ▽					
A la bolsa del correo	○ ▷ D □ ●					

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de preparación de anuncios (Niegel & Freivalds, 2009).

### 2.1.7. Tabla de relación de actividades

Es un cuadro organizado en diagonal en el que aparecen las relaciones entre cada actividad (o entre cada función o entre cada sector) y todas las demás actividades. Este diagrama (Figura 10) describe en forma cuantitativa el grado de acercamiento entre distintos centros de trabajo, proximidad que esta dictada por el flujo entre los departamentos, la comodidad,



***Material producto del reciclaje***

El papel y cartón reciclados puede ser utilizado de diferente manera, se ha comprobado su versatilidad al ser utilizados como materia prima de varios elementos y sistemas constructivos, las capacidades estructurales, los potenciales de masa térmica y los valores de aislamiento han convencido a los ingenieros de explorar este tipo de materiales (Hebel, Wisniewska, & Heisel , 2014).

***Materiales de origen natural***

Los materiales naturales más comunes en el uso de la construcción son la madera y la tierra, sin embargo existen lo materiales herbáceos que se obtienen de pastos o hierbas muy abundantes en la naturaleza, los materiales de origen vegetal representan una alternativa a los resultantes de métodos de fabricación más complejos (Andrade, 2015).

***Materiales plásticos***

Entre los materiales que más se utilizan en la industria de la construcción se encuentra el EPS, este tipo de plástico tuvo sus primeras aplicaciones en las carreteras, como un protector de los caminos en las heladas. Hoy en día este material se utiliza debido a su aislamiento térmico; la cantidad de aire que almacena lo hace un aislante, actúa como relleno de peso ligero puesto que puede alcanzar hasta una densidad de 10 kg/m<sup>3</sup>, amortigua vibraciones ya que la relación rigidez-densidad, hace que sea capaz de amortiguar vibraciones, por último su inclusión incompresible por las propiedades mecánicas que posee (Instituto Mexicano del Transporte, [IMT], 2016). Los materiales plásticos a diferencia de otros usados en la construcción presentan significativas ventajas a comparación de otros, y esto se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales usados en la construcción (Paoella & Cocci, 2011).

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/mK)	Resist. a la difusión de vapor de agua Coef. u (-)	Residuos no tóxicos (g)	Residuos tóxicos (g)	Energía de la materia prima (MJ)	Forma del producto
Lana mineral	12-250	0,035-0,050	½	63	0.5	3.36	Panel
Celulosa	30-100	0,035-0,040	1/2	30	2	14.42	Bloque
Corcho	80-500	0,040-,055	5/10	-	-	-	panel, bloque
Linaza	25	0,040-0,045	1/2	122	0.4	22.84	Panel, bloque
EPS	5-30	0,035-0,040	20/100	26	7	25.64	Panel, bloque

### 2.2.1. Sistema alternativo: EPS en la industria de la construcción

Uno de los sistemas alternativos que en la actualidad se utiliza es a base de EPS, que es un producto derivado del plástico. Ordoñez (2014), menciona que las piezas de este material son diseñados para facilitar la construcción de muros y losas de concreto con un buen nivel de aislamiento, su configuración geométrica hace que tanto en los muros como en las losas haya una capa intermedia en la que se alternan el poliestireno expandido y el concreto reforzado, formando este último una retícula estructural.

El EPS en la construcción se le aprovecha fundamentalmente en varias funciones o en una combinación de ellas: como aislamiento térmico en diferentes cerramientos y como aligerante de algunos elementos constructivos y para la generación de formas como rellenos, núcleos y encofrados. También, comienza a usarse con mayor frecuencia como base en la construcción de obras mayores como carreteras e industrias (González, 2005).

El uso del EPS en forma de bloques no es reciente, países como Noruega, Estados Unidos, Japón, Malasia y Alemania entre otros, los han utilizado de manera exitosa en numerosas aplicaciones geotécnicas. En México el uso de los geosintéticos fue introducido en los años 70s, a la par que se hacía en el contexto mundial, sin embargo, no fue sino hasta la década de los ochenta que esta práctica comenzó a ser desarrollada en forma notable por los ingenieros principalmente en las obras de infraestructura vial (López, 2009).

Así también el IMT (2016), menciona que el EPS es muy usado en Estados Unidos y Europa, pero en México son pocas las obras en las que ha sido empleado, una de las razones puede ser el desconocimiento de sus propiedades y de su comportamiento. En la Tabla 2, se muestran las ventajas de construir con EPS a diferencia de construir con un sistema tradicional.

Tabla 2. Construcción con EPS y un sistema tradicional (Fuente: Propia).

Autor	Costo	Eficiencia Energética	Tiempo en la construcción
Cemex (2017)	27% de reducción en el costo de los materiales.	50% de reducción en la demanda a los sistemas de climatización y 33% en la eficiencia energética.	–
Ordoñez (2014)	–	43% de ahorro en los consumos energéticos totales (calefacción y refrigeración).	–
Delgado y Bermúdez (2018)	Reducir hasta un 45% de utilización promedio de mano de obra.	–	33% se reduce el tiempo promedio del proceso de construcción
Fab-Form (2019)	El costo de mano de obra y materiales se ve reducido hasta un 37 %, usando ICF.	–	La velocidad de instalación es de 30 a 50% más rápida con los ICF.

### ***Poliestireno Expandido (EPS)***

El EPS es una espuma plástica rígida fabricada a partir de la fusión de perlas de poliestireno expandible que presenta una estructura celular cerrada (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., [ONNCCE], 2010). Para producir este material se necesita de materia prima denominada poliestireno expandible, el cual es un plástico celular termoestable derivado del monómero de estireno, que se polimeriza en presencia de un agente expansor, en este caso pentano, cuyo material es un componente de petróleo, y el estireno, un producto secundario del petróleo, ambos son hidrocarburos puros, que se componen de carbono e hidrógeno (Foronda, 2017). La estructura del EPS se muestra en la Figura 11.

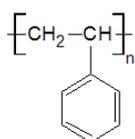


Figura 11. Estructura química del EPS (BASF, 2001).

La NMX-C-137-ONNCCE-2009. Industria de la Construcción - Espuma Rígida de Poliestireno, EPS Especificaciones y Métodos de Ensayo, clasifica el material de acuerdo a su densidad (Tabla 3) y además, menciona que este material presenta las características mostradas en la Tabla 4.

Tabla 3. Clasificación de la espuma rígida de poliestireno expandido (ONNCCE, 2010).

<b>Tipo</b>	<b>EPS 10</b>	<b>EPS 12</b>	<b>EPS 15</b>	<b>EPS 18</b>	<b>EPS 22</b>	<b>EPS 29</b>
Densidad mínima kg/m <sup>3</sup>	8	12	15	18	22	29

Tabla 4. Especificaciones para la espuma rígida de EPS (ONNCCE, 2010).

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>EPS 10</b>	<b>EPS 12</b>	<b>EPS 15</b>	<b>EPS 18</b>	<b>EPS 22</b>
Densidad mínima	kg/m <sup>3</sup>	8	12	15	18	22
Resistencia mínima a la flexión	kPa	55	70	173	208	240
Resistencia a la compresión						
Resistencia mínima a la compresión para una deformación del 1 %	kPa	7	15	25	40	50
Resistencia mínima a la compresión para una deformación del 5 %	kPa	16	35	55	90	115
Resistencia mínima a la compresión para una deformación del 10 %	kPa	18	40	70	110	135
Absorción máxima de agua por total inmersión	% volumen	NA	4,0	4,0	3,0	3,0
Permanencia máxima al vapor de agua	ng/Pa s m <sup>2</sup>	N/A	287	287	201	201

### **2.2.2. Sistemas de moldeo de EPS**

Empolime (2012), define dos tipos de sistemas de moldeo, los cuales son:

- Sistema de moldeo por bloques

La perla pre-expandida entra en un bloque en el que se ve sometida a un proceso de soldadura, que se consigue mediante su sometimiento a una aportación de vapor de agua durante un período que varía según el tipo de densidad aparente de la pieza a obtener.

- Sistema de moldeo por formas

El moldeado es un proceso similar al del bloque, solo que éste se realiza en una máquina en la cual hay un molde con la forma concreta de la pieza que se va a fabricar. En este proceso el material pre-expandido se introduce en el molde y es soldado mediante aporte de calor.

### **2.2.3. ICF y sus variedades**

Formas de concreto aislante o ICF (Por sus siglas en inglés Insulated Concrete Form) es un sistema constructivo de muros estructurales, son formas de EPS que funcionan como encofrados para el concreto armado que forma el muro al interior de la forma, creando un muro térmico, estructural y rápido de levantar (ICF México, 2019). Este mismo autor clasifica las formas de concreto aislante en tres tipos, los cuales se definen a continuación.

- Forma de núcleo sólido (Flat wall ICF).

Se compone de 2 paneles de EPS de alta densidad sujetadas con uniones hechas de plástico de alta densidad (polipropileno) diseñadas para que pueda fluir el concreto a través de las mismas (Figura 12a).

- Forma de núcleo sólido armable (Knockdown ICF).

Es prácticamente la misma Forma ICF de núcleo sólido pero con la ventaja de ser armable in situ. Esta modalidad de ser armable es práctica para poder transportar un mayor número de formas en un solo flete. Las uniones de polipropileno varían en el largo, de 4 a 12 pulgadas (Figura 12b).

- Forma de núcleo parrilla o en cuadrícula (Screengrid ICF).

Es una forma que a diferencia de la original, los 2 paneles de EPS son sujetados por el mismo EPS (Figura 12c).

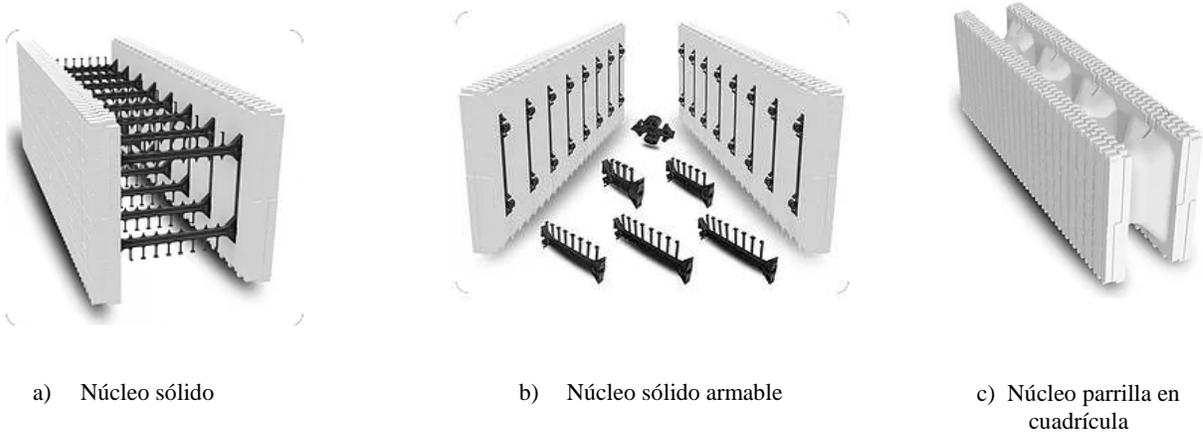


Figura 12. Forma de: a) núcleo sólido, b) núcleo sólido armable, c) núcleo parrilla o en cuadrícula (ICF México, 2019).

#### 2.2.4. Casetón de EPS

Estrutec (2011), define al casetón de EPS como un elemento de poliestireno expandido de alta densidad, con una gran capacidad de aislamiento y cuya geometría permite la construcción de losas de concreto armado (Figura 13).

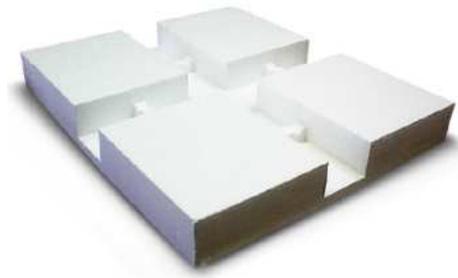


Figura 13. Casetón de EPS (Estrutec, 2011).

## CAPÍTULO III. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE EPS

Los pasos para la elaboración de piezas de EPS se observan en la Figura 14.

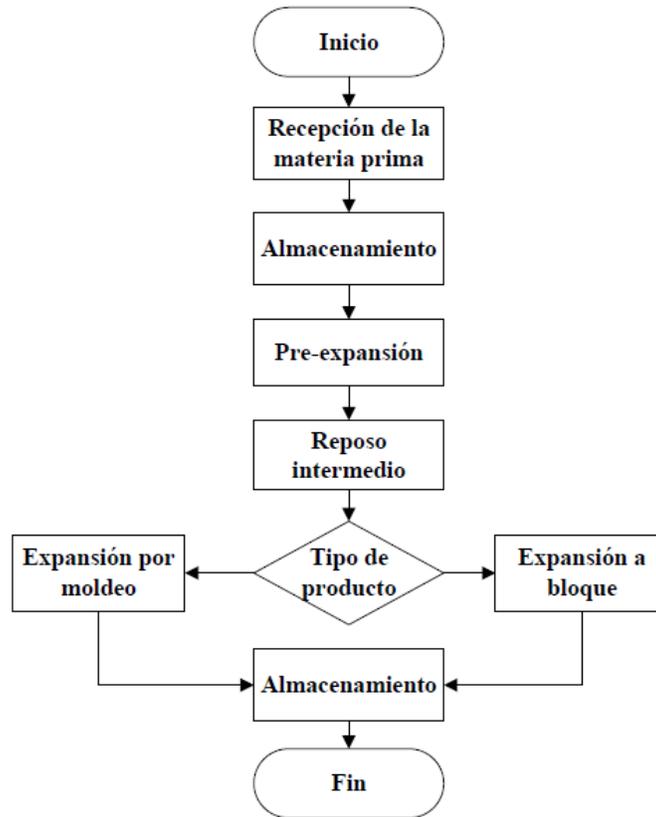


Figura 14. Diagrama de flujo de fabricación de piezas de EPS (BASF, 2001).

### 3.1. Materia prima

La materia prima para este proceso se denomina poliestireno expandible, que es un plástico celular termoestable derivado del monómero de estireno, el cual se polimeriza en presencia de un agente expansor, en este caso pentano, cuyo material es un componente de petróleo, y el estireno, un producto secundario del petróleo, ambos son hidrocarburos puros, que se componen de carbono e hidrógeno (Foronda, 2017).

Entre las características más importantes de este material BASF (2001), menciona que en función de la temperatura y del tiempo de exposición, la densidad aparente del material disminuye de unos  $630 \text{ kg/m}^3$  a unos  $10 \text{ kg/m}^3$ ; además debido a la alta temperatura, la

materia prima se ablanda, la presión de vapor del agente de expansión se eleva e hincha las perlas hasta que éstas llegan a alcanzar 50 veces su volumen original, por último esta materia prima se suministra en forma de perlas de 0.2 a 3.0 mm de diámetro (Figura 15).

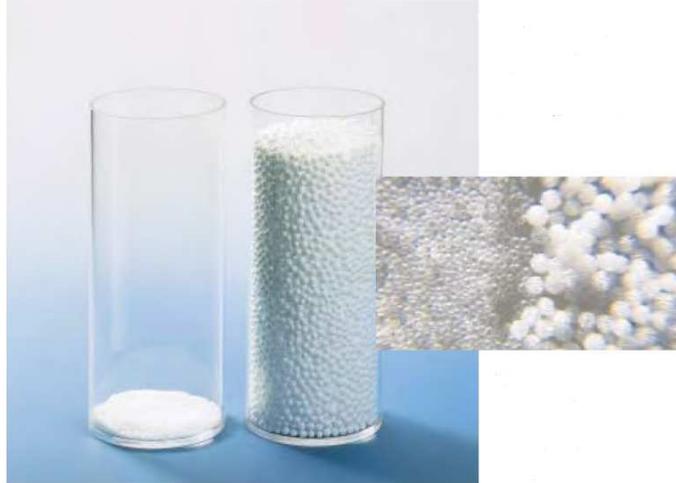


Figura 15. Aumento del volumen del poliestireno expandido (BASF, 2001).

### 3.2. Almacenamiento

El poliestireno expandible debe almacenarse en lugares frescos (20°C) y ventilados en su envase original cerrado. Con estas condiciones tiene aproximadamente una estabilidad de tres meses, en periodos mayores a este tiempo, el material ya no puede ser moldeado por carecer prácticamente de pentano; una vez abierto el recipiente, se debe de procesar de forma inmediata (IMPI, 2000).

#### *Transporte de la materia prima*

Algunos sistemas de transporte para materia prima son sistemas de transporte mecánicos; entre los que se encuentran los elevadores de cangilones, husillo rígido, husillo flexible y sistemas de transporte neumáticos; que pueden ser con inyector o un transportador por vacío (Con ventiladores). Los sistemas de transporte mecánicos son preferibles por razones de seguridad funcional y ausencia de abrasión (BASF, 2001).

### 3.3. Pre-Expansión

Es un procedimiento físico donde las perlas sufren una disminución de densidad debido a la aplicación de calor, pues el pentano produce una serie de celdas en su estructura interna;

esto es, el plástico aumenta su volumen en presencia del vapor de agua saturado seco. El equipo que efectúa esta operación recibe el nombre de pre-expansor, donde se logra una expansión libre a una temperatura que varía entre los 90 y 120°C (IMPI, 2000).

Existen dos tipos de pre-expansores:

- Pre-expansor abierto (Continuo)
- Pre-expansor cerrado (Batch/discontinuo)

El pre-expansor continuo (Figura 16a) tiene un caudal de material considerable, en este caso el depósito de pre-expansión es abastecido continuamente y bajo agitación con materia prima y vapor. En un aparato de pre-expansión discontinuo (Figura 16b) se carga una cantidad determinada de materia prima y se vaporiza bajo agitación, este proceso de expansión es interrumpido una vez que la espuma rígida alcanza una altura de ajuste, que se puede variar a través de la señal de una barrera de luz, o después de un tiempo dado (BASF, 2001).

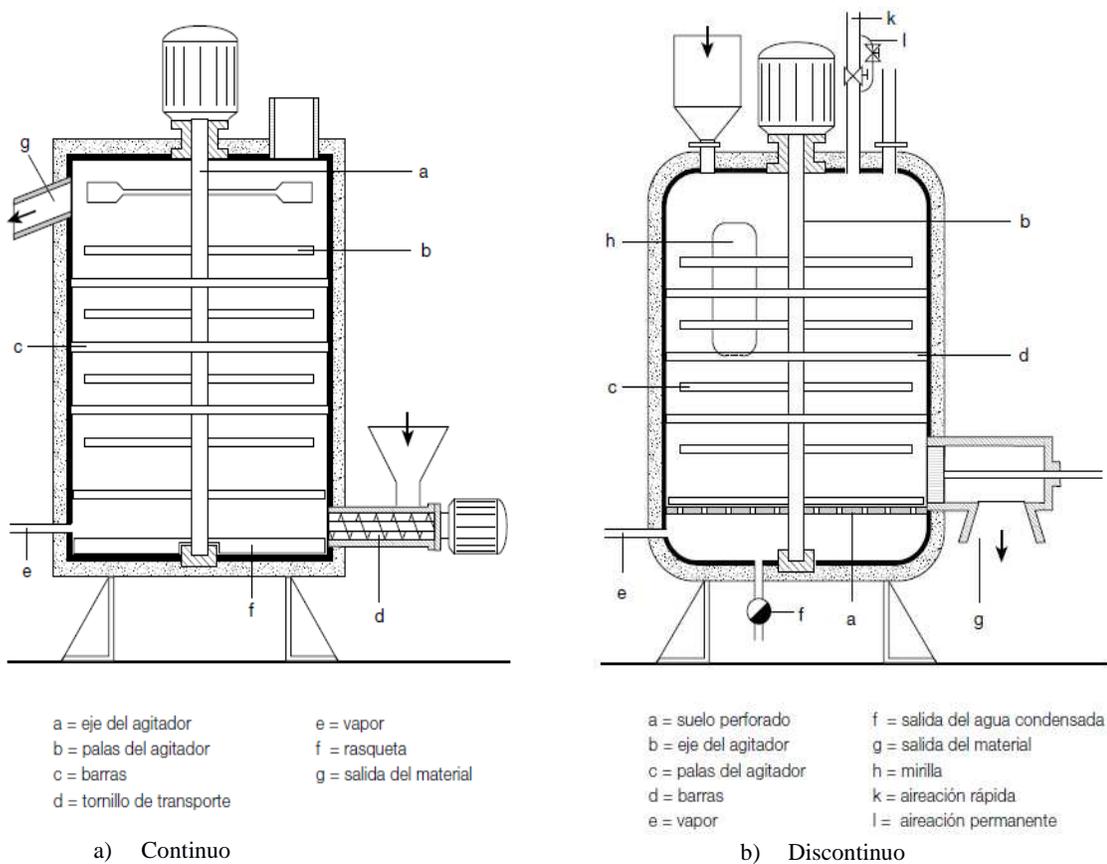


Figura 16. Pre-expansor de trabajo a) Continuo, b) Discontinuo (BASF, 2001).

Esta parte del proceso es crítico, debido a que las condiciones de la pre-expansión determinan en mayor grado las características de calidad en el producto, puesto que su densidad, a través del tamaño de la perla, queda definida en esta etapa. El incumplimiento de especificaciones para el producto, provienen de los problemas suscitados en esta etapa (IMPI, 2000). El comportamiento de la densidad de la perla según el tiempo de vaporización/expansión se observa en la Figura 17.

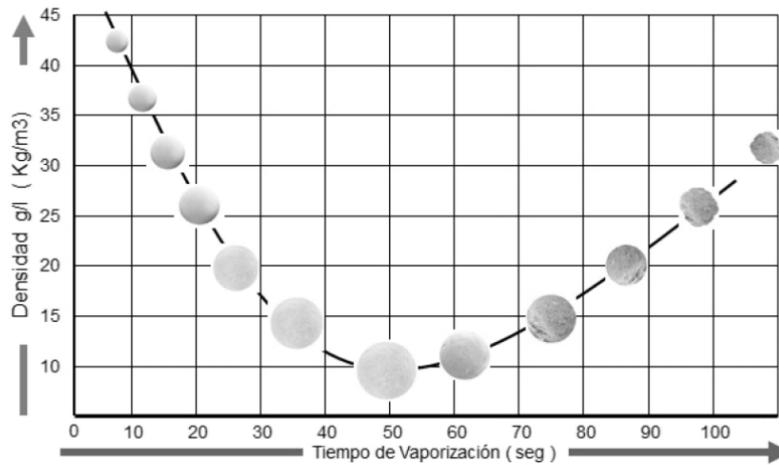


Figura 17. Densidad aparente en función del tiempo de expansión (BASF, 2019).

Los equipos necesarios para esta parte del proceso son los siguientes.

**Caldera:** La elección de este equipo depende de la forma en que se toma el vapor; al comprar una caldera BASF (2001), recomienda encargar por un pequeño precio suplementario, un domo de vapor provisto de separador de agua. Esta recomendación es válida también para el caso de que se instale un acumulador detrás de la caldera, pues el domo de vapor contribuye notablemente a que llegue la menor cantidad posible de agua alcalina al acumulador y se acumule allí.

**Condición del agua:** el estado en que se encuentre el agua es determinante para la calidad de las piezas obtenidas. Un pH de 9 hasta 10 se considera como óptimo, este valor es un punto de protección de la caldera y el contenido de agua en vapor (BASF, 2001).

Acumuladores de vapor.

Son depósitos de presión cilíndricos de posición horizontal, que generalmente están llenos hasta la mitad con agua hirviendo (BASF, 2001).

***Transporte del material pre-expandido***

Por las características de la perla hasta esta parte del proceso, es necesario un medio de transporte que dañe lo menos posible las paredes de las perlas. BASF (2001), muestra diversos dispositivos de alimentación teniendo en cuenta la densidad aparente del material ( $\sigma$ ), la velocidad de transporte ( $w$ ), el porcentaje de concentración volumétrica y el grado de carga hasta la obstrucción ( $v_{stopf}$ ) (Tabla 5).

Tabla 5. Dispositivos de alimentación (BASF, 2001).

Alimentación	$\sigma$ (kg/m <sup>3</sup> )	W (m/s)	V (%)	V <sub>stopf</sub> (%)
Exclusa de rueda celular	> 8	6-8	10	10-16
Inyector	> 20	10-15	0.75	2
Aspiración por ventilador	> 50	10-15	3	10-16

**3.4. Reposo intermedio de partículas pre-expandidas**

Después de la pre-expansión, el material se transporta neumáticamente a silos, para reposar ahí mismo el material se seca, el aire penetra en las perlas pre-expandidas. El objetivo del reposo intermedio es permitir que las perlas estabilicen su estructura, mediante el equilibrio de la presión interna de la perla y la atmosférica, de otra forma mostrarían menor resistencia mecánica; también durante esta etapa pierden parte del agente expansor. El tiempo de acondicionamiento dependerá de varios factores, los más importantes son la densidad aparente, que guarda estrecha relación con el tamaño de las perlas; las condiciones de la pre-expansión principalmente el tiempo, la temperatura: humedad y presión atmosférica (IMPI, 2000). Es por ello que BASF (2001), menciona que en el caso de densidades aparentes entre 15 y 20 kg/m<sup>3</sup> por lo general se trabaja con tiempos de reposo intermedio de entre 12-24 horas. El cumplimiento de determinados tiempos de reposo intermedio es decisivo para la posterior transformabilidad y las propiedades que tendrá la espuma rígida, sobre todo si dichos tiempos son inferiores a 8 horas en el caso del material en bloques o de 4 horas en el del material para piezas moldeadas. En la Figura 18, se

observa el proceso que se requiere para el almacenamiento intermedio de las perlas pre-expandidas.

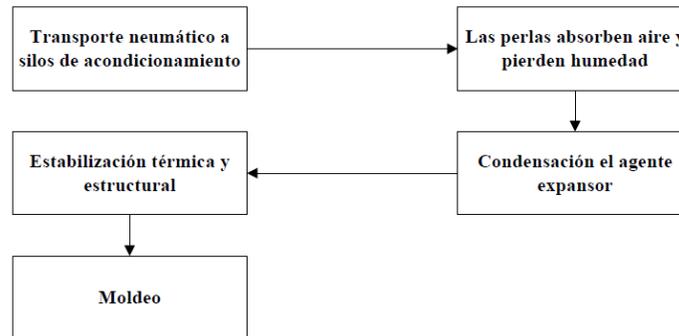


Figura 18. Proceso de almacenamiento intermedio de las perlas pre-expandidas (IMPI, 2000).

### 3.5. Expansión

El proceso de expansión se divide en dos partes, las cuales se presentan a continuación:

#### 3.5.1. Expansión a pieza moldeada

El moldeo consiste en exponer las perlas a una fuente de calor generalmente vapor, dentro de un espacio cerrado; los moldes se llenan completamente con las perlas pre-expandidas y reposadas, calentándose a una temperatura de 100 y 120 °C, con vapor saturado (IMPI, 2000). Las paredes del molde están provistas de toberas (orificios o rendijas) que comunican la cavidad con la cámara de vapor, un choque de vapor vuelve a reblandecer las perlas, que se expanden; la presión de expansión las comprime y las aprieta también contra las paredes del molde de manera que quedan soldadas entre sí, después se enfría por vacío, se anula la presión de expansión y se desmoldea la pieza acabada (BASF, 2001). En la Figura 19, se observa el proceso que se requiere para la expansión final.

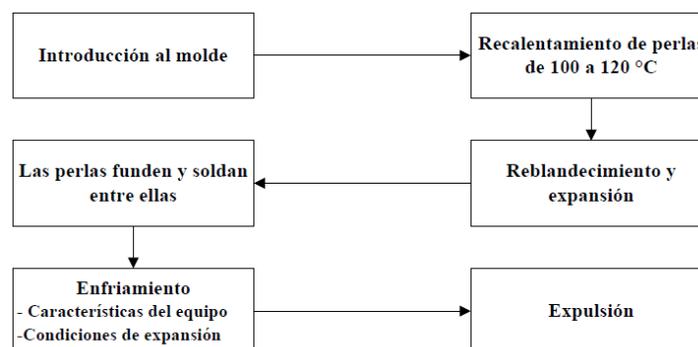


Figura 19. Proceso de expansión final (IMPI, 2000).

### **3.5.2. Expansión a bloque**

El equipo para fabricar bloques de EPS, es conocido en el medio como bloquera, consiste en una máquina que emplea una cámara de vapor modificado, en el que el molde y la máquina son prácticamente lo mismo; mediante paredes móviles o espaciadores puede variarse las dimensiones del producto a fabricar (IMPI, 2000). El proceso de fabricación de bloques y moldes es prácticamente igual a excepción de que después del moldeo se necesita un sistema de corte para los bloques.

IMPI (2000), menciona 4 diferentes tipos de corte.

- Corte por cuchilla: Es una operación manual de bajo nivel productivo, que depende de la capacidad del operador y está dirigido en particular a operaciones menores de acabado.
- Corte con sierra circular: Es más rápida que la anterior, solo permite cortes en línea recta y está limitada por el tamaño del cuerpo a cortar, es empleada para corte de planchas y cuerpos de espesor limitado.
- Corte por hilo caliente: Permite obtener siluetas con curvas y trabajos artísticos. No tiene mermas ni genera polvo, pero es una labor artesanal totalmente y, de muy bajo nivel productivo.
- Corte con sierra cinta: Tiene cierta libertad de corte, con una productividad parecida a la sierra circular, pero esta produce mermas y polvo.

### **3.6. Almacenamiento**

Los materiales expandidos recién fabricados presentan en las primeras horas o días, una tensión de compresión notablemente más baja a causa del vacío imperante en las celdillas, que desaparece lentamente al absorber aire. Por ello es sabido que al desmoldear piezas recién expandidas es preciso prestar especial atención a su sensibilidad a la presión (BASF, 2001).

Los equipos e insumos que intervienen en las diferentes etapas del proceso de producción de los ICF y casetones de EPS se muestran en la Figura 20.

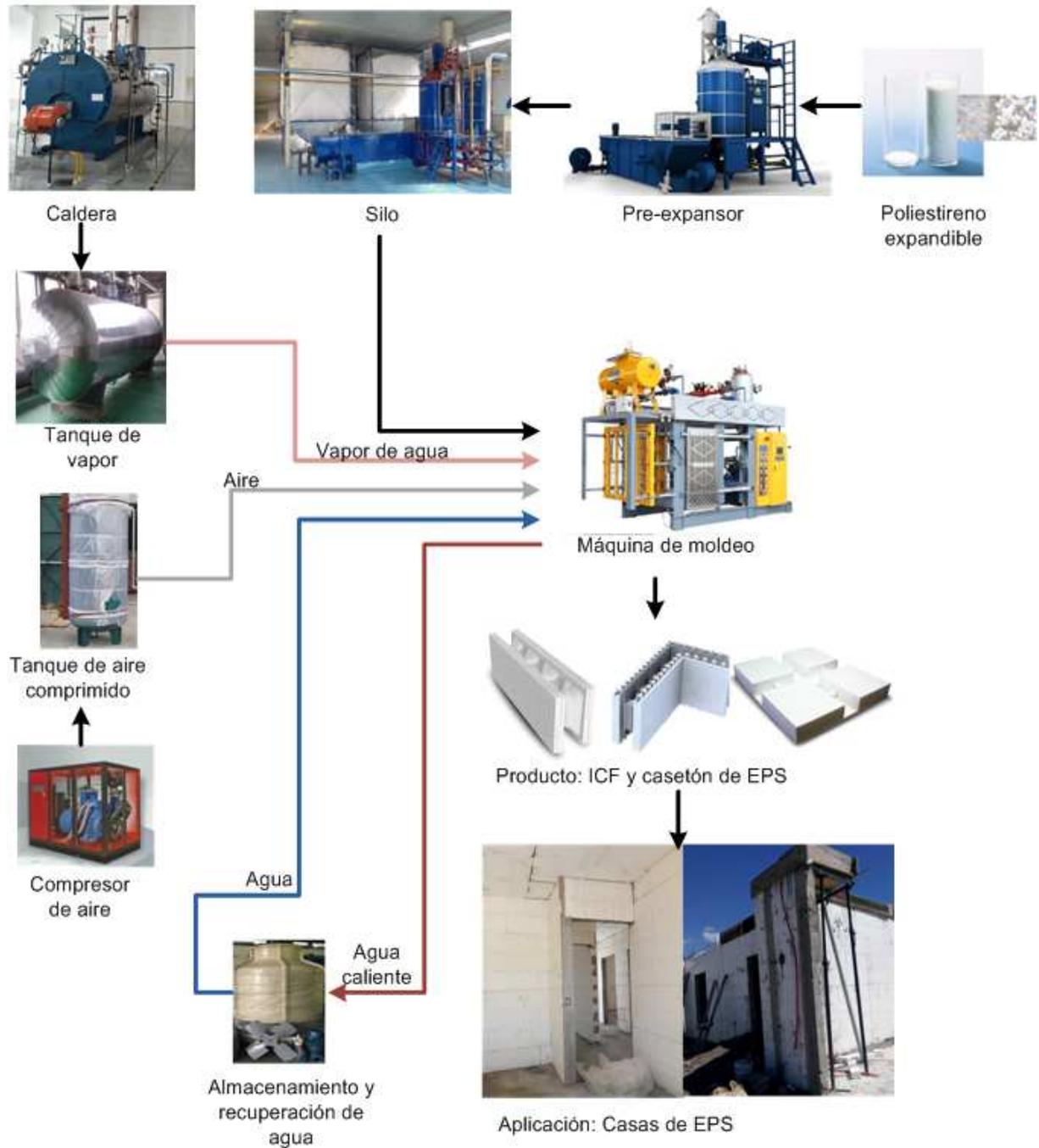


Figura 20. Proceso de fabricación de piezas de molde de EPS (Fuente: Propia).

### 3.7. Regulaciones

La Normalización es el proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado como público, en materia de salud, medio ambiente,

seguridad al usuario, información comercial, prácticas de comercio, industrial y laboral a través del cual se establecen la terminología, la clasificación, las directrices, las especificaciones, los atributos, las características, los métodos de prueba o las prescripciones aplicables a un producto, proceso o servicio (Secretaría de Economía, 2010).

En 1965 fue publicada por primera vez la ASTM C 578: Standard specification for rigid, cellular polystyrene thermal insulation, esta norma contemplaba materiales como el EPS y XPS, aun cuando son materiales diferentes debido a su procesamiento (García, 2016).

Hoy en día en México existe la NMX-C-137-ONNCCE-2010, Industria De La Construcción - Espuma Rígida De Poliestireno, EPS -Especificaciones y Métodos De Ensayo, que tiene por objeto establecer las especificaciones y métodos de ensayo a cumplir por los materiales de espuma rígida de poliestireno que se utilizan principalmente como aligerante y aislamiento térmico en las edificaciones.

#### ***Establecimiento de una planta de producción de piezas de EPS***

Considerar normas para el establecimiento de una planta y la producción de piezas de EPS es de gran importancia ya que al hacer esto se tiene como objetivo salvaguardar la vida de las personas, preservar su integridad, también permite tener un control sobre los procedimientos de la planta lo que podría traducirse a reducción de costos, tiempo y a una producción eficiente y de calidad para llegar al grado de ser competitiva en el mercado.

Las siguientes normas se pueden tomar como referencia para la instalación de esta planta.

- NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad.

Que tiene por objetivo establecer los procesos y medidas para prevenir riesgos a la salud del personal ocupacionalmente expuesto a agentes químicos contaminantes del ambiente laboral.

- Reglamento de Construcción y Seguridad Estructural para el Estado de Oaxaca, de la Ley de Desarrollo Urbano para el Estado de Oaxaca, el cual entre sus objetivos se encuentra controlar las obras de construcción, instalaciones, modificaciones, ampliación, reparación, conservación, restauración y demolición, así como el uso de

edificaciones y los usos, destinos y reservas de los predios y los centros de población del territorio del estado.

### ***Manejo de los residuos del poliestireno expandible***

El poliestireno expandido no contiene hidrocarburos clorofluorados (FCC) o hidrocarburos cloro fluorados parcialmente hidrogenados (HFCC). Por consiguiente, estas sustancias no pueden llegar a dañar al medio ambiente durante la fabricación y transformación ni en la aplicación de espuma rígida de poliestireno expandido (Foronda, 2017).

Empolime (2012), menciona que este tipo de material presenta las siguientes características.

- El EPS es 100% reciclable y existen numerosas aplicaciones para los materiales recuperados.
- El proceso de transformación consume poca energía y no genera residuos.
- Los productos de EPS encierran una alto potencial calorífico (1 Kg. de EPS equivale a 1,3 litros de combustible líquido), lo que le convierte en un material idóneo para la recuperación energética.

## CAPÍTULO IV. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Sule (1994), señala que la ubicación geográfica de una planta nueva tiene un efecto importante sobre la rentabilidad final de una empresa. El estudio de la localización consiste en el análisis de las variables consideradas como factores de localización, las que determinan el lugar donde el proyecto logra la máxima utilidad o el mínimo de los costos unitarios (Erossa, 1987).

El análisis y la selección de la localización incluyen dos etapas principales que son la macrolocalización y la microlocalización.

### 4.1. Macrolocalización

#### *Heroica Ciudad de Huajuapán de León*

El municipio Heroica Ciudad de Huajuapán de León (Figura 21), es uno de los 570 municipios que conforman el estado de Oaxaca y se localiza al noroeste del Estado, entre los paralelos 17° 43' y 18° 03' de latitud norte, los meridianos 97° 42' y 97° 55' de longitud oeste, entre una altitud de 1400 y 2300 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.). La superficie total del municipio es de 325.41 km<sup>2</sup>, en relación al estado representa el 0.35 %, además se encuentra a una distancia de 192.65 km. de la Ciudad de Oaxaca de Juárez (Municipio de Huajuapán de León, 2017).



Figura 21. Municipio de Huajuapán de León y agencias propuestas para la instalación de la planta, Editado de Archivo México-Oaxaca (2016).

En cuanto a su población, la encuesta inter-censal INEGI (2015), menciona que la población registrada en el año 2015 en Huajuapán de León fue de 77,547 habitantes; de los cuales 36,447 corresponden a hombres y 41,099 a mujeres lo que lo hace el municipio con el mayor número de población de la Mixteca Oaxaqueña. De acuerdo con los datos publicados en la Gaceta municipal del plan municipal de desarrollo 2017-2018 del municipio de Huajuapán de León, las localidades que conforman su organización administrativa son: 11 Agencias municipales, 19 agencias de policía, 62 colonias, 7 barrios, y 35 fraccionamientos.

Respecto al clima, la temporada de lluvia es nublada, mientras que la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 8 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 35 °C (Weather Spark, 2019).

## **4.2. Microlocalización**

Para seleccionar el sitio de instalación de la planta se proponen tres lugares (Figura 21), los cuales son:

- Agencia Acatlima
- Agencia Agua dulce
- Agencia La Junta

Todas las agencias pertenecen al municipio de Huajuapán de León, y están ubicadas al norte del municipio. La elección de estos lugares se hizo considerando la disponibilidad de terreno, la cercanía con otras empresas, la accesibilidad en cuanto a los servicios básicos, y la aceptación de los directivos de la empresa.

Por otra parte se entrevistó al personal de cada agencia en función y mencionaron que su forma de gobierno es por usos y costumbres, por ello cuando una empresa desea instalarse, la decisión depende del acuerdo de los ciudadanos y la decisión final está sujeta por la presidencia del municipio, así también señalan que sí existen terrenos de tamaño significativo en las agencias y respecto a normativas ambientales, no existe ninguna reglamentación. Por su parte la presidencia del municipio mencionó que la aceptación de la instalación, los incentivos y facilidades, así como las obligaciones de la empresa

dependerán de la administración en función; debido a que no existe un procedimiento como tal para estos casos.

A continuación se hace una breve descripción de los tres lugares mencionados anteriormente.

### ***Acatlima***

La agencia Acatlima (Figura 21), se encuentra al noroeste del municipio a una altitud de 1795 metros sobre el nivel del mar, según el INEGI en su Censo de Población y Vivienda 2010, en esta localidad hay un registro de 812 personas, de las cuales 369 son hombres y 443 son mujeres. El 37 % del total de personas registradas tiene entre 0 a 17 años, el 7.63 % tiene 60 años o más, mientras que el porcentaje de población restante, es decir el 55.37% tiene de 18 a 59 años. En la agencia Acatlima hay un total de 894 viviendas de las cuales solo 220 están habitadas, además en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (2015), está registrada solo una empresa de un tamaño significativo la cual es una Comercializadora de Lácteos y Derivados S.A. de C. V. perteneciente al grupo LALA, S.A.B. de C.V.

Es importante mencionar que en esta comunidad se encuentra la Universidad Tecnológica de la Mixteca, una de las 4 universidades del municipio.

### ***Agua Dulce***

La agencia Agua Dulce (Figura 21), se encuentra al norte del municipio a una altitud de 1688 metros sobre el nivel del mar, respecto a su población hay un registro de 390 personas de las cuales 176 son hombres y 214 son mujeres. El 41.79 % de la población total tiene entre 0-17 años y el 52.30 % tiene entre 18-59 años, el restante tiene 60 o más años. Además hay un total de 142 viviendas, de las cuales 84 están habitadas (INEGI, 2010). Así también el DENUE del INEGI tiene registrado a la empresa Cervezas Modelo en la Mixteca S.A. de C.V., la cual está ubicada en esta localidad. Una característica importante de esta localidad es que se encuentra al lado de la carretera federal 190 y cercana al libramiento del municipio.

**La Junta**

La agencia La Junta (Figura 21), se encuentra al noreste del municipio al lado de la carretera 125 a una altitud de 1626 metros sobre el nivel del mar. Según el INEGI (2010), la población total es de 1,015 personas, por ello es considerada una de las 6 agencias con mayor población en el municipio. Por otro lado del total de personas registradas 499 son hombres y 516 son mujeres. El 40.09 % de la población total tiene entre 0-17 años y el 51.72 % tiene entre 18-59 años, así el restante tiene 60 o más años. Existen 301 viviendas registradas en la agencia, de las cuales la mayoría están habitadas; es decir 245.

Esta agencia se ha caracterizado por la cantidad de empresas que se han instalado en este lugar ya que según el DENUÉ de INEGI están registradas 4 empresas, las cuales son:

- Comercio al por mayor de pan y pasteles de la empresa BIMBO S. A. de C. V.
- Comercio al por mayor de botanas y frituras de la empresa BARCEL S.A. de C.V.
- Comercio al por mayor de bebidas no alcohólicas y hielo de la empresa PROPIMEX S.A. de C.V.
- Comercio al por menor de gasolina y diésel de Combustibles de Huajuapán S.A. de C.V.

Así también están instaladas una Comercializadora de bebidas perteneciente al grupo Coca-Cola FEMSA, S.A.B. de C.V. y una empresa que se dedica a la venta de materiales de construcción, CONSTRURAMA la Junta S.A. de C.V.

**4.3. Selección del sitio de instalación**

Para seleccionar el sitio de instalación de la planta, se usará el método de evaluación por alternativas, considerando los factores que señala Sule (1994), los cuales se muestran en la Tabla 6, y se desarrollan en las Tablas 7-12.

Tabla 6. Factores para la selección del sitio (Sule, 1994).

<b>Factores</b>	
1. Servicios de transporte	2. Oferta de mano de obra
3. Disponibilidad de terrenos	4. Disponibilidad de los servicios adecuados
5. Características geográficas y meteorológicas	6. Impuestos y otras leyes
7. Cercanía de los mercados	8. Proximidad de las materias primas

Tabla 7. Evaluación de servicios de transporte (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Transporte para materia prima y producto terminado	Cercano a la carretera Federal 190	Entre carretera Federal 190 y el libramiento del municipio	Al lado de la carretera Federal 190 y cercano al libramiento del municipio
Transporte para personal	Existe transporte colectivo		
Reglamentación sobre movilidad	La jefatura de vialidad y movilidad les señalará la ruta alterna a tomar, esto dependerá del lugar de instalación <sup>1</sup>		

<sup>1</sup>Fuente: Municipio de Huajuapán de León, (2015)

Tabla 8. Evaluación de mano de obra (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Empleados (Se toma el intervalo susceptible a ser empleador)	442 personas tienen entre 18-59 años <sup>2</sup>	204 personas tienen entre 18-59 años <sup>2</sup>	525 personas tienen entre 18-59 años <sup>2</sup>
Sueldo	Salario Vigente es de 102.68 pesos diarios <sup>3</sup>		
Competencia	No existe en la región Sureste de México		
Educación (Grado promedio de escolaridad)	9.35 <sup>2</sup>	7.50 <sup>2</sup>	8.96 <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Fuente: INEGI, (2010)

<sup>3</sup> Fuente: DOF, (2019)

Tabla 9. Evaluación de disponibilidad de terreno (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Problemas legales	No se tiene registro de algún problema		
Uso del suelo	Cactáceas y arbolado claro <sup>4</sup>	Arbolado claro <sup>4</sup>	Agrícola <sup>4</sup>
Espacio adicional para ampliaciones futuras	Disponibilidad de Terreno		

<sup>4</sup> Fuente: Blanco Andray & Martínez Ramírez (2001)

Tabla 10. Evaluación de servicios adecuados (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Agua	Si hay servicio <sup>5</sup>		
Energía eléctrica	Si hay servicio <sup>5</sup>		
Drenaje	Si hay servicio <sup>5</sup>		
Disponibilidad de la estación de bomberos	La estación se encuentra aprox. 7 km	La estación se encuentra aprox. 4.5 km	La estación se encuentra aprox. 3 km

<sup>5</sup> Fuente: INEGI, (2010)

Tabla 11. Evaluación de consideraciones geográficas y meteorológicas (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Altitud (m s. n. m.)	1795 <sup>6</sup>	1688 <sup>6</sup>	1626 <sup>6</sup>
Temperatura media anual (°C)	20 <sup>6</sup>		
Humedad	Es proporcional a la altitud		
Velocidad del viento anual	Oscila entre 5-22 Km/h <sup>7</sup>		
Precipitación anual (mm)	700-750 <sup>8</sup>		

<sup>6</sup> Fuente: INEGI, (2010)

<sup>7</sup> Fuente: Freemeteeo, (2019)

<sup>8</sup> Fuente: Blanco Andray & Martínez Ramírez (2001)

Tabla 12. Evaluación de impuestos y consideraciones legales (Fuente: Propia).

Variables	Acatlima	Agua Dulce	La Junta
Predial	Todos los impuestos y consideraciones se acuerdan directamente con el presidente del municipio y conocimiento de la agencia.		
De ingresos			
De ventas			

La cercanía de los mercados y la proximidad a las materias primas también son factores a considerar según Sule (1994), es importante que la planta se ubique cerca de los clientes, en especial para los artículos voluminosos o para los que es apreciable el costo del embarque y cerca de las materias primas cuando estas son perecederas. La empresa constructora tiene a sus principales clientes en Huajuapán de León entre los que se encuentran la agencia Acatlima y el Fraccionamiento los Álamos. En cuanto a la materia prima BASF (2019), menciona que en México existen 5 sitios de producción de EPS, de los cuales tres se encuentran en el Estado de México, uno en Tamaulipas y el otro en Puebla, siendo este último el más cercano al municipio de Huajuapán de León.

Para seleccionar la mejor opción se usa el método de evaluación de alternativas considerando los factores mencionados anteriormente, el cual se observa en la Figura 22; para la ponderación se utiliza una escala del 1-10 donde el 10 es el mejor y el 1 es el peor.

Con esta evaluación se propone a la agencia La Junta para la instalación de la planta.

Evaluación de alternativas								
<b>Planta:</b> Empresa Constructora	<b>Alternativas</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		
<b>Proyecto:</b> Selección del sitio para una planta piloto para sistemas de moldeo de EPS		Agencia Acatlima		Agencia Agua Dulce		Agencia La Junta		
<b>Fecha:</b> 12/07/2019								
<b>Analista:</b> Mireya Hernández								
Factor/Consideración	Peso	Valores y valores ponderados						Comentarios
		A		B		C		
1. Servicios de transporte	0.9	7.0	6.3	8.0	7.2	9.0	8.1	
2. Oferta de mano de obra	0.5	8.0	4.0	7.0	3.5	8.0	4.0	
3. Disponibilidad de terreno	0.8	7.0	5.6	7.0	5.6	7.0	5.6	
4. Cercanía de los mercados	0.7	9.0	6.3	8.0	5.6	8.0	5.6	
5. Disponibilidad de los servicios adecuados	0.8	8.0	6.4	8.0	6.4	9.0	7.2	
6. Proximidad a la materia prima	0.6	7.0	4.2	7.0	4.2	7.0	4.2	
7. Características Geográficas y meteorológicas	0.6	8.0	4.8	8.0	4.8	8.0	4.8	
8. Impuestos y otras leyes	0.7	8.0	5.6	8.0	5.6	8.0	5.6	
		62.0	43.2	61	42.9	64	45.1	
<b>Totales</b>		43.2		42.9		45.1		

Figura 22. Evaluación de alternativas para la selección del sitio de instalación (Fuente: Propia).

## **CAPÍTULO V. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PSD**

---

El método sistemático para configurar plantas desarrollado por Muther (1968) se llama Planeación Sistemática de la Distribución (PSD). El objetivo de la PSD es ubicar dos áreas con grandes relaciones lógicas y de frecuencia cercanas entre sí mediante el uso de un procedimiento directo de seis pasos:

- 1) Definición
- 2) Análisis
- 3) Síntesis
- 4) Evaluación
- 5) Selección (Valoración)
- 6) Implantación

A continuación se desarrolla cada uno de los siguientes pasos de la metodología PSD.

### **5.1. Definición**

#### **5.1.1. Análisis Producto-Cantidad**

Para diseñar una distribución de planta es necesario conocer lo que se va a producir y en qué cantidades, a partir de esta información es posible iniciar el análisis de una distribución adecuada.

#### ***Descripción del producto***

Los productos que se pretende fabricar en la planta son IFC y el casetón de poliestireno. Estas piezas son productos de poliestireno expandido diseñados para facilitar la construcción de muros y losas de concreto con un buen nivel de aislamiento. La configuración geométrica de ambos productos hace que tanto en los muros como en las losas haya una capa intermedia en la que se alternan el poliestireno expandido y el concreto reforzado, formando este último una retícula estructural (Ordoñez, 2014).

### ICF

Se van a producir dos formas diferentes de ICF, los cuales son el larguero y el esquinero, este tipo de producto se llama forma de núcleo parrilla, a diferencia de otros tipos de ICF, este posee las siguientes ventajas:

- Al tener más EPS lo hace más térmico.
- Su diseño interior en forma de cuadrícula brinda una mayor capacidad estructural.
- Requiere de un menor volumen de concreto al interior generando un ahorro.
- Al no requerir de las piezas de unión de polipropileno, el costo es menor (ICF México, 2019).

La primera pieza se llama larguero su función es ensamblarse en los muros lineales de una casa, las dimensiones de este producto se muestran en la Figura 23 en mm como unidades.

La densidad de esta pieza de EPS para este trabajo es de  $18 \text{ kg/m}^3$ .

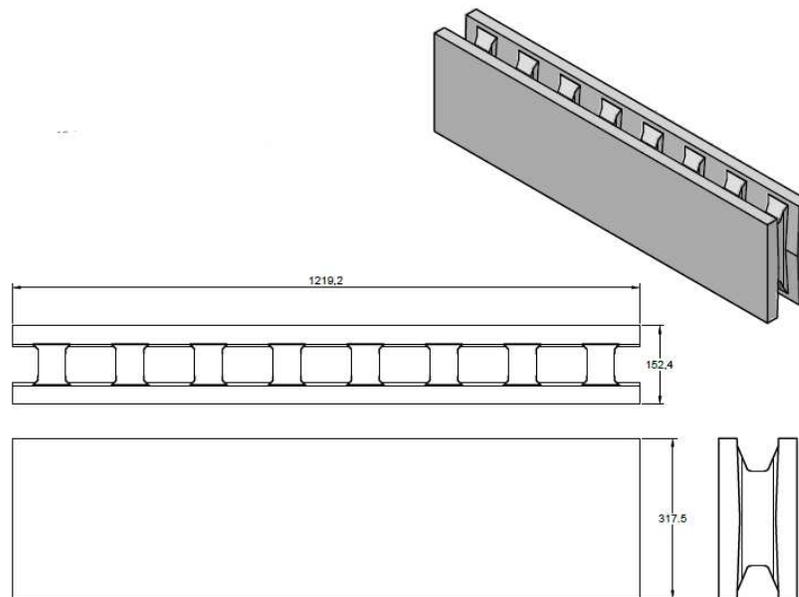


Figura 23. Larguero de EPS (Fuente: Propia).

El siguiente producto es el esquinero cuya densidad es de  $18 \text{ kg/m}^3$ , su función es ensamblarse en las áreas donde en la casa se presentan esquinas, las dimensiones de este producto se muestran en la Figura 24.

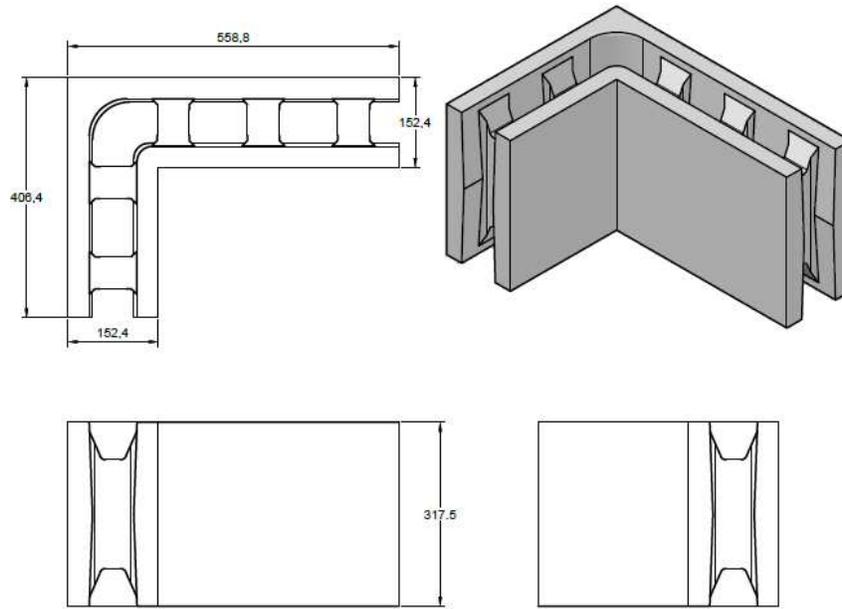


Figura 24. Esquinero de EPS (Fuente: Propia).

### ***Casetón de EPS***

El tercer producto es el casetón estructural térmico, una pieza de poliestireno expandido, que con su capacidad de aislamiento y geometría permiten la construcción de losas de concreto armado, con aislamiento integral, a diferencia de las dos piezas anteriores la densidad de este producto es menor, de  $10 \text{ kg/m}^3$  (Figura 25).

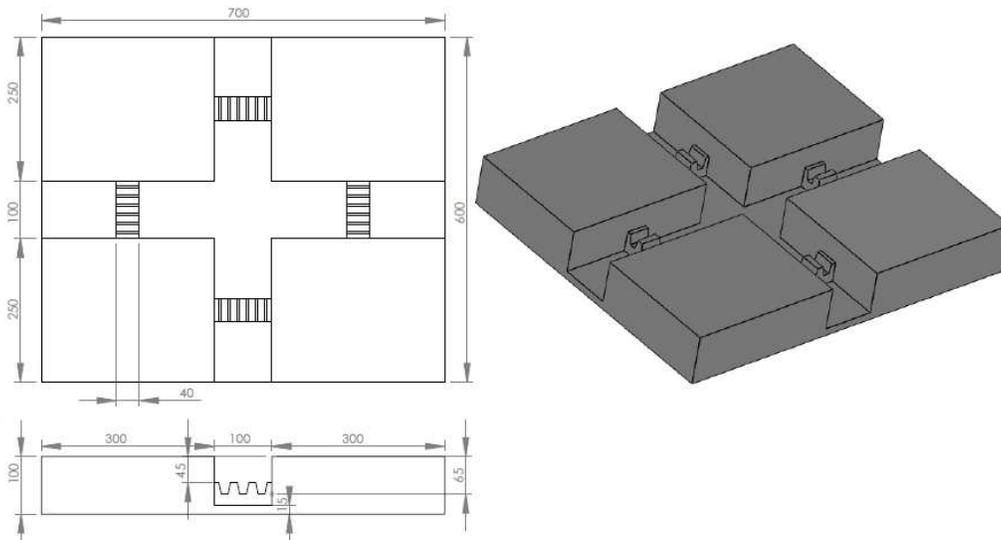


Figura 25. Casetón Térmico Estructural (Estrutec, 2011).

### ***Variabilidad***

Una industria que fabrique un solo producto debe tener una distribución completamente diferente de la que fabrique una gran variedad de artículos. Una distribución para un solo producto deberá aproximarse mucho a la producción en cadena (Muther, 1968).

El análisis de la variedad productos en comparación con su cantidad constituye parte importante de los proyectos ya que esta información será punto de partida para determinar la prioridad de los productos. Es por ello que a continuación se desarrolla el análisis P-Q.

- a) Clasificación de los productos. Existen tres tipos de productos (descritos anteriormente) que son: el esquinero, el larguero y el casetón de EPS.
- b) Las cantidades previstas para cada producto se calculan con la información proporcionada por la empresa:
  - Actualmente la empresa maneja dos modelos de casa, los cuales son Terra y Aqua, que presentan las siguientes características:  
Área cubierta: 110 y 88 m<sup>2</sup> respectivamente, ambas incluyen 3 recámaras, sala-comedor, patio de servicio, estacionamiento y patio trasero. El modelo de casa que más se construye es el modelo Terra, el cual será base para el análisis siguiente.  
Para la construcción de la casa modelo Terra, se necesitan 540 largueros, 99 esquineros y 260 casetones.
  - La empresa ha mencionado que tienen interés en producir una cantidad más elevada de casetones de EPS ya que este producto tiene más factibilidad para venderse en el mercado a diferencia de los largueros y esquineros, por ello se propone producir el 50% más de la cantidad total de los productos que se producirán por la empresa.

Considerando esta información, se calcula el porcentaje de piezas necesario para construir una casa modelo Terra y el porcentaje anual requerido por la empresa, tomando en cuenta que el 50% de producción corresponde a los casetones de EPS y el restante para la construcción de una casa, el cual se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Porcentaje de piezas de EPS requeridas (Fuente: Propia).

Producto	Piezas para una casa	Porcentaje para una casa	Piezas considerando 50% de casetones	Porcentaje anual considerando el porcentaje adicional de casetones.
Casetón	260	28.92 %	260 + 899 =1,159	64.46 %
Larguero	540	60.06 %	540	30.03 %
Esquinero	99	11.02%	99	5.50 %
Total (piezas)	899	100%	1,798	100%

c) Con los datos anteriores se obtiene el gráfico P-Q mostrado en la Figura 26.

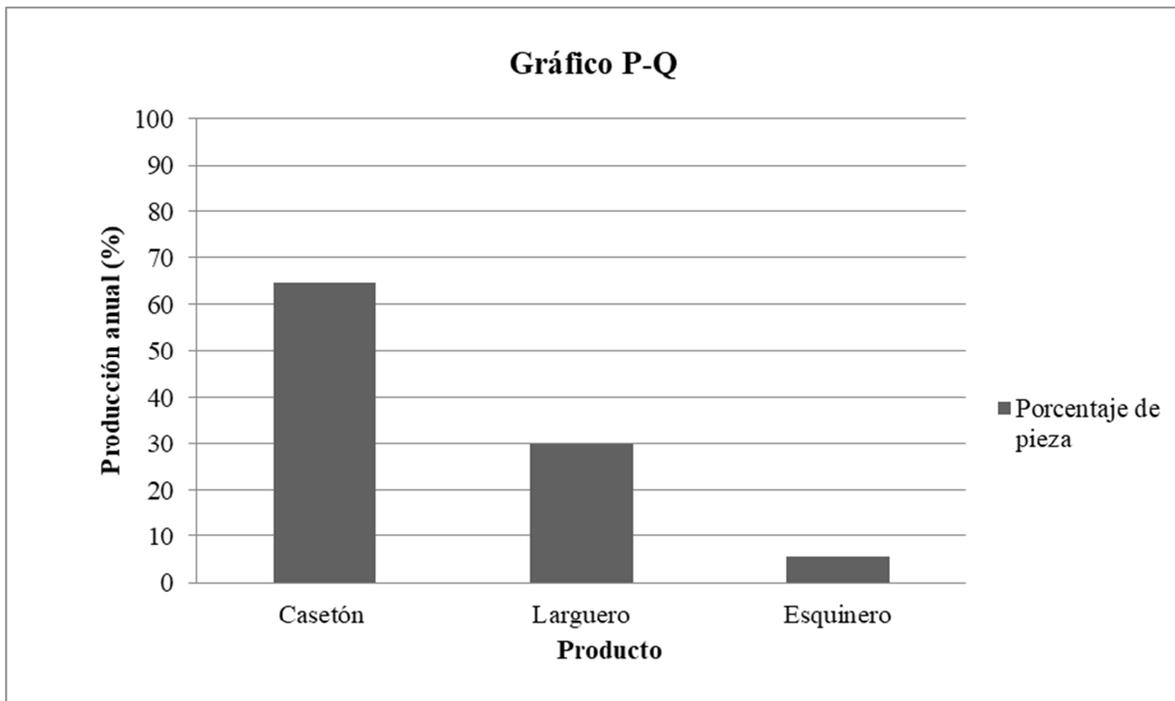


Figura 26. Gráfico P-Q de los productos de EPS (Fuente: Propia)

En el gráfico P-Q, se observa que en el extremo izquierdo figura una cantidad importante de productos de un solo tipo, que es el casetón; la fabricación de este producto requiere condiciones de producción en masa. Por otro lado, el otro extremo se aprecia otro tipo de producto que es el esquinero, el cual requiere ser fabricado en pequeñas cantidades.

***Planeación de la producción***

Como se mencionó anteriormente es importante conocer las características de la producción ya que es un factor determinante para el desarrollo de una planta, identificar las características en cuanto a variedad de producción, volumen de producción, así como la flexibilidad para incorporar cambios de productos son consideraciones que deben de determinarse, ya que de esto dependen los tiempos muertos, los costos y la productividad de la empresa. Sule (1994), menciona que para determinar las características de la producción, primero se necesita elaborar las gráficas de producción, luego identificar el sistema de producción y al final asignar el personal; estos pasos se desarrollan a continuación, sin embargo el último se desarrolla en el tercer paso de la metodología.

***Recorrido de productos***

Muther (1968) y Sule (1994), coinciden en que es importante analizar los procesos de transformación de los productos ya que son la columna vertebral de las actividades de planeación y mejoramiento; por eso para ilustrar las actividades que participan en la fabricación de los productos se desarrolla el diagrama de flujo del proceso cuya función es analizar la secuencia de movimientos del material en todo su proceso de transformación. Este tipo de diagrama necesita varios símbolos los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Conjunto de símbolos del diagrama de proceso (Niegel & Freivalds, 2009).

Evento/ Acción	Símbolo	Descripción
Operación	○	La parte bajo estudio se transforma intencionalmente.
Transporte	⇒	Mover un objeto de un lugar a otro excepto cuando el movimiento se lleva a cabo durante una operación o inspección.
Retraso/Demora	D	Cuando una parte no puede ser procesada inmediatamente en la próxima estación de trabajo.
Inspección	□	Cuando la parte es examinada para determinar su cumplimiento con un estándar.
Almacenamiento	▽	Cuando una parte se guarda y protege en un determinado lugar para que nadie la remueva sin autorización

En la Figura 27, se muestra el diagrama del flujo del proceso para la fabricación de una pieza de ICF (Larguero), es importante mencionar que solo se elabora el diagrama de flujo

de recorrido para el larguero, ya que para las piezas restantes siguen el mismo proceso, la única diferencia es que utilizan moldeadoras diferentes en la segunda expansión. El tiempo para cada evento registrado en el diagrama del flujo del proceso es estimado conforme a los tiempos predeterminados por los proveedores, así como de la ficha Técnica de BASF (2001).

Diagrama de flujo del proceso								
Ubicación: Huajuapán de León		Resumen						
Actividad: Fabricación de ICF (Larguero)		Evento	Presente	Propuesto	Ahorros			
Fecha: 11/07/2019		Operación		2				
Operador:		Transporte		4				
Analista: Mireya Hernández		Retrasos						
Subraye el método y tipo apropiados <b>Método:</b> Presente <u>Propuesto</u> <b>Tipo:</b> Trabajador <u>Material</u> Máquina		Inspección		2				
		Almacen		3				
		Tiempo (min)		38.5 **				
Comentarios:		Distancia (m)		78.5				
		Costo						
Descripción de los eventos	Símbolo					Tiempo (min) *Días	Distancia (m)	Recomendaciones al método
Cuarto con la existencia de materia prima	○	⇒	D	□	▽	*0-60	0	Evitar almacenar la materia prima en periodos largos de tiempo
Hacia el área de producción	○	⇒	D	□	▽	1	15	Utilizar sistema de transporte neumático
Primera expansión	⊙	⇒	D	□	▽	30	0	Utilizar un pre-expansor por lotes
Revisar densidad	○	⇒	D	□	▽	0.5	0	
Hacia los silos	○	⇒	D	□	▽	1	6.5	Utilizar un transporte que dañe lo menos posible las perlas
Silo con la existencia de la materia prima	○	⇒	D	□	▽	*1	0	Todos los equipos deben de estar conectados a tierra
Hacia la moldeadora	○	⇒	D	□	▽	1.5	9	Utilizar sistema de transporte neumático
Segunda expansión	⊙	⇒	D	□	▽	2	0	Asegurar una ventilación adecuada en la expansión de EPS
Revisar densidad	○	⇒	D	□	▽	0.5	0	
Hacia el cuarto de almacenamiento	○	⇒	D	□	▽	2	48	
Cuarto con la existencia de producto terminado	○	⇒	D	□	▽	*0-60	0	El cumplimiento del tiempo de reposo mejora su calidad
<b>Notas:</b>	El tiempo y la distancia entre de cada evento es estimado, tomando en referencia la información de proveedores y de la bibliografía							
	** Solo se consideran los min, ya que los días son variados							

Figura 27. Diagrama de flujo de procesos de la fabricación de ICF (Larguero) (Fuente: Propia).

### **Hoja de ruta**

El siguiente paso en la planeación es hacer una hoja de ruta, en ella se muestra cómo se va a producir una pieza, qué máquinas se necesitan y la producción en términos de unidades esperadas en cada máquina por hora. La Figura 28, muestra la hoja de ruta para el larguero.

<b>Operación</b>		<b>Máquina</b>	<b>Equipo Aux.</b>	<b>Unidad/h</b>
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>			
1.-	Transporte de materia prima al pre-expansor	Ventilador	-	Función de acuerdo a la sección transversal del conducto <sup>1</sup>
2.-	Primera expansión	Pre-expansor	Acumulador de vapor y tanque de aire comprimido	Aprox. 350~950 kg/h <sup>1</sup>
3.-	Inspección de densidad	Pre-expansor	-	-
4.-	Transporte de material pre-expandido	Ventilador	-	36000 - 54000 m/h <sup>1</sup>
5.-	Almacenamiento	Silo	-	12- 24 h <sup>2</sup>
6.-	Transporte de material hacia moldeadora	Ventilador	-	36000 - 54000 m/h <sup>2</sup>
7.-	Segunda expansión	Moldeadora	Acumulador de vapor y tanque de aire comprimido	150 pzas/h <sup>1</sup>
8.-	Inspección de densidad	Balanza	-	120 pzas/ h <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fuente: Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd, (2019)

<sup>2</sup> Fuente: BASF, (2001)

Figura 28. Hoja de Ruta para el larguero (Fuente: Propia).

### **Determinación de la cantidad de producto**

La capacidad determina los requerimientos de capital, parte del costo fijo, así también determina si se cumplirá la demanda o si las instalaciones estarán desocupadas; si la instalación es demasiado grande, algunas de sus partes estarán ociosas y agregarán costos a la producción existente; si la instalación es demasiado pequeña, se perderán clientes y quizá mercados completos (Heizer & Render, 2009). Por lo tanto la capacidad es determinante para el tamaño de las instalaciones.

#### **Consideraciones de la capacidad**

Además de calcular la capacidad de producción, Heizer y Render (2009), mencionan que es necesario tomar en cuenta algunos puntos durante el cálculo de la capacidad de producción.

Entre ellos se encuentra pronosticar la demanda con exactitud, ya que un pronóstico preciso resulta esencial para tomar una decisión sobre la capacidad.

Es por eso que se utiliza la técnica de pronóstico cualitativa, específicamente la de jurado de opinión ejecutiva, para ello se le preguntó al personal de la empresa cuál es el pronóstico anual que tienen planeado alcanzar, a lo que respondieron 150 casas, además de este dato y considerando una producción del 50% del total de la producción para los casetones, se calcula la producción real.

Para determinar la capacidad de diseño y la capacidad efectiva se apoya de la información proporcionada en la Tabla 15.

Tabla 15. Consideraciones para la operación de la planta (Fuente: Propia).

Días de la semana laborales	Lunes-Sábado
Turno	8 horas
Tiempo de ciclo	2 minutos
Piezas por ciclo (Promedio)	5 piezas <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fuente: Proveedores de la maquinaria de producción de piezas de EPS

La capacidad de diseño es la producción teórica máxima de un sistema en un periodo dado, bajo condiciones ideales, considerando los datos de la Tabla 15, se calcula la capacidad de diseño.

$$8 \text{ h} \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 480 \text{ min} ; \left( \frac{480 \text{ min}}{2 \text{ min}} \right) = \frac{240 \text{ ciclos}}{\text{Turno}}$$

$$240 \text{ ciclos} \left( \frac{5 \text{ pzas}}{1 \text{ ciclo}} \right) = 1200 \text{ pzas}$$

$$\text{Capacidad de diseño} = 1200 \text{ pzas/turno}$$

Para determinar la producción adicional de casetones se recurre a los datos mostrados en la Tabla 13, entonces de 1200 piezas 480 corresponden a largueros, 631 a casetones y 89 a esquineros.

La capacidad efectiva es la capacidad que una empresa espera alcanzar dadas las restricciones operativas. En la empresa es difícil que el personal trabaje constantemente durante la jornada laboral, el cual es una restricción operativa, es por ello se considera un 15% de suplementos en el tiempo de ciclo, con esto se obtiene la capacidad efectiva:

$$TE = TN + TN (\text{Holgura})$$

$$TE = 2 \text{ min} + 2 \text{ min} (0.15)$$

$$TE = 2.3 \text{ min}$$

$$8 \text{ h} \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 480 \text{ min}; \left( \frac{480 \text{ min}}{2.3 \text{ min}} \right) = \frac{208 \text{ ciclos}}{\text{Turno}}$$

$$208 \text{ ciclos} \left( \frac{5 \text{ pzas}}{1 \text{ ciclo}} \right) = 1040 \text{ pzas}$$

$$\text{Capacidad efectiva} = \frac{1040 \text{ pzas}}{\text{turno}}$$

Se calcula así la producción efectiva para un año.

Entonces

$$\frac{6 \text{ turnos}}{1 \text{ sem}} * \frac{52 \text{ sem}}{1 \text{ año}} = \frac{312 \text{ turnos}}{\text{año}}$$

Cantidad de piezas al año es

$$312 \text{ turnos} * \frac{1040 \text{ pzas}}{1 \text{ turno}} = \frac{324,480 \text{ pzas}}{\text{año}}$$

Considerando esa producción anual, se podrán construir aproximadamente 180 casas modelo Terra y 624 losas para este mismo modelo de casa.

### Consideraciones

Debido a que el envío de materia prima del proveedor puede complicarse, se propone una política de inventario de materias primas y producto terminado suficiente para 2 meses, misma que la empresa constructora ha propuesto.

Para plantear la programación de la producción, es necesario considerar el tiempo de cambio de molde ya que son tres productos, para ello Hangzhou Fuyang Torch Technology Co., (2019), menciona que son necesarios 4 h con dos trabajadores para el cambio de un molde, conociendo este dato y los tiempos necesarios para cada tipo de producto (Tabla 16) se analizan 3 casos para la programación.

Tabla 16. Tiempo para la producción bimestral de piezas de EPS (Fuente: Propia).

Pieza	Producción anual	Producción bimestral	Ciclos	Tiempo (min)	Turnos (8h), h
Casetón	135,252(50%) + 39,116	29,061	5,812	11,624	24,2
Largueros	81,242	13,540	2,708	5,416	11,2
Esquinero	14894	2,482	496	993	2,1
Total	270,504	45083	916	18033	-

En la Tabla 16 se observa la producción anual y bimestral que es necesario fabricar en la planta; además teniendo la producción bimestral y sabiendo que en cada ciclo se obtienen 5 piezas en promedio, entonces se puede determinar la cantidad de ciclos necesarios para cada pieza, también se obtiene el tiempo necesario para producirlas, considerando que cada ciclo tarda 2 min. de ahí se puede obtener los turnos necesarios para producir los casetones de EPS e ICF's.

Caso 1. Se fabrican todos los productos empezando por el casetón, después el larguero y al último el esquinero; el resultado sería que restarían 7 h, aproximadamente un turno laboral en los dos meses de producción (Anexo A).

Caso 2. Se fabrica la mitad de los casetones, luego la mitad de los largueros, después la mitad de los esquineros y se vuelve a repetir el orden; el resultado es que además de los dos meses, sería necesarios 6 horas más para cumplir con la meta (Anexo A).

Caso 3. Se fabrica la mitad de los casetones, después toda la producción de largueros, luego toda la producción de esquineros al final la cantidad restante de casetones, el resultado que se obtiene es que se cumple con la producción requerida y sobran 3h (Anexo A).

Analizando los tres casos se propone al tercero, ya que cumple con la producción requerida y ofrece mayor flexibilidad.

### ***Distribución de planta***

A partir del análisis de la información referente a los productos y cantidades a fabricar, es posible determinar el tipo de distribución adecuado para la planta. Baca (2010), menciona que la distribución de planta está determinada por el tipo de producto (Bien o servicio, diseño del producto y los estándares de calidad), el tipo de proceso productivo (Tecnología empleada y materiales que se requieren) y el volumen de producción (Tipo continuo, alto volumen producido, intermitente o bajo volumen producido), como se trata de tres productos con el mismo proceso de fabricación, se plantea la distribución por producto.

#### **5.1.2. Relación entre actividades**

Con el objeto de lograr un flujo conjunto adecuado en el área de manufactura se debe incluir otros departamentos, así Meyers y Stephens (2006), mencionan que los materiales

fluyen de la recepción a los almacenes, las bodegas y los envíos, la información fluye entre las oficinas y el resto de la instalación, y las personas se mueven de un lugar a otro. Por ello es importante que cada departamento, oficina e instalación de servicio sea situado de manera apropiada en relación con las demás.

#### **5.1.2.1. Diseño del departamento de producción y servicios de apoyo**

Para la mayoría de los departamentos de producción, el procedimiento para la determinación de espacios comienza con el diseño de la estación de manufactura (Meyers & Stephens, 2006).

##### ***Diseño del departamento de producción***

Para ello Meyers y Stephens (2006), consideran que debe de incluirse información de las máquinas, los materiales de entrada y salida, el espacio para operadores, la escala de dibujos entre otros. Las máquinas y la mano de obra son la columna vertebral de una empresa, y para su elección se requiere evaluar cuidadosamente lo que se necesita y lo que está disponible (Sule, 1994).

Como se mencionó al inicio, uno de los objetivos del proyecto es seleccionar a un proveedor de la línea de producción de EPS. A continuación se presenta la información de 4 proveedores a los que se recurrieron para la cotización de la maquinaria y en la Tabla 17, se muestra información extraída de las cotizaciones que servirá de base para las siguientes evaluaciones.

Proveedor 1: Hangzhou Huasheng Plastic Machinery Co., Ltd

Proveedor 2: Longkou SHUNDA Machinery Equipment Co., Ltd

Proveedor 3: Hangzhou Fuyangwealth Imp & Expco., Ltd

Proveedor 4: Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd

A continuación se analiza la información proporcionada por los proveedores de algunos de los componentes que conforman la línea de producción de EPS (Tablas 18-24).

Equipos principales

- Pre-expansor (Tabla 18)

- Silo (Tabla 19)
- Máquina de moldeo de forma (Tabla 20)
- Molde (Tabla 21)

Tabla 17. Información de Línea de EPS de diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor		Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4 Opción 1(2 máquinas de moldeo)	Proveedor 4 Opción 2 (1 máquina de moldeo)
Equipo principal	Pre-expansor	Si	Si	Si	Si	Si
	Silo	Si (2)	Si (4)	Si (4)	Si (6)	Si (4)
	Máquina de moldeo	Si	Si	Si	Si (2)	Si
	Molde	Si (2)	Si (2)	Si (2)	Si (2)	Si (2)
Equipo auxiliar	Compresor de aire	Si	Si	Si	Si	Si
	Depósito de aire comprimido	Si	Si	Si	Si	Si
	Acumulador de vapor	Si	Si	Si	Si	Si
	Caldera	Si	Si	Si	Si	Si
	Torre de agua de enfriamiento	Si	Si	Si	Si	Si
	Bomba de agua	Si	Si	Si	Si	Si
	Tuberías		Si	Si	Si	Si
Otras condiciones de Servicio	Coordinación, instalación, puesta en marcha y capacitación	Si	Si	Si	Si	Si
	Garantía	12 meses	12 meses	13 Meses	12 meses	12 meses
	Mantenimiento		De por vida			
	Costos atribuibles al cliente	Consumibles para prueba, dispositivos de transporte y elevación, costo de intérpretes, ingenieros.	Cotización Puerto	Costo de vuelo, alojamiento y pago laboral (100 USD/Diario) a 2 técnicos (máx. 15 días)	Costo de vuelo, alojamiento y pago de 1 técnico (150 USD/Diario)	Costo de vuelo, alojamiento y pago de 1 técnico (150 USD/Diario)
Nota (Sugerencia de trabajadores para la planta)			2-4		3	2
Costo total (USD)		104,750 (Caldera diésel)	124,100	115,000	151,900	114,650

Tabla 18. Características del pre-expansor de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1		Proveedor 2	Proveedor 3		Proveedor 4
				Opción 1	Opción 2	
Densidad	12 ~ 30 g / l		12 ~ 60 kg / m <sup>3</sup>	9 ~ 40 g / l	4 ~ 40 g / l	10 ~ 40 kg / m <sup>3</sup>
Peso	3500 kg		-	3200kg	4500kg	3200kg
Dimensión total	3700x3500x1500 mm		2800 x2200 x4600 mm	No dice	6500x4500x4500 mm	2900x4500x5500mm
Capacidad: aprox. (Depende de la densidad)	18g/l	300-320 kg/h	150-1000 kg / h	70-750 kg / h	230-820 kg / h	350 ~950kg / h
Precio USD	24,500		22,000	24,500	31,000	22,000

Tabla 19. Características del silo de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4 (Si no trae opciones ; es el mismo para ambos casos)
Tamaño (m)	2.5x2.5x6	2.2x2.2x4	2.5x2.5x5	2.5x2.5x5.5
Volumen (m <sup>3</sup> )	37.5m <sup>3</sup>	19m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	34 m <sup>3</sup>
Cantidad	2	4	4	6 y 4
Precio unitario (USD)	600	800	750	650
Precio total	1200	3200	3000	2600

Tabla 20. Características de la máquina de moldeo de forma de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1*	Proveedor 2*	Proveedor 3		Proveedor 4 (Si no trae opciones ; es el mismo para ambos casos)
			Opción 1	Opción 2	
Máx. Tamaño del producto [mm]	1260x1060x400	1380 x 350x1200	1250x110 x420	1200 x1050x400	4600 x 2140 x4600
Tiempo de ciclo (s/ciclo)	90-160	90-120	70-120	60-100	-
Precio (USD)	26500	27500	24500	36000	23000

\*1 Máquina de moldeo.

Tabla 21. Características del molde de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4	
				2 máquinas de moldeo	1 máquina de moldeo
Cantidad	2	2	2	2	2
Piezas por molde (L y E)	-	-	4 y 4	5 y 6	5 y 6
Precio unitario (USD)	10,800	9,500	11,080 y 10,620	12000 y 14000	12000 y 14000
<b>Inyector</b>					
Cantidad	50	50	28	120	70
Precio unitario	15	35	15	15	15
Precio total (USD)	750	1750	420		
<b>Pernos</b>					
Cantidad	50	70	16	120	70
Precio unitario (USD)	30	15	35	30	30
Precio total	1500	1050	560		

## Equipos auxiliares

- Compresor de aire (Tabla 22)
- Acumulador de vapor (Tabla 23)
- Caldera (Tabla 24)

Tabla 22. Características del compresor de aire de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4	
				2 máquinas de moldeo	1 máquina de moldeo
Precio (USD)	3,800	7,200	5,800	5,000	4,500
Dimensión (mm)	1520x955x1365	-	-	1290x 900x 1190	1290 x900 x1190
Caudal (m <sup>3</sup> / min)	3	2.4	3	4.8	3.5
Descarga (Bar)	7	8	7	8	8

Tabla 23. Características del acumulador de vapor de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1		Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4	
	1 mold.	2 mold.			1 Mold.	2 Mold.
Aislamiento	Si	Si	-	-	Si	Si
Precio (USD)	3,500	5,200	4,500	4,300	3,000	5,000
Dimensión m <sup>3</sup>	6	10	4	5	3	6
Presión de trabajo Máx. (Bar)	10	10	10	10	10	10

Tabla 24. Características de la caldera de los diferentes proveedores (Fuente: Propia)

Proveedor Caract.	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4
Salida de vapor nominal	1t / h	500 kg / hr	1000kg/h	1/1.5 Ton/h
Presión de trabajo	1 Mpa	0,7 Mpa	-	1/ 1.25 Mpa
Temp. del vapor	184°C	-	-	189°C
Dimensión global	3200 × 2030 ×1600mm	-	-	3860x2370x2300 mm
Eficiencia	88-91%	≥ 92%	-	-
Precio	18000 USD	19,800 USD	25,000 USD	26,000 USD

### *Selección de la maquinaria*

Al momento de decidir sobre la compra de maquinaria, se debe de tomar en cuenta una serie de factores que afectan directamente la elección. La mayoría de la información que se recaba será útil en la comparación de la maquinaria y que también será determinante para cálculos posteriores. En la Tabla 25, se mencionan una serie de factores citados por Baca (2010), los cuales servirán como base para la elección de la línea de producción de EPS.

Tabla 25. Factores relevantes que determinan la adquisición de equipo y maquinaria (Baca, 2010)

Factores	
1. Proveedor	8. Infraestructura necesaria
2. Precio	9. Equipos auxiliares
3. Dimensiones	10. Costo de los fletes y de seguros
4. Capacidad	11. Costo de instalación y puesta en marcha
5. Flexibilidad	12. Existencia de refacciones en el país
6. Mano de obra necesaria	13. Consumo de energía eléctrica, otro tipo de energía o ambas
7. Costo de mantenimiento	

Para seleccionar la mejor opción se usa el método de evaluación de alternativas considerando alguno de los factores mencionados anteriormente, el cual se observa en la Figura 29.

Con esta evaluación se selecciona al proveedor Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd (1 máquina de moldeo) como la mejor opción. Con esto se identifica el tamaño de la maquinaria, para ello en la Tabla 26, se muestran los datos de las dimensiones de cada máquina.

Tabla 26. Dimensiones de la maquinaria de producción de EPS (Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd, 2019)

Máquina/Equipo	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> ) *Vol. (m <sup>3</sup> )	Núm. De máq.	Área total (m <sup>2</sup> )
Pre – Expansor	2.9	4.5	5.5	13.6	1	13.6
Silo	2.5	2.5	5.5	6.25	4	25
Máquina de moldeo	4.6	2.14	4.6	9.844	1	9.844
Compresor de aire	1.29	0.9	1.19	1.161	1	1.161
Depósito de aire comprimido	-	-	-	*1	1	-
Acumulador de vapor	-	-	-	*3	1	-
Caldera	3.2	2.03	1.9	6.496	1	6.496
Torre agua de enfriamiento	-	-	-	-	1	-
Bomba de agua	-	-	-	-	1	-
Total					12	56.101

Evaluación de alternativas												
<b>Planta:</b> La Junta	<b>Alternativas</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>		<b>E</b>		
<b>Proyecto:</b> Diseño de una planta piloto para sistemas de moldeo de poliestireno expandido (EPS)		Hangzhou Huasheng Plastic Machinery Co., Ltd		Longkou SHUNDA Machinery Equipment Co., Ltd.		Hangzhou Fuyangwealth Imp & Expc., Ltd.		Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co.,Ltd (2 máquinas de moldeo)		Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co.,Ltd (1 máquinas de moldeo)		
<b>Fecha:</b> 02/10/2019												
<b>Analista:</b> Mireya Hernández												
Factor/Consideración	Peso	Valores y valores ponderados										Comentarios
		A		B		C		D		E		
1.Precio	1.0	9.0	9.0	7.0	7.0	5.0	5.0	4.0	4.0	8.0	8.0	
2.Dimensiones	0.4	7.0	2.8	6.0	2.4	8.0	3.2	5.0	2.0	5.0	2.0	
3.Capacidad	0.8	7.0	5.6	6.0	4.8	6.0	4.8	7.0	5.6	7.0	5.6	
4.Flexibilidad	0.6	7.0	4.2	7.0	4.2	7.0	4.2	7.0	4.2	7.0	4.2	
5.Mano de obra necesaria	0.7	6.0	4.2	4.0	2.8	6.0	4.2	6.0	4.2	8.0	5.6	
6.Costo de mantenimiento	0.6	6.0	3.6	8.0	4.8	6.0	3.6	6.0	3.6	6.0	3.6	
7. Equipos auxiliares	0.7	8.0	5.6	8.0	5.6	8.0	5.6	8.0	5.6	8.0	5.6	
8.Costo de instalación y puesta en marcha	0.6	4.0	2.4	6.0	3.6	8.0	4.8	7.0	4.2	7.0	4.2	
9.Existencia de refacciones en el país	0.7	3.0	2.1	3.0	2.1	3.0	2.1	3.0	2.1	3.0	2.1	
10.Consumo de energía eléctrica, otro tipo de energía o ambas	0.5	8.0	4.0	8.0	4.0	8.0	4.0	8.0	4.0	8.0	4.0	
		65.0	43.5	63	41.3	65	41.5	61	39.5	67	44.9	
<b>Totales</b>		43.5		41.3		41.5		39.5		44.9		

Figura 29. Evaluación de alternativas para adquisición de maquinaria para una línea de producción de EPS (Fuente:

Propia)

Conociendo el área que ocupa cada máquina del área de producción, es necesario considerar las áreas necesarias para que el operador opere de manera adecuada, para ello se sujeta a lo siguiente:

Para el área de operación.

- La NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad, menciona que la distancia para la operación segura del trabajador debe ser al menos de 75 cm libres.
- Así mismo Meyers y Stephens (2006), mencionan que el espacio del operador debe ser de aproximadamente 0.91m x 0.91m, lo que es normal a menos que la estación de manufactura sea más amplia, pero se necesitan 0.91m multiplicados por el ancho de la estación. Por seguridad es adecuado contar con 0.91m de distancia al pasillo, y que haya 0.91m de un lado al otro permitiendo que las partes se coloquen de modo confortable junto al operador. Si las máquinas necesitan recibir mantenimiento y limpieza, debe proveerse un acceso de 0.61m alrededor de la estación.

Para los pasillos.

- Los pasillos principales que atraviesen la planta deben tener el ancho suficiente, de 4.5 a 5.5 m, para permitir tráfico en dos sentidos, de vehículos, y personas, sin crear cuellos de botella. Los pasillos pequeños cuyo objeto sea permitir tráfico en un sentido pueden tener de 3 a 3.60 m de ancho o menos, y si se usa equipo para pasillos angostos, pueden tener hasta 1.80 m de ancho. Los que solo deben dar servicio al tráfico de personal pueden tener hasta 0.91m, dependiendo del movimiento que deban tener (Sule, 1994). Teniendo en cuenta esta información se propone un área de 306 m<sup>2</sup>.

Características del área de producción

- Dimensiones: 25.5 m x 12 m
- Pasillo principal: Ancho de 5.5 m
- Pasillo pequeño: > 2.5 m
- Distancia de operación: 0.75 m
- Distancia entre equipos 0.91 m

### *Diseño de los servicios de apoyo*

Los departamentos de manufactura necesitan servicios de apoyo por ello, en esta parte se identifican los servicios necesarios, así mismo se calcula los requerimientos de espacio. Meyers y Stephens (2006), menciona que estos servicios pueden ser:

- Recepción y envíos.
- Almacenamiento
  - a. Almacenamiento de materia prima
  - b. Almacenamiento de producto terminado

#### 1. Recepción y envíos

Recepción y envíos constituyen dos departamentos por separado, pero tienen requerimientos similares de personal, equipo y espacio (Meyers & Stephens, 2006). Por eso para este diseño los dos departamentos se situarán uno junto al otro.

Basado en Meyers y Stephens (2006), se consideran las siguientes dimensiones para las áreas exteriores de departamento de recepción y envíos.

- Espacio para estacionar el camión mientras está en descarga de 20 m.
- Espacio de maniobra (Distancia entre el estacionamiento y la carretera) 14 m.
- Pasillos que van de los camiones a la planta de 2.5 m para que opere el equipo de manejo de materiales.
- Espacio para oficinas ya sea de envío o de recepción de 6 m<sup>2</sup> por empleado
- El espacio de anchura para el camión es de 3.5 m.

Con todo esto se considera un área de 297m<sup>2</sup> aproximadamente para el área de recepción y envíos, con un ancho de 39.5m por un largo de 7.5m.

#### 2. Almacenamiento

El término almacenes se usa para denotar el área reservada para guardar materias primas, partes y suministros (Meyers & Stephens, 2006). Sule (1994), menciona que es importante determinar la ubicación del almacén ya que determina el costo de transportes, y su espacio debe ser suficientemente grande tomando en consideración las expansiones en el futuro; además debe de ofrecer suficiente flexibilidad al cambio.

Existen diferentes tipos de almacenes, sin embargo, para esta distribución se proponen dos, el primero de materia prima y el segundo de producto terminado, cada uno de estos almacenes requiere espacio según los requerimientos que tenga, tales como la política de inventario y las características del producto.

a. Almacén de materia prima

Para producir las piezas de EPS, se requiere de una materia prima en particular, que son las perlas de poliestireno expandible. BASF (2001), menciona que para el embalaje de este material se usan contenedores de cartón o bidones de chapa, y que el tiempo garantizado por el fabricante para recipientes originales cerrados, es de 6 meses para bidones y de 6 semanas para contenedores de cartón. Las características de los dos embalajes se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Características del embalaje de las perlas de Poliestireno expandible (BASF, 2001)

Forma de embalaje	Contenido	Dimensiones por contenedor
Contenedores de cartón	1.1 ton	1.85 x 1.14 m (Alto x Ancho)
Bidones de Chapa	125 kg	-

Considerando la política de inventario, se elige a los bidones como medio para almacenar la materia prima, ya que cumple con el tiempo de almacenamiento. Para ello BASF (2001), menciona las siguientes recomendaciones:

- Almacenar bajo techo y en un lugar bien ventilado.
- No almacenar en sótanos.
- Almacenar protegidos del sol, lluvia, nieve, heladas y en general de posibles daños.
- Pueden apilarse en 2 capas sólo si entre ellas se dispone por ejemplo de una plancha de madera contrachapada; durante el invierno debe evitarse el apilado en 2.

Consideraciones para determinar las dimensiones del almacén de materia prima

Tomando en cuenta que largueros y esquineros tienen una densidad de  $18 \text{ kg/m}^3$  y los casetones de  $10 \text{ kg/m}^3$  se genera la Tabla 28, donde muestra la información sobre la masa requerida para la producción de las piezas de EPS.

Tabla 28. Información de las piezas de EPS (Fuente: Propia).

Pieza	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)	Producción bimestral (pza)	Masa de EPS requerida (kg)
Larguero	0.03497	0.62946	13,540	8522.89
Casetón	0.0322	0.322	29,061	9357.65
Esquinero	0.02322	0.41796	2,482	1037.38
Total	-	1.36942	45,083	18918

Para determinar la cantidad de materia prima necesaria para cada pieza, se considera la información que proporciona BASF (2001), la cual se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Características de la materia prima según BASF (2001).

Materia prima: Poliestireno expandible		Producto terminado: Poliestireno expandido			
Masa 125 kg		Densidad aparente 1	12 kg/m <sup>3</sup>	Densidad aparente 2	15 kg/m <sup>3</sup>
		Masa	120 kg	Masa	150 kg
		Volumen	10 m <sup>3</sup>	Volumen	10 m <sup>3</sup>

En la Tabla 29, se puede observar que con 125 kg de materia prima granulado se obtienen aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de poliestireno expandido, con una densidad aparente de 12 a 15 kg/m<sup>3</sup>, es decir para una pieza de densidad 12-15 kg/m<sup>3</sup> se necesitan entre el 83.34%-104.17% de materia prima de lo que contiene de masa del producto terminado. Considerando la masa total de dos meses de almacenamiento y el porcentaje de 4.17% se necesita un total de 19,707 kg de poliestireno expandible. En otras palabras se necesitan aproximadamente 158 bidones de chapa bimestralmente, así para determinar las necesidades de espacio se utiliza la Tabla 30.

Tabla 30. Requerimientos de espacio para almacén de materias primas (Servicios Globales, 2019).

Materia prima		Perlas de poliestireno expandible	
Bidones de Chapa			
Alto(m)	Ancho (m)	Largo(m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
0.975	0.596	0.596	0.222

Considerando un ancho de 4m para pasillos, se propone un almacén de 126m<sup>2</sup> aproximadamente (16.5m x 7.6m).

b. Almacén de producto terminado

Para determinar las dimensiones del almacén de producto terminado, se considera la información proporcionada anteriormente y la Tabla 31.

Tabla 31. Características para el almacenamiento de producto terminado (Fuente: Propia)

<b>Producto terminado: Piezas moldeadas de EPS</b>										
Pieza	Piezas por molde	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Piezas/ bimestral	Unidad de empaque	empaques en fila	Número de capas	Pzas por fila
Larguero	5	1.2192	0.1524	0.3175	0.059	13,540	10	9	15	1350
Casetón	4	0.6	0.7	0.10	0.042	29,061	4	13	45	2340
Esquinero	6	0.5588	0.4064	0.3175	0.072	2,482	5	10	15	750

Por lo tanto se propone un área de 722 m<sup>2</sup> (38 m x 19 m), considerando una distancia mínima entre pasillos de 2m y una altura no menor a 5 m.

Para esta producción se tiene una altura de apilamiento de 4.8 m. aproximadamente, pero para una posible expansión esta altura puede ser mayor.

#### 5.1.2.2. Servicios complementarios

En esta parte se analiza los requerimientos de los departamentos de servicio para los empleados, los cuales son:

- Sanitarios
- Mantenimiento
- Oficinas
- Cafetería
- Caldera
- Estacionamiento

##### 1. Sanitarios

El número de sanitarios depende de cuántos empleados trabajen en la empresa, Meyers y Stephens (2006), mencionan que por regla general debe de haber uno por cada 20 trabajadores, y como mínimo debe de haber un sanitario para hombres y otro para mujeres en la oficina y en la fábrica. Debido a que serán menos de 20 trabajadores en la planta, sin considerar los empleados de oficina, entonces se considera espacio para un sanitario para hombres y otro para mujeres, el mismo caso será para el área de oficina, las dimensiones para cada uno serán de 2 m<sup>2</sup>.

## 2. Mantenimiento y herramientas

La función del cuarto de mantenimiento y herramientas es proporcionar y mantener las herramientas para la producción (Meyers & Stephens, 2006). El espacio asignado para el departamento de mantenimiento es de  $37.5\text{m}^2$  ( $5\text{m} \times 7.5\text{m}$ ), establecido considerando un trabajador para este departamento y las dimensiones que propone Meyers y Stephens (2006).

## 3. Oficinas

Una oficina en una planta manufacturera es un centro de comunicaciones responsable de actividades tales como mantenimiento de registros, contabilidad, planeación de la producción, administración de personal, control de inventarios y ventas (Sule, 1994).

Para este departamento, se establecieron los requerimientos de espacio de acuerdo a Sule (1994), los cuales se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32. Área requerida para los departamentos de oficina (Sule, 1994).

Departamento	Área ( $\text{m}^2$ )
Presidente	24
Gerente de ventas	18
Gerente de producción	18
Recepcionista	4.5
Sala de conferencias	15
Sanitario	4
Pasillos	30.5
Total	114

## 4. Cafetería

Aunque se considera que no se necesita gran cantidad de personas para operar la planta, es necesario disponer de un espacio para que los empleados puedan consumir sus alimentos, puesto que instalaciones agradables demuestran respeto por los empleados y mejoran la productividad de la fuerza de trabajo. Para estimar las dimensiones que se asignan al área de cafetería considera  $0.9\text{ m}^2$  mínima por persona, como lo mencionan Meyers y Stephens (2006), con esto se le asigna un área de  $20\text{ m}^2$  ( $5\text{m} \times 4\text{m}$ ).

## 5. Caldera

Como ya se ha mencionado anteriormente, una caldera es un equipo de gran importancia, ya que es fuente de energía para el funcionamiento de un proceso, debido a las condiciones en que ésta opera es considerado un equipo de manejo peligroso; para ello es importante asignar un espacio adecuado para su operación. Para determinar las distancias mínimas de instalación de este equipo la NOM-020-STPS-2002, Recipientes sujetos a presión y calderas-Funcionamiento-Condiciones de seguridad (Secretaría de trabajo y previsión social, [STPS], 2002), menciona que este equipo debe de disponer de espacios libres necesarios para las actividades de operación, mantenimiento y revisión, sin embargo no menciona la distancia exacta que debe de considerarse para estas actividades. Por otro lado la NOM-122-STPS-1996, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo, esta norma antecede a la NOM-020-STPS-2002, había establecido los siguientes puntos:

- Las calderas deben ser instaladas en locales o áreas destinadas específicamente para ellas.
- Las calderas deben instalarse de tal manera que cuenten con un espacio mínimo de 1.5m entre el techo del local y la parte más alta del equipo, a fin de permitir efectuar reparaciones, inspecciones, ajustes y pruebas.
- Las calderas deben instalarse entre ellos o entre las divisiones que limitan el local, con un espacio mínimo de un metro a partir del cuerpo de la caldera o del accesorio más sobresaliente, de tal manera que permita al personal efectuar la operación y las reparaciones sin dificultad.

Considerando información y las dimensiones de la caldera se le asigna un espacio de 31m<sup>2</sup> (6.2m x 5m) con una altura mínima de 4m.

## 6. Estacionamiento

La Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca (1998), menciona que todo inmueble que constituya un centro de reunión o forme parte de la infraestructura o equipamiento urbano de los centros de población deberá contar con áreas de estacionamiento que

satisfagan los requerimientos mínimos derivados de su función, dichas áreas se proyectarán de manera tal que se evite realizar maniobras en la vía pública u ocupar esta para el aparcamiento de vehículos de motor. La cantidad de cajones para los diferentes tipos de industria se observa en la Tabla 33.

Tabla 33. Dotación mínima de cajones por el género del inmueble (Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca, 1998).

Tipo de industria	Cantidad de cajones
Industria pesada	1 por cada 20 m <sup>2</sup> construidos
Industria mediana	1 por cada 50 m <sup>2</sup> construidos
Industria ligera	1 por cada 100 m <sup>2</sup> construidos

Esta clasificación de industria corresponde a la cantidad de materia prima utilizada (Debate Graph, 2017), y se refiere a lo siguiente:

- Pesada: Trabajan con grandes cantidades de materia prima que convierten en productos semielaborados.
- Semi-Ligera (Mediana): Estas industrias se valen de productos semi-elaborados a lo largo de los procesos de producción, por lo que el porcentaje de materia prima utilizado es menos que en la industria pesada.
- Ligera: En estas industrias la cantidad de materias primas con las que trabajan es baja, lo que hace que no requieran numerosas maquinarias y puedan ser ubicadas cerca del mercado al que apuntan.

Considerando que es una industria ligera y la que la planta tiene aproximadamente 1400m<sup>2</sup> construidos, se establecen 14 cajones para el área de estacionamiento.

La Tabla 34, muestra los requerimientos de espacio para diferentes tamaños de vehículos.

Tabla 34. Área requerida para estacionamiento (Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca, 1998).

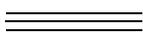
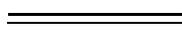
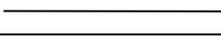
Cajones de estacionamiento	Ancho (m)	Longitud (m)
Carros chicos	2.2	4.2
Carros grandes	2.4	5

Con ello se establece un área de 391.5 m<sup>2</sup> (25.6m x 13.5m) considerando un ancho de carril de 3m, distancia que es mayor a la mínima requerida por la Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca, (1998) la cual es de 2.5m.

### 5.1.2.3. Diagrama de relación de actividades

A continuación, se muestra un diagrama de relación de actividades, conocido también como diagrama de análisis de afinidades o tabla de relaciones. En la Tabla 35, se muestran los códigos de cercanía para reflejar la importancia entre departamentos.

Tabla 35. Valores de relación del diagrama relacional de actividades (Niebel & Freivalds, 2009).

Relación	Código	Valor	Líneas de diagrama
Absolutamente necesario	A	4	
Especialmente importante	E	3	
Importante	I	2	
Ordinario	O	1	
Sin importancia	U	0	
No deseable	X	-1	

Para la generación del diagrama de relación de actividades, se considera la valoración de distintas personas, a cada opinión se le asigna una ponderación (Tabla 36), considerando que mientras más diversas sean las opiniones mejores y más efectivos serán los resultados.

Tabla 36. Ponderaciones de los evaluadores del diagrama de relación de actividades (Fuente: Propia).

EVALUADOR	PONDERACIÓN
Tesista (I)	40%
Director de Tesis (II)	30%
Empresa constructora (III)	30%
Total	100%

La valoración de cada evaluador se observa en la Tabla 37.

Tabla 37. Evaluación de la relación entre departamentos por medio del diagrama de relación de actividades (Fuente: Propia)

EVALUADOR	DEPARTAMENTOS	PR	R y E	AMP	APT	SA	MA	OF	CAF	CA	EA
I	1. Producción (PR)		O	A	A	A	A	E	O	A	U
II			O	A	A	I	E	U	O	E	X
III			A	A	A	A	I	A	U	A	U
I	2. Recepción y envíos (R y E)			A	A	I	O	I	U	X	A
II				A	A	O	O	U	O	U	U
III				A	E	A	U	U	U	U	U
I	3. Almacén de materia prima (AMP)				U	I	O	I	U	X	A
II					U	O	O	U	O	X	U
III					I	A	U	I	U	U	U
I	4. Almacén de producto terminado (APT)					I	O	I	U	X	A
II						O	U	U	O	X	U
III						A	U	I	U	U	U
I	5. Sanitario (SA)						I	U	E	X	U
II							O	O	X	U	U
III							A	A	A	A	U
I	6. Mantenimiento (MA)							E	U	A	I
II								U	O	I	U
III								A	U	A	I
I	7. Oficinas (OF)								I	X	U
II									O	U	U
III									U	E	I
I	8. Cafetería (CAF)									X	U
II										O	U
III										U	U
I	9. Caldera (CA)										X
II											X
III											A
I	10. Estacionamiento (EA)										
II											
III											

Con los resultados mostrados en la Tabla 37 y la ponderación de la Tabla 36 se obtiene el diagrama de relación de actividades mostrado en la Figura 30, donde se expresa la importancia de la relación de un departamento con otro, considerando el flujo de materiales; tanto de materia prima, producto terminado e insumos, además de la necesidad de comunicación.

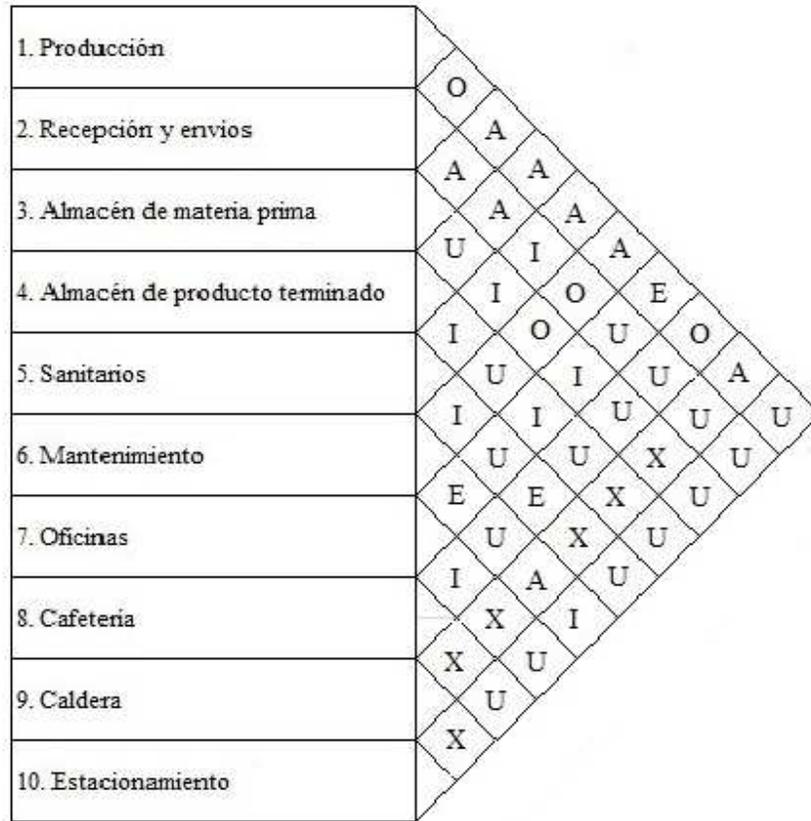


Figura 30. Diagrama de relación de Actividades (Fuente: Propia).

### 5.1.3. Diagrama de relación entre actividades

El siguiente paso es desarrollar una representación gráfica de la tabla de relaciones. Richard Muther (1968), sugiere el diagrama de relación entre actividades como una forma de pasar la información de la tabla de relaciones a una representación gráfica. Los diferentes departamentos se representan con nodos y el tipo de línea representa la relación entre ellas (Tabla 34).

En la Figura 31, se representa el diagrama de relación entre actividades, que proporciona una idea de las ubicaciones para cada uno de los departamentos dentro de las instalaciones de la planta. Ahora para poder identificar si es conveniente un cambio, es necesario conocer las necesidades de espacio.

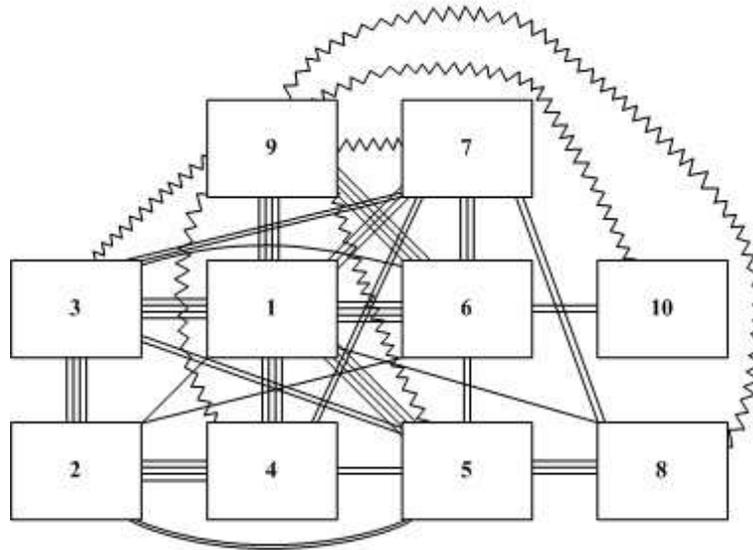


Figura 31. Diagrama de relación entre actividades (Fuente: Propia).

## 5.2. Análisis

### 5.2.1. Requerimientos de espacio

El siguiente paso hacia la obtención de alternativas factibles de distribución es la introducción de la información referida al área requerida. En la Tabla 38, se muestra las necesidades de espacio anteriormente calculadas para cada área. Teniendo esto se puede crear la representación espacial escalando las áreas en términos de su tamaño relativo. En cuanto al tema de espacio disponible, con la información obtenida en la selección del sitio se sabe que el espacio que existe y está disponible es de un tamaño significativo y por lo tanto no se considera como una limitante.

Tabla 38. Área para los departamentos de la planta (Fuente: Propia).

Departamento	Área (m <sup>2</sup> )
Producción	306
Recepción y envíos	297
Almacén de materia prima	126
Almacén de producto terminado	722
Sanitarios	4
Mantenimiento	37.5
Oficinas	114
Cafetería	20
Caldera	31
Estacionamiento	391.5
Total	2067

### 5.2.2. Diagrama relacional de espacios

A continuación se elabora el diagrama relacional de espacios, disponiendo del área necesaria para cada departamento. Muther (1968), recomienda tres formas de adaptar los espacios al diagrama, los cuales son combinar el espacio con el diagrama de recorrido, con el diagrama de relación entre actividades o combinar el espacio con una combinación de las últimas dos herramientas. En este trabajo se elabora el diagrama relacional de espacios considerando el espacio con el diagrama de relación entre actividades, el cual se presenta en la Figura 32.

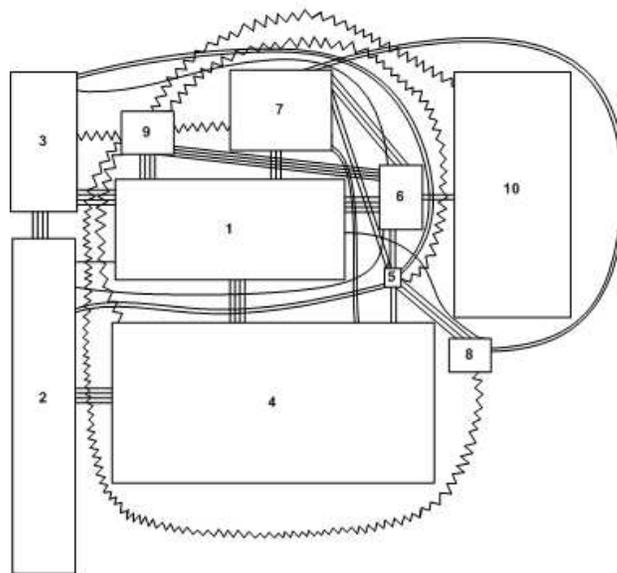


Figura 32. Diagrama relacional de espacios de la Figura 31 (Fuente: Propia)

## 5.3. Síntesis

### 5.3.1. Factores influyentes

En este tercer paso, la metodología permite incorporar factores de influencia, aquellos que dan lugar a modificaciones para mejorar la primera distribución obtenida en el primer diagrama de relación entre actividades.

#### *Manejo de materiales*

Se analizaron anteriormente los almacenes, sin embargo ahora es necesario examinarlos considerando algunos requerimientos de la materia prima y el producto terminado, así como los equipos necesarios para su manejo.

Plastics Europe (2007), menciona que el almacén de materia prima debe estar separado del área de producción, debido a que este material contiene un gas altamente inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire a concentraciones entre el 1.4-7.8% en volumen, además dos precauciones son importantes en este almacenamiento, la ventilación adecuada del nivel de suelo y el aislamiento de fuentes de calor por ejemplo, maquinaria caliente directa y luz solar directa. Así también NOVA Chemicals (2005), menciona que las cajas de cartón ondulado y las bolsas a granel deben almacenarse en una habitación fría (preferiblemente por debajo de 80°F o 26°C) y bien ventilada en la cual se hayan eliminado las fuentes de ignición, como llamas abiertas, calentadores y salidas de motores sin proteger.

**Mano de obra**

Para el análisis de la mano de obra, se recurre a la información proporcionada por los proveedores (Tabla 17), los cuales mencionan que se necesita de 2-4 trabajadores para operar el área de producción. Por otra parte Hangzhou Fuyang Torch Technology Co., Ltd., un proveedor de maquinaria EPS recomienda 6 trabajadores, los cuales se distribuyen de la siguiente manera; uno para el pre-expansor, dos para la máquina de moldeo en forma (Uno debe operar la máquina de moldeo de forma, cambiar el molde, otro debe recoger y colocar los productos), uno para la caldera de vapor, otro para gestionar la manutención de la máquina y un director de la planta, con esta información se proponen 4 trabajadores.

Por las características de fabricación del producto la producción será por lotes, por ello la mano de obra se debe separar en cada centro de trabajo; en la Tabla 39, se muestran los requerimientos de mano de obra necesarios para la fabricación de piezas de EPS.

Tabla 39. Requerimientos de mano de obra (Fuente: Propia).

Centro de trabajo	Núm. de empleados	Función
Pre-expansor	1	Alimentar el pre-expansor, vigilar el proceso de pre-expansión, retirar las perlas pre-expandidas del equipo.
Máquina de moldeo de forma	2	Alimentar a la máquina de moldeo, retirar las piezas de EPS, cambiar el molde.
Manutención de la línea, y otras actividades.	1	Supervisar el almacenamiento de las perlas pre-expandidas en los silos, operar el compresor de aire, operar la caldera, supervisar toda la línea de producción.

Esta tabla muestra los requisitos de mano de obra necesarios para cada centro de trabajo dentro del departamento de producción y se elabora de acuerdo a la información proporcionada por los proveedores.

### ***Manutención***

Muther (1968), propone a la manutención como un factor de influencia, debido a que es importante conocer los diferentes desplazamientos de los productos desde un punto de vista físico. Identificar las dimensiones y cantidad de los productos, así como el recorrido de los materiales permite analizar si los materiales se desplazarán directamente, de manera canalizada o centralizada. En la Figura 33, se observa la representación de las intensidades de recorrido sobre un diagrama relacional de espacios de la fabricación de los casetones de EPS, se elige este producto, porque es el que tiene mayor prioridad. Las intensidades se calculan considerando un turno de 8 hrs.

Como se observa en la Figura 33, la materia prima inicia su recorrido en área de recepción y envíos (2), este material llega en bidones de chapa que contienen 125 kg, donde se transporta al almacén (3) para ser acumulado (1, almacenamiento); en este trayecto el flujo es continuo pero solo en determinados días de ciertos meses (cada dos meses). Después se traslada al departamento de producción (1) en cantidades menores a 125 kg, aproximadamente en un turno se necesitan 322 kg de poliestireno expandible. Al aplicar las operaciones necesarias para su fabricación (1, operación), se obtienen por ciclo 5 piezas (promedio), tales que son transportadas al almacén de producto terminado (4); en un turno se transportan 960 piezas, ahí son almacenadas (2, almacenamiento), el flujo de materiales es continuo pero en cantidades pequeñas (estas piezas pueden almacenarse hasta por dos meses). Finalmente llegan al área de recepción y envíos (2); en este último trayecto, el flujo del material es continuo y en volúmenes significativos.

Analizando este diagrama, se puede decir que es más importante que el área de recepción y envíos esté junto al almacén de producto terminado, que al lado del almacén de materia prima, ya que este último tiene un flujo bajo y no es constante.

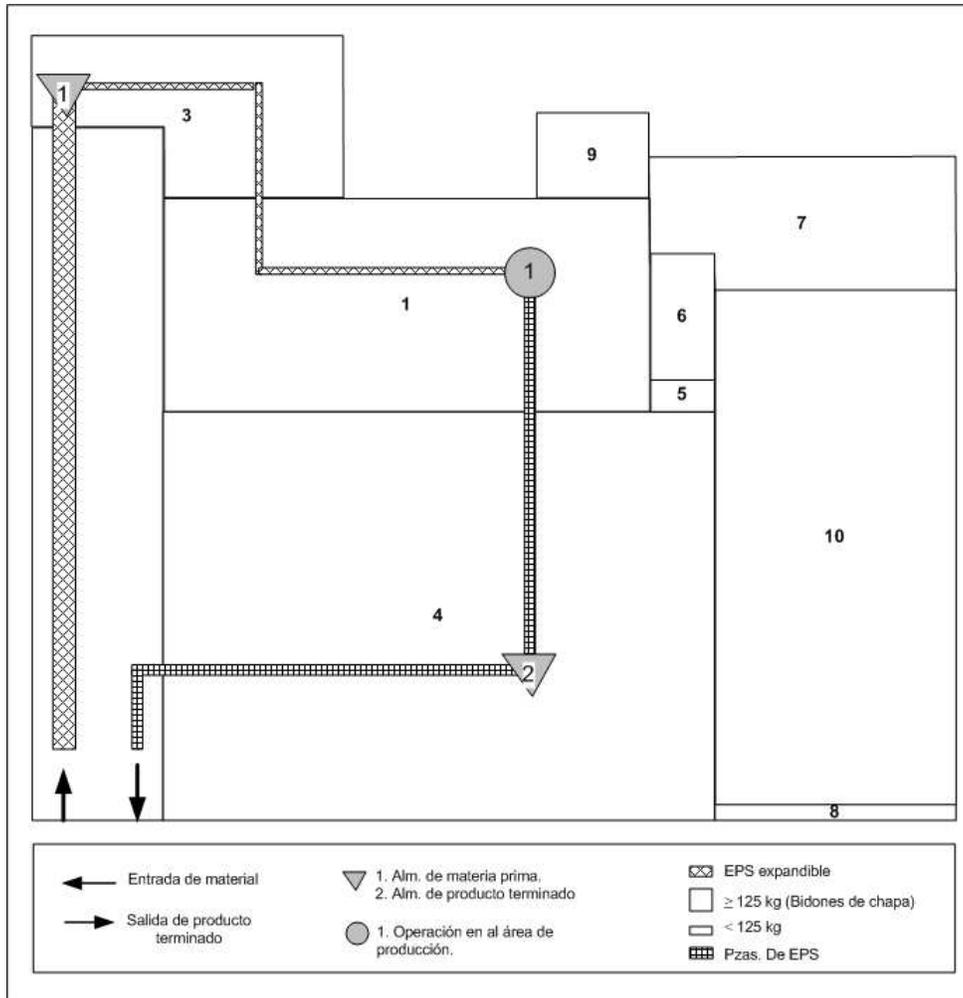


Figura 33. Intensidad de recorrido trazada directamente sobre el diagrama relacional de espacios por clases de productos (Fuente: Propia).

### ***Seguridad industrial***

#### **Departamentos**

La distribución de los departamentos designados para la planta de producción de EPS, deben estar ubicados de manera que consideren las necesidades y requerimientos para la fabricación de los productos.

Las instalaciones para la calefacción de los edificios, producción de vapor o los talleres que se encuentren al lado de la producción, se deben de separar. Para el caso del almacén de materias primas que superen el almacenamiento de 5000 kg y el almacén de piezas moldeadas, necesitan separarse por una pared del área de producción (BASF, 2001).

## Caldera

Debido al peligro que puede presentar este equipo durante su manejo la STPS (2002), menciona que es necesario:

- Se instale lo más lejos posible de la vía pública.
- Debe de estar protegido, y en caso de un posible contacto con las personas.
- Debe de mantenerse en condiciones seguras de operación.

De manera que en el pre-expansor y en la moldeadora necesitan vapor saturado para su operación, es necesario que la caldera esté instalada a cierta distancia para evitar un calentamiento excesivo (BASF, 2001).

## EPS

Es importante que las empresas que manejan productos de EPS consideren que existen riesgos relativos a su fabricación, sin embargo si se adoptan las medidas adecuadas, estos riesgos pueden reducirse al mínimo.

### Instalaciones

Como el poliestireno es considerado un material inflamable la STPS (1998), recomienda que las instalaciones donde se manejen, transporten o almacene este material, deba ser resistente al fuego. El componente que hace que este material sea inflamable es el pentano; en mezclas de vapor en aire de 1,4% a 8,3% en volumen, pueden inflamarse con fuentes de ignición de baja intensidad. Por consiguiente, cuando se maneja EPS deben realizarse dos esfuerzos principales: eliminar las fuentes de ignición (incluyendo las chispas estáticas) y evitar la acumulación de vapor de pentano, así también debe de controlarse la humedad del ambiente ya que puede actuar como conductor eléctrico, la temperatura del ambiente debe de ser alrededor de 26°C (NOVA Chemicals, 2005).

### Personal

La STPS (1998), prohíbe el uso de herramientas, ropa, calzado y objetos personales que puedan generar chispa, flama abierta o temperaturas que puedan provocar ignición, para ello NOVA Chemicals (2005), menciona que los trabajadores deben usar equipo de protección personal adecuado según las condiciones en que laboren y hace las siguientes recomendaciones al personal.

- Usar overol que no acumule electricidad estática y resistente al fuego
- Usar calzado con suelas conductoras.
- Usar una máscara de filtro donde haya una exposición continua al EPS

Considerando los procesos de fabricación de las piezas de EPS, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

– Transporte y descarga

Al momento de arribar la materia prima en las instalaciones, se debe de abrir cuidadosamente las puertas del tráiler y dejar abierto durante un tiempo razonable para dispersar los vapores del pentano que pudiera haber antes de la descarga (NOVA Chemicals, 2005).

Durante el transporte debe evitarse las temperaturas elevadas ya que es un agente expansor volátil y sensible a la temperatura, así también debe de mantenerse ventilado (BASF, 2001).

– Almacenamiento del poliestireno expandible

Las áreas donde por el tipo de actividad no exista exposición frecuente de los trabajadores a sustancias químicas peligrosas, se debe vigilar que la concentración de éstas en el medio ambiente laboral no genere una atmósfera explosiva (STPS, 1998). Para ello NOVA Chemicals (2005), propone usar un exposímetro en el almacén, que es un dispositivo para controlar el nivel de pentano y así determinar si los niveles de este gas que suponen un riesgo de incendio.

También BASF (2001), recomienda que la materia prima se debe almacenar bajo techo, en un lugar bien ventilado y como se mencionó antes no se debe de apilar en 2 capas. Todos los contenedores de poliestireno expandible completamente llenas o parcialmente, deben de taparse y protegerse de la luz solar directa (NOVA Chemicals, 2005).

– Pre-expansión

En esta parte del proceso el poliestireno libera parte del pentano que contiene, por ello es necesaria una adecuada ventilación. BASF (2001), menciona que este material contiene aproximadamente hasta 30% menos de agente de expansión, en estas condiciones la estructura de las perlas pre-expandidas tiene un comportamiento diferente al fuego, ya que

después de la pre-expansión inicialmente está protegido del calor pero esto va cambiando a medida que las perlas van perdiendo su grado de humedad.

BASF (2001) y NOVA Chemicals (2005), concuerdan en que debido a la carga estática que almacena el EPS, es necesario que todos los equipos que participan en el proceso de transformación, incluyendo los equipos de transporte del material dentro del área de producción tengan que estar conectados a tierra y estén unidos entre sí de forma conductora.

– Almacenamiento

En esta etapa el poliestireno pre-expandido libera parte del pentano que contiene, por ello es necesaria una adecuada ventilación (NOVA Chemicals, 2005). En los almacenes se debe de delimitar el área de tránsito para que permita el manejo del material peligroso (STPS, 1998).

– Moldeado

Aquí el material libera mayor cantidad de pentano, por ello es importante disponer de una adecuada ventilación. BASF (2001), menciona que hasta este punto las piezas moldeadas recién expandidas tienen hasta el 50% del agente expansor inicial, este porcentaje se va reduciendo conforme pasa el tiempo de almacenamiento hasta quedar un resto del 10-15%.

– Almacenamiento final

En esta parte del proceso las piezas son secadas y continúan liberando pentano, por ello es necesaria una ventilación adecuada y una presión de aire positiva que ayude a equilibrar la presión interna de las piezas internas con la presión del exterior (NOVA Chemicals, 2005).

***Otras instalaciones***

La cantidad necesaria de agua para la fabricación de piezas de EPS, hace que sea necesario destinar una superficie específica para el almacenamiento de este líquido. Según BASF (2001), teóricamente se necesitan unos 134 kJ de energía térmica para la pre-expansión de 1kg del poliestireno expandible, esta cantidad de calor es suministrada por 0.06 kg de vapor saturado, que libera el calor al condensarse. Sin embargo el consumo real de vapor se ve influenciado de manera decisiva por una serie de factores, los cuales son:

- Tipo de aislamiento del aparato de pre-expansión (pérdidas por condensación)
- Valor de la densidad aparente deseada
- Propiedades de pre-expansión del poliestireno expandible utilizado

El consumo real, dependiendo de los factores, es de 0.15-0.4 kg de vapor de agua por kg de materia prima, para la expansión posterior el consumo de vapor de agua es menor, de aproximadamente 0.1 kg de vapor de agua por kg de poliestireno expandido (BASF, 2001). Considerando estos datos se calcula que para la transformación completa del poliestireno expandible, son necesarios 0.5kg de vapor saturado por cada kg de materia prima. Sabiendo que bimestralmente se transforma cerca de 18,918 kg de poliestireno expandible, son necesarios 9,459 kg de vapor saturado cada dos meses.

Además del agua necesaria para el área de producción, se necesita también para servicios generales de la planta. Por ello se considera que se tiene que tener un espacio suficiente para el almacenamiento de este líquido; un volumen mínimo de 64m<sup>3</sup> puede almacenarse ya sea en tanques de almacenamiento o en un tanque cisterna.

### **5.3.2. Limitaciones prácticas**

- La distribución del área de producción se limita a las dimensiones de la maquinaria del proveedor seleccionado.
- En un inicio se había considerado un área de estacionamiento especialmente para los tráilers, pero debido a la necesidad y requerimientos de la empresa, solo se considera un área de estacionamiento para vehículos.
- También se habían considerado una entrada general para toda la empresa, sin embargo las maniobras y peligro que generan los tráilers hacen que se proponga dos entradas para la empresa, una para los tráilers y otra para el personal de la empresa.
- La situación de la vecindad es un factor que propone Muther (1968) para analizar como factor de influencia, sin embargo durante la entrevista con representantes de la agencia seleccionada, mencionaron que no existe ningún inconveniente en la localidad para la instalación de la planta y para las dimensiones del terreno, mencionaron que en el lugar si existen lugares disponibles con esta dimensión.
- El análisis de la producción se limita a un turno de 8 horas.

### 5.3.3. Generación de alternativas

El procedimiento se apoya de dos herramientas, la primera de la conversión del diagrama de relación de actividades a una tabla de valores (Tabla 40), con los valores asociados a los códigos de la Tabla 35. La importancia de cada departamento se obtiene de la suma de los valores de cada renglón; con ello se selecciona el departamento con el total máximo y se coloca al centro del diagrama de relación entre actividades o conocido también como diagrama de nodos, a continuación se colocan los departamentos que tengan una relación de 4 con él, después una relación de 3 y así sucesivamente con los demás departamentos hasta que todas las áreas estén en el diagrama. El proceso de ordenamiento de los departamentos se apoya también de la segunda herramienta que es una hoja de trabajo (Figura 34) la cual es una herramienta que transfiere información del diagrama de relación de actividades a un diagrama adimensional de bloques (Meyers & Stephens, 2006).

Tabla 40. Valores obtenidos de la tabla de relaciones (Fuente: Propia).

DEPARTAMENTOS	PR	R y E	AMP	APT	SA	MA	OF	CAF	CA	EA	TOTAL
1. Producción		1	4	4	4	4	3	1	4	0	25
2. Recepción y envíos			4	4	2	1	0	0	0	0	11
3. Almacén de materia prima				0	2	1	2	0	-1	0	4
4. Almacén de producto terminado					2	0	2	0	-1	0	3
5. Sanitario						2	0	3	-1	0	4
6. Mantenimiento							3	0	4	2	9
7. Oficinas								2	-1	0	1
8. Cafetería									-1	0	-1
9. Caldera										-1	-1
10. Estacionamiento											-

Actividades	A	E	I	O	U	X
1. Producción	3, 4, 5, 6, 9	7	-	2,8	10	-
2. Recepción y envíos	3,4	-	5	1,6	7,8,9,10	-
3. Almacén de materia prima	1,2	-	5,7	6	4,8,10	9
4. Almacén de producto terminado	1,2	-	5,7	-	3,6,8,10	9
5. Sanitario	1	8	2,3,4,6	-	7,10	9
6. Mantenimiento	1,9	7	5,10	2,3	4,8	-
7. Oficinas	-	1,6	3,4,8	-	2,5,10	9
8. Cafetería	-	5	7	1	2,3,4,6,10	9
9. Caldera	1,6	-	-	-	2	3,4,5,7,8,10
10. Estacionamiento	-	-	6	-	1,2,3,4,5,7,8	9

Figura 34. Hoja de trabajo de relación de actividades de la Figura 30 (Fuente: Propia).

Teniendo en cuenta las dos herramientas anteriores, se proponen las siguientes alternativas.

**Alternativa A**

Para la primera alternativa, se considera la propuesta del primer diagrama de relación entre actividades considerando la Figura 31 y con la hoja de trabajo (Figura 34), se genera el diagrama adimensional de bloques (Figura 35).

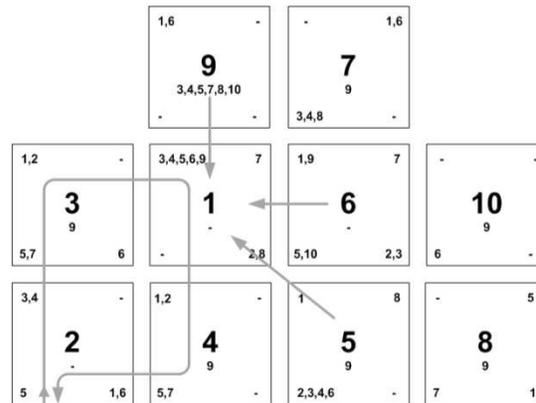


Figura 35. Diagrama adimensional de bloques para la alternativa A (Fuente: Propia).

**Alternativa B**

La segunda alternativa generada, se presenta con el diagrama adimensional de bloques (Figura 36) y se transforma a una representación del diagrama de relación entre actividades (Figura 37).

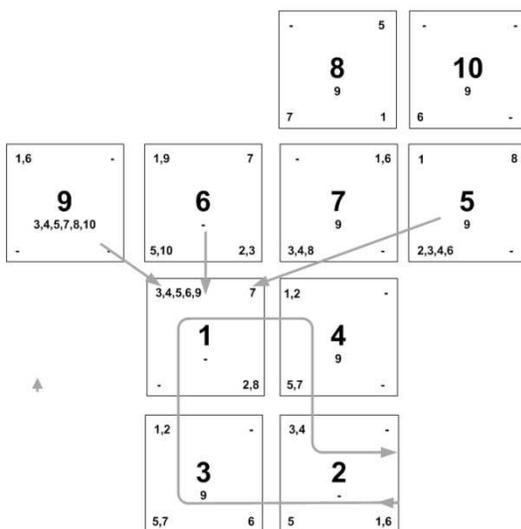


Figura 36. Diagrama adimensional de bloques B (Fuente: Propia).

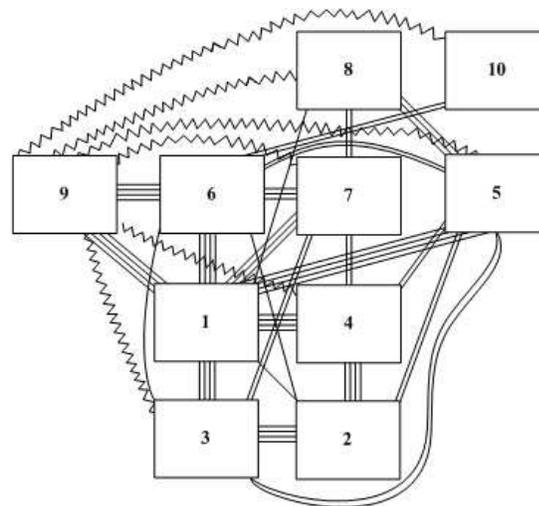


Figura 37. Diagrama de relación entre actividades B (Fuente: Propia).

### Alternativa C

La tercera alternativa generada, se presenta con el diagrama adimensional de bloques (Figura 38) y se transforma a una representación del diagrama de relación entre actividades (Figura 39).

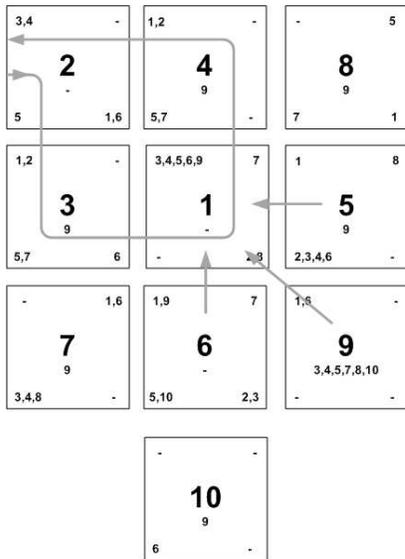


Figura 38. Diagrama adimensional de bloques C (Fuente: Propia).

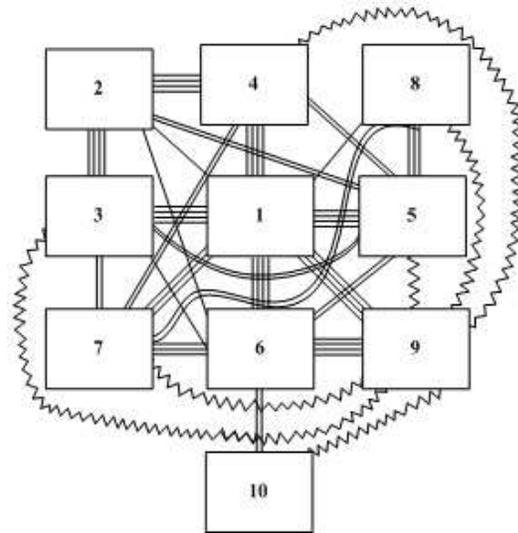


Figura 39. Diagrama de relación entre actividades C (Fuente: Propia).

## 5.4. Evaluación

Para evaluar las distribuciones necesarias se utiliza el método propuesto por Sule (1994), el cual a través de una tabla de eficacia evalúa las distancias rectilíneas con respecto a los departamentos, considerando el valor de la relación entre los mismos. Se inicia traduciendo el área de cada departamento a una cantidad aproximada de bloques, para esta conversión un bloque es igual a 20 m<sup>2</sup>. La cantidad de bloques necesarios en cada área se ve en la Tabla 41.

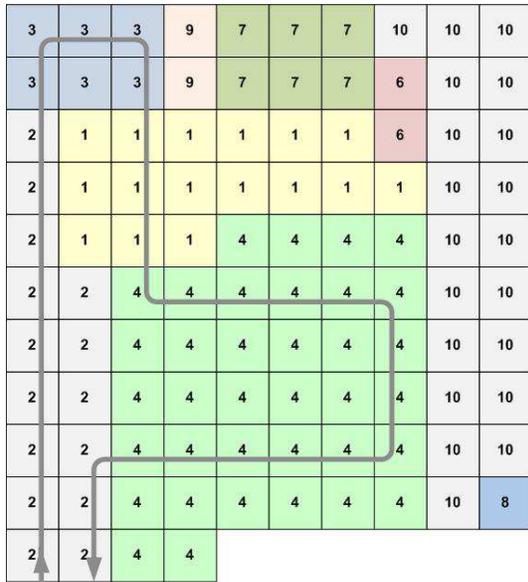
Tabla 41. Cálculo de bloques para cada departamento (Fuente: Propia).

Departamento	Área (m <sup>2</sup> )	Bloques
1. Producción	306	16
2. Recepción y envíos	297	15
3. Almacén de materia prima	126	6
4. Almacén de producto terminado	722	36
5. Sanitario	4	-
6. Mantenimiento	37.5	2
7. Oficinas	114	6
8. Cafetería	20	1
9. Caldera	31	9
10. Estacionamiento	391.5	20
Total	2067	104

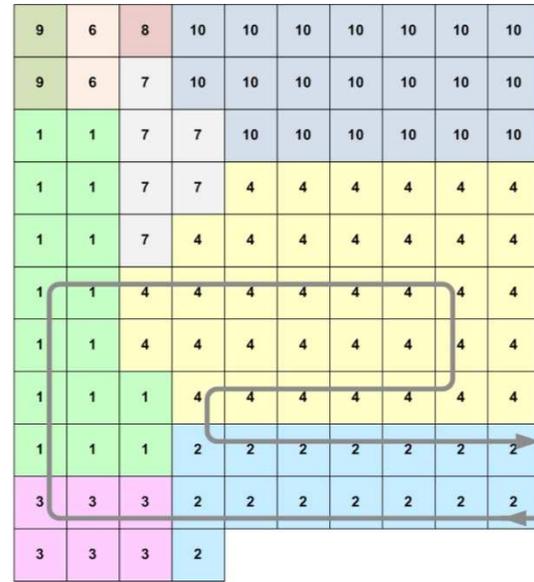
Por las dimensiones del sanitario, se adjunta con el área de producción; ya que este departamento está considerado como un servicio complementario para los empleados.

El total de los bloques a graficar son 104, por eso se limitará la red a una dimensión de 10 x 10 bloques y agregando otros 4. La representación en red de las tres alternativas se muestra en las Figuras 40a, 40b y 40c.

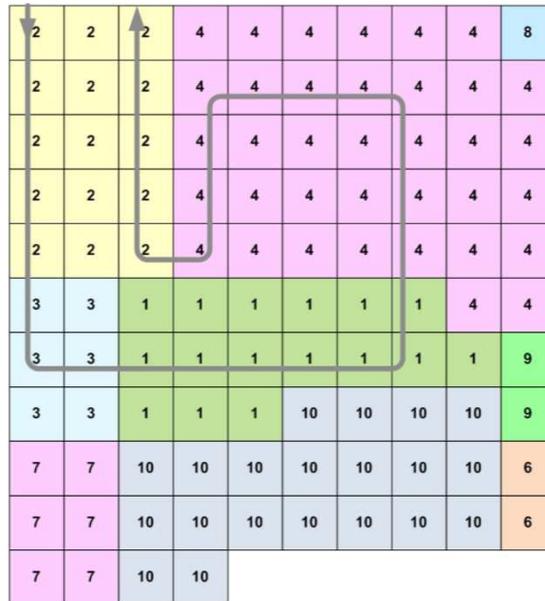
Ahora tomando la información de la Tabla 40 y las distancias rectilíneas de cada representación en red, se evalúa la eficacia de la distribución de departamentos y los resultados se registran en las Tablas 42, 43 y 44 respectivamente.



a) Alternativa A



b) Alternativa B



c) Alternativa C

Figura 40. Representación en red: a) Alternativa A, b) Alternativa B y c) Alternativa C (Fuente: Propia).

Tabla 42. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (a) (Fuente: Propia).

DEPARTAMENTOS	PR	R y E	AMP	APT	SA	MA	OF	CAF	CA	EA	TOTAL
1. Producción		1 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 0	3 x 0	1 x 7	4 x 0	0 x 0	7
2. Recepción y envíos			4 x 0	4 x 0	2 x 6	1 x 6	0 x 4	0 x 7	0 x 3	0 x 6	18
3. Almacén de materia prima				0 x 3	2 x 6	1 x 4	2 x 1	0 x 14	-1 x 0	0 x 4	18
4. Almacén de producto terminado					2 x 0	0 x 1	2 x 2	0 x 1	-1 x 3	0 x 0	1
5. Sanitario						2 x 0	0 x 2	3 x 7	-1 x 5	0 x 0	16
6. Mantenimiento							3 x 0	0 x 8	4 x 3	2 x 0	12
7. Oficinas								2 x 10	-1 x 0	0 x 0	20
8. Cafetería									-1 x 13	0 x 0	-13
9. Caldera										-1 x 3	-3
10. Estacionamiento											76

Tabla 43. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (b) (Fuente: Propia).

DEPARTAMENTOS	PR	R y E	AMP	APT	SA	MA	OF	CAF	CA	EA	TOTAL
1. Producción		1 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 0	3 x 0	1 x 2	4 x 0	0 x 2	2
2. Recepción y envíos			4 x 0	4 x 0	2 x 7	1 x 8	0 x 4	0 x 8	0 x 9	0 x 5	22
3. Almacén de materia prima				0 x 2	2 x 6	1 x 7	2 x 4	0 x 8	-1 x 7	0 x 8	20
4. Almacén de producto terminado					2 x 3	0 x 4	2 x 0	0 x 4	-1 x 5	0 x 0	1
5. Sanitario						2 x 0	0 x 0	3 x 2	-1 x 1	0 x 2	5
6. Mantenimiento							3 x 0	0 x 0	4 x 0	2 x 1	2
7. Oficinas								2 x 0	-1 x 1	0 x 0	-1
8. Cafetería									-1 x 1	0	-1
9. Caldera										-1 x 2	-2
10. Estacionamiento											48

Tabla 44. Cálculo de la eficacia para la Figura 40 (c) (Fuente: Propia).

DEPARTAMENTOS	PR	R y E	AMP	APT	SA	MA	OF	CAF	CA	EA	TOTAL
1. Producción		1 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 0	4 x 2	3 x 1	1 x 6	4 x 0	0 x 0	17
2. Recepción y envíos			4 x 0	4 x 0	2 x 7	1 x 10	0 x 3	0 x 12	0 x 8	0 x 3	24
3. Almacén de materia prima				0 x 2	2 x 6	1 x 8	2 x 0	0 x 12	-1 x 7	0 x 1	13
4. Almacén de producto terminado					2 x 0	0 x 2	2 x 6	0 x 0	-1 x 0	0 x 1	12
5. Sanitario						2 x 2	0 x 8	3 x 6	-1 x 0	0 x 0	22
6. Mantenimiento							3 x 7	0 x 7	4 x 0	2 x 0	21
7. Oficinas								2 x 15	-1 x 8	0 x 0	22
8. Cafetería									-1 x 5	0 x 7	-5
9. Caldera										-1 x 0	0
10. Estacionamiento											126

## 5.5. Selección

Los datos obtenidos en el paso anterior, se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Resultados obtenidos de las evaluaciones de las alternativas (Fuente: Propia).

Opción	Resultado
Alternativa A	76
Alternativa B	48
Alternativa C	126

Cada resultado representa la cantidad de bloques que separa a dos áreas considerando el valor de relación entre esos dos departamentos. La alternativa B obtuvo el valor más bajo siendo de 48, indica entonces que ésta distribución proporciona la menor distancia de recorrido entre los materiales y que en la forma en que están distribuidos los departamentos permite que los cruces entre ellos sea mínima y en la menor distancia.

Teniendo la mejor alternativa de distribución se consideran otros aspectos para determinar las características finales de la planta, los cuales se presentan a continuación.

Para la distribución de los departamentos se toma en cuenta lo siguiente:

El área de pasillos generales entre departamentos que se considera en la distribución final tendrá un ancho de 1.2m como mínimo, tomando como referencia la Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca (1998), donde menciona que el ancho mínimo de los pasillos y de las circulaciones para el público, será de 1.2m, excepto en interiores de viviendas unifamiliares y de oficinas, donde podrá ser de noventa centímetros.

Para la distribución final de la planta:

La Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca (1998), menciona que para la ocupación del suelo y las áreas libres descubiertas, ningún medio podrá estar ocupado o cubierto en un porcentaje mayor de 75% de su área útil, debiendo destinar el 25% restante para áreas libres, preferentemente jardinadas o bien los pavimentos permeables que delimitan la absorción de agua, por ello se toma 765 m<sup>2</sup>.

Una vez que se obtiene la distribución se presenta a los directivos de la empresa, y en su caso, se hacen los cambios en caso de que se requiera.

## **5.6. Implantación**

La implantación o la instalación corresponde al último paso de la metodología PSD, cuando se aprueba el proyecto de la distribución, la decisión final está sujeta a la empresa, si se decide instalar la planta, iniciando con la construcción del edificio, se deberá realizar los ajustes necesarios, conforme se van instalando los equipos y máquinas; para lograr la materialización de la distribución en detalle que fue planeada.

Muther (1968), menciona que las partes importantes en esta instalación son la preparación y el control, siendo la preparación la que es el factor más importante. Entre las actividades que se realizan aquí, se encuentran: la preparación de los planos de las instalaciones, la organización de los servicios auxiliares.

## CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 6.1. Resultados

Después de realizar el trabajo, se obtienen los siguientes resultados:

Para la selección del sitio de localización de la planta se analizaron factores como los servicios de transporte, de mano de obra, disponibilidad de los servicios adecuados, entre otros que permitió seleccionar el lugar para la instalación de la planta, los resultados se observan en la Tabla 46. Los cuales indican que el mejor lugar es la Agencia La Junta debido a que es la alternativa que obtiene el valor más alto.

Tabla 46. Resultados de la evaluación por alternativas para la selección del sitio (Fuente: Propia)

Alternativas	Agencia Acatlima	Agencia Agua Dulce	Agencia La Junta
Total	43.2	42.9	45.1

Estos valores se obtuvieron del análisis realizado en el Capítulo IV. Localización de la planta.

Los resultados de la evaluación de las propuestas de los proveedores para la maquinaria de moldeo de EPS se presentan en la Tabla 47, de los factores que se consideraron para la evaluación, se encuentran el precio, la capacidad, la mano de obra, la disponibilidad de refacciones y lo equipos auxiliares necesarios para su operación.

A partir de este análisis se concluyó que el mejor proveedor de la maquinaria de producción de piezas de EPS es Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd con una máquina de moldeo, ya que este proveedor obtuvo el valor más alto.

Estos resultados se obtuvieron del análisis realizado en la sección 5.1.2.1 Diseño del departamento de producción y servicios de apoyo.

Tabla 47. Resultados de la evaluación por alternativas para la selección de la maquinaria (Fuente: Propia)

Proveedor	Hangzhou Huasheng Plastic Machinery Co., Ltd	Longkou SHUNDA Machinery Equipment Co., Ltd	Hangzhou Fuyangwealth Imp & Expc., Ltd	Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd (2 máquina de moldeo)	Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd (1 máquinas de moldeo)
Total	43.5	41.3	41.5	39.5	44.9

Se desarrollaron tres alternativas diferentes integrando distintos tipos de flujo de material y que generan un efecto en las necesidades para la distribución de la planta, de las cuales se seleccionó la alternativa B la cual tuvo una valoración de 48, siendo el valor mínimo. Esta propuesta indica la distribución de menor distancia de recorrido entre los materiales y que en la forma en que están distribuidos los departamentos permite que los cruces entre ellos sea mínima y en la menor distancia.

Se ha obtenido la distribución del departamento de producción, considerando las dimensiones de la maquinaria que integra la línea de producción de piezas de EPS. Respecto a los otros departamentos, se han obtenido sus dimensiones (Tabla 48) considerando la mano de obra, las necesidades de producción, de almacenamiento y por ende de la política de inventario, además ha habido un cambio respecto a las áreas finales de cada departamentos debido a que se consideró un espacio de pasillos y que hubo un cambio de orientación de estos; para permitir un flujo continuo y disminuir la distancia de recorrido en toda la planta industrial.

Tabla 48. Área final para los departamentos de la planta (Fuente: Propia).

<b>Departamento</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Producción	306
Recepción y envíos	297
Almacén de materia prima	138
Almacén de producto terminado	790
Sanitarios y vestidores	10
Mantenimiento	37.5
Oficinas	118
Cafetería	20
Caldera	31
Estacionamiento	391.5

La distribución de planta para un sistema de moldeo de EPS tiene un tamaño de 2940m<sup>2</sup> cuyas dimensiones son de 49m x 60m, la cual se observa en la Figura 41, y la distribución de los departamentos que la conforman se visualiza en las Figuras 42-47.

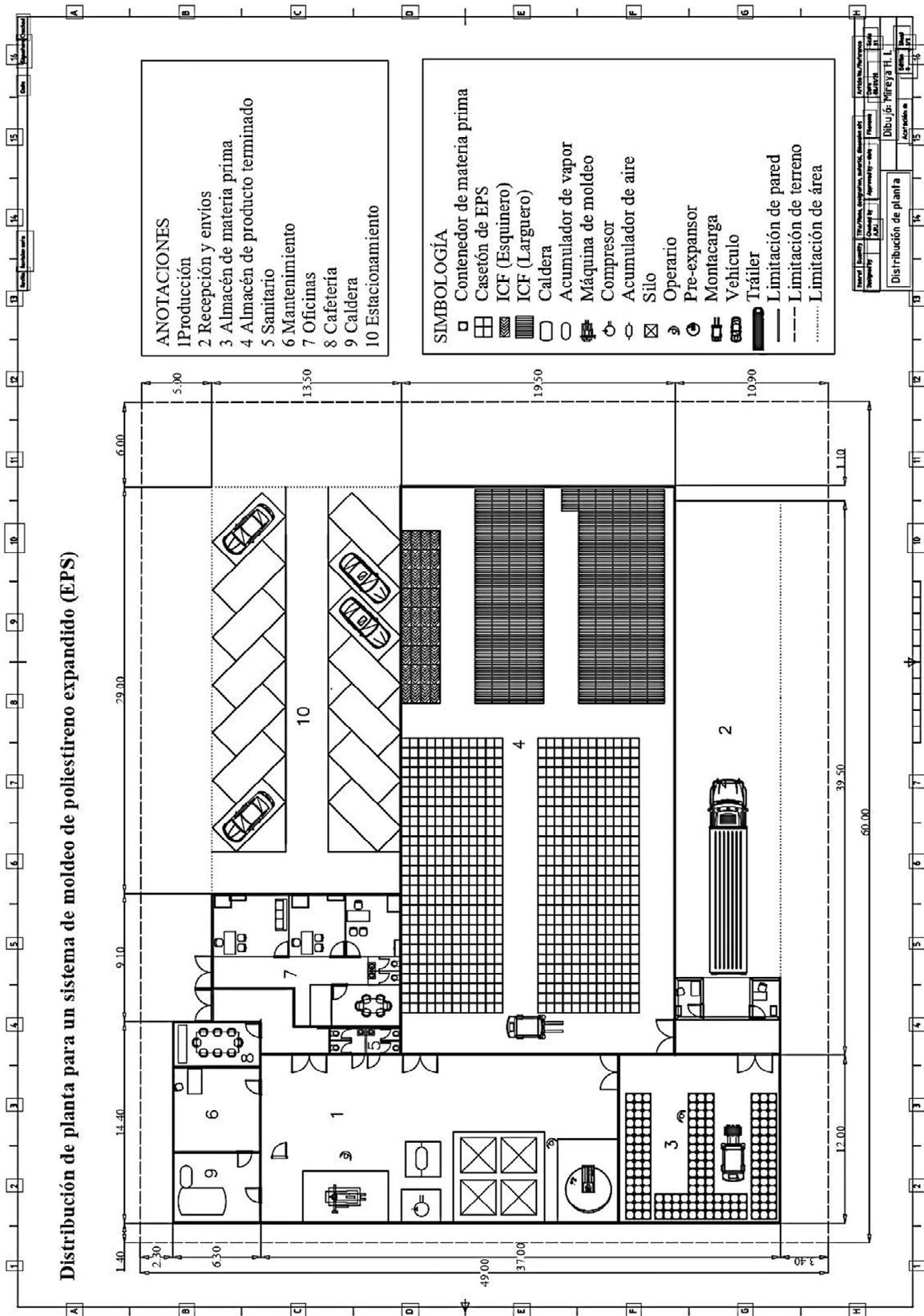


Figura 41. Distribución de planta para un sistema de moldeo de poliestireno expandido (EPS) (Fuente: Propia).

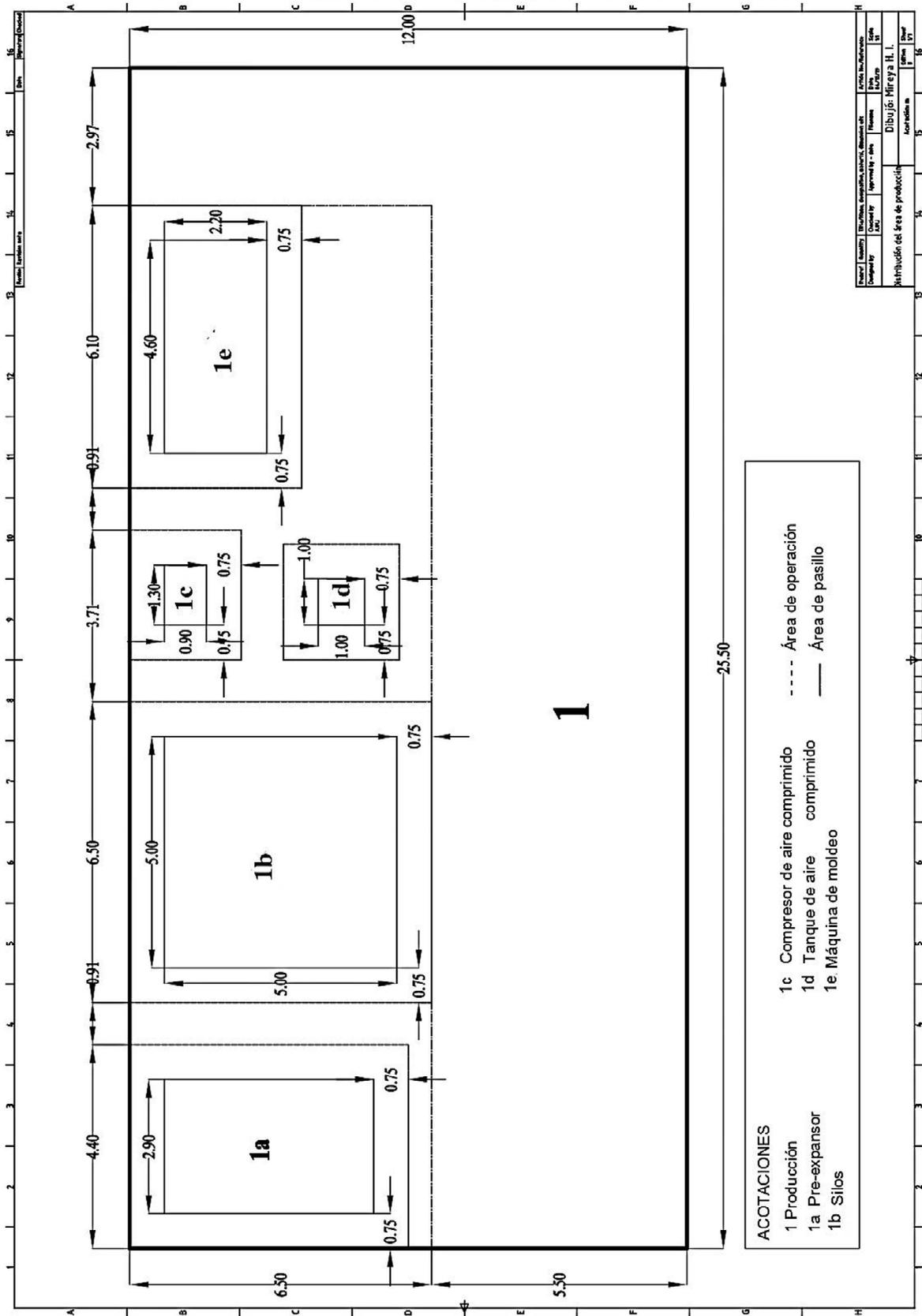


Figura 42. Distribución del área de producción (Fuente: Propia).

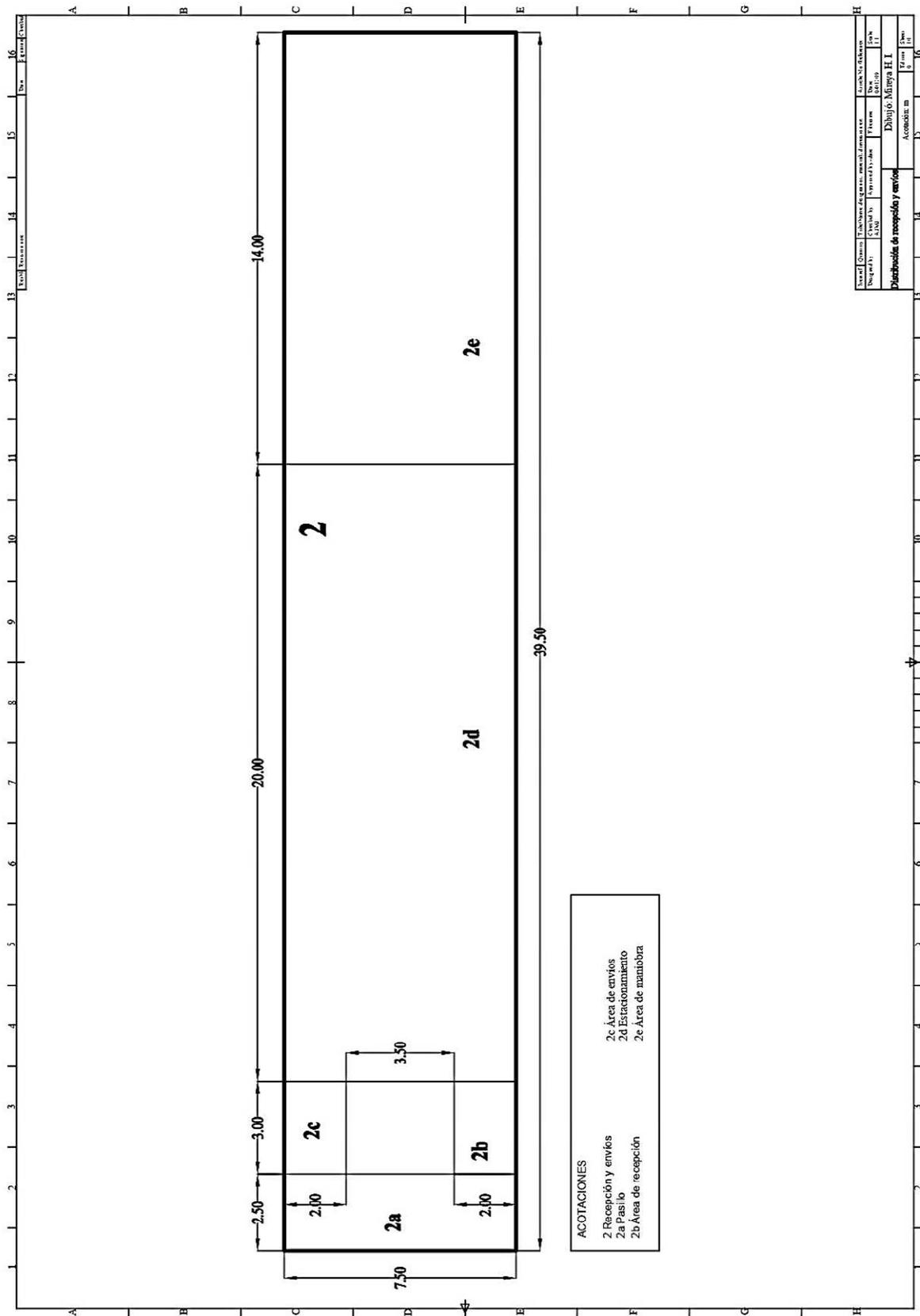


Figura 43. Distribución del área de recepción y envíos (Fuente: Propia).

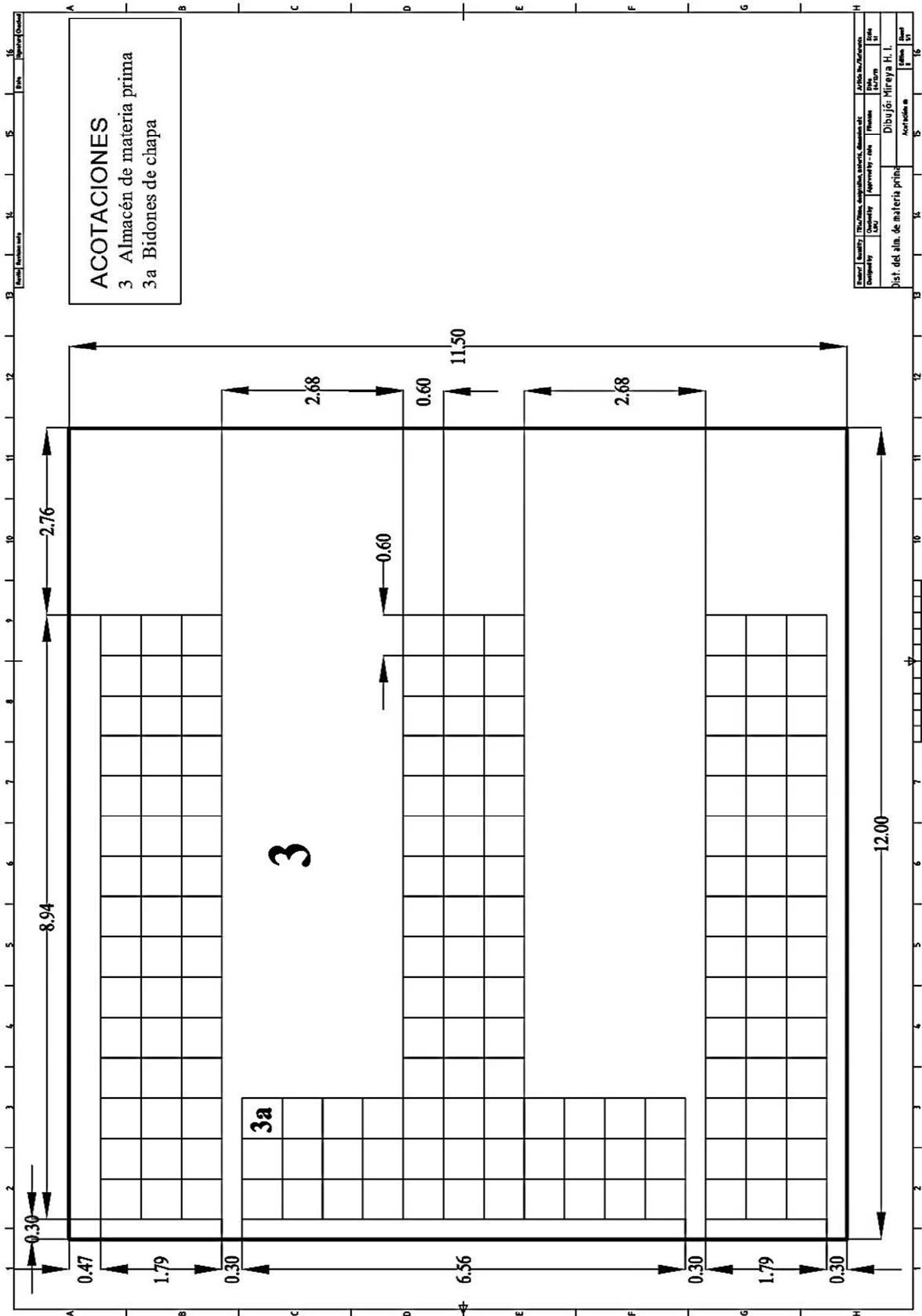


Figura 44. Distribución del área de almacén de materia prima (Fuente: Propia).



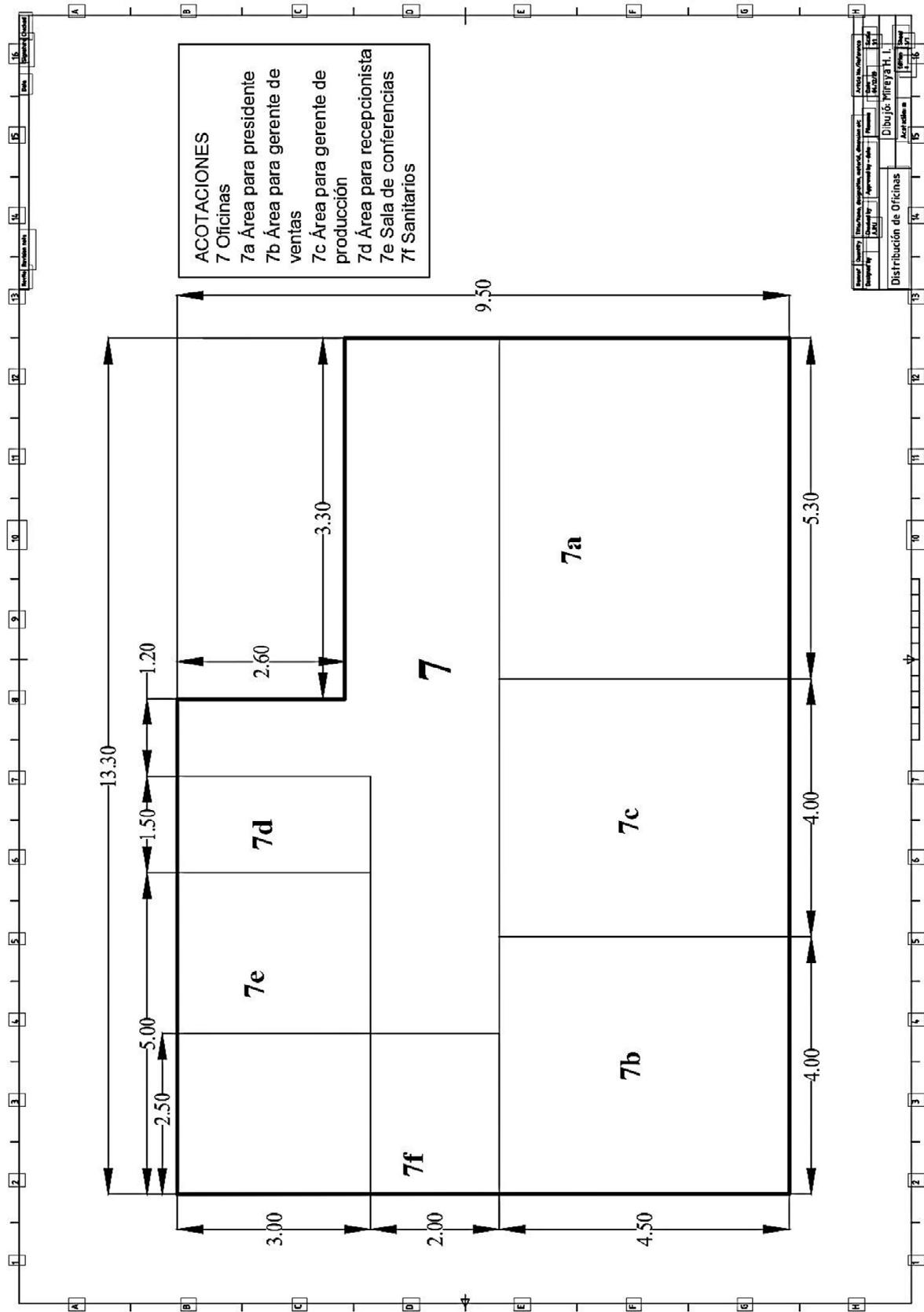


Figura 46. Distribución del área de oficinas (Fuente: propia).

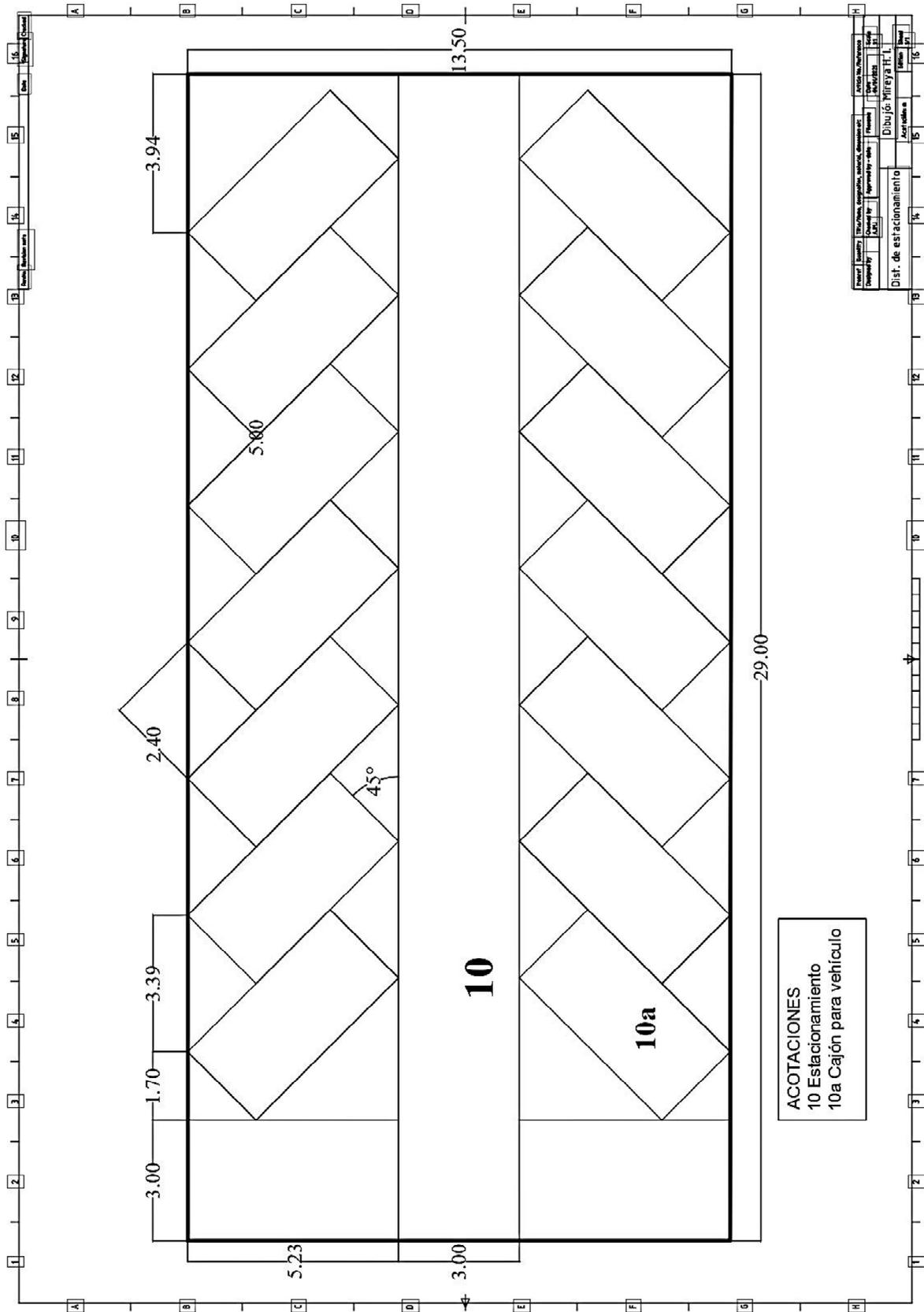


Figura 47. Distribución del área de estacionamiento (Fuente: Propia).

A partir de la obtención de la distribución final de la planta, se obtuvo el diagrama de flujo del proceso, con las distancias que se indican en la distribución, la cual se observa en la Figura 48.

Diagrama de flujo del proceso								
Ubicación: Huajuapán de León		Resumen						
Actividad: Fabricación de ICF (Larguero)	Evento	Presente	Propuesto	Ahorros				
Fecha: 11/07/2019	Operación		2					
Operador:	Transporte		4					
Analista: Mireya Hernández	Retrasos							
Subraye el método y tipo apropiados <b>Método:</b> Presente      Propuesto <b>Tipo:</b> Trabajador    Material    Máquina	Inspección		2					
	Almacen		3					
	Tiempo (min)		48.5 **					
Comentarios:	Distancia (m)		87					
	Costo							
Descripción de los eventos	Símbolo				Tiempo (min) *Días	Distancia (m)	Recomendaciones al método	
Cuarto con la existencia de materia prima	○	⇒	D	□	▽	*0-60	0	Evitar almacenar la materia prima en periodos largos de tiempo
Hacia el área de producción	○	⇒	D	□	▽	1	15	Utilizar sistema de transporte neumático
Primera expansión	○	⇒	D	□	▽	30	0	Utilizar un pre-expansor por lotes
Revisar densidad	○	⇒	D	□	▽	0.5	0	
Hacia los silos	○	⇒	D	□	▽	1	8	Utilizar un transporte que dañe lo menos posible las perlas
Silo con la existencia de la materia prima	○	⇒	D	□	▽	*1	0	Todos los equipos deben de estar conectados a tierra
Hacia la moldeadora	○	⇒	D	□	▽	1.5	9	Utilizar sistema de transporte neumático
Segunda expansión	○	⇒	D	□	▽	2	0	Asegurar una ventilación adecuada en la expansión de EPS
Revisar densidad	○	⇒	D	□	▽	0.5	0	
Hacia el cuarto de almacenamiento	○	⇒	D	□	▽	2	55	
Cuarto con la existencia de producto terminado	○	⇒	D	□	▽	*0-60	0	El cumplimiento del tiempo de reposo mejora su calidad
<b>Notas:</b>	El tiempo y la distancia entre de cada evento es estimado, tomando en referencia la información de proveedores y de la bibliografía							
	** Solo se consideran los min, ya que los días son variados							

Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ICF (Larguero) a partir de la distribución final (Fuente: Propia).

## 6.2. Conclusiones

Una vez realizado el trabajo de tesis, se obtienen las siguientes conclusiones:

En el municipio de Huajuapán de León existen condiciones para que se instale una planta manufacturera, y el mejor lugar dadas las necesidades de la planta es la agencia de policía La Junta.

Para la selección de la maquinaria para la fabricación de piezas moldeadas de poliestireno expandido, se cotizaron 4 proveedores de China, de los cuales uno presentaba dos propuestas, por ello la evaluación por alternativas se hizo a partir de 5 propuestas; del cual se seleccionó al proveedor Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co., Ltd con una máquina de moldeo, cuya maquinaria tiene un costo de 114,650 USD.

La aplicación de la metodología PSD, permitió proponer la distribución de una planta de producción de bloques de poliestireno expandido (EPS) para una empresa constructora.

La determinación del tamaño de la planta, así como la distribución de los departamentos se ha obtenido considerando una producción anual de 150 casas modelo Terra y 520 losas construidas de EPS.

Obtener la propuesta de distribución de planta traerá a la empresa amplios beneficios como el facilitar la instalación de la planta, ya que a partir de este trabajo, es posible identificar los requerimientos necesarios al momento de instalar la planta, conocer la maquinaria requerida para la fabricación de piezas moldeadas de EPS, anticipar los cuidados que exige el manejo y almacenamiento de la materia prima, producto en proceso y producto terminado, además de que la instalación de la planta ayudará al mejoramiento de la calidad de los bloques y de las viviendas que los usen, beneficiando las operaciones de la empresa, como por ejemplo disminución drástica en los costos de transporte de materiales, evitar depender de proveedores de bloques y casetones, monitorear de cerca y asegurar la calidad de estos materiales, acelerar la construcción de casas con base a la disminución de tiempos de edificación, mejora en el empleo del personal operativo.

## Bibliografía

- Andrade, M. M. (2015). *Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda*. México: Universidad Autónoma del estado de México.
- Archivo México-Oaxaca. (2016). *Mapa de principales localidades del municipio de Huajuapán de León*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mexico\\_Oaxaca\\_Huajuapán\\_de\\_León\\_comunities\\_map.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mexico_Oaxaca_Huajuapán_de_León_comunities_map.svg)
- Baca, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill.
- BASF. (2001). *Informaciones Técnicas Styropor*. Alemania: BASF.
- BASF. (2019). *BASF en México*. Obtenido de <https://www.basf.com/mx/es/who-we-are/Nuestra-Presencia-en-Mexico--Centroamerica-y-el-Caribe/Historia.html>
- Blanco Andray, A., & Martínez Ramírez, S. (2001). *Aplicación de un modelo de balances hídricos en la cuenca alta del Río Mixteco (Oaxaca)*. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Cárdenas, D. I. (2017). *Propuesta de distribución de planta y de ambiente de trabajo para la nueva instalación de la empresa MV Cosnrucciones LTDA de la comuna de Llanquihue*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- CEMEX. (2017). *Soluciones para edificios ICF*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=h1IPjvpLBDU>
- Chávez, H. A. (2014). *Estudio de la interacción entre el proceso de extrusión y el EPS*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Debate Graph. (2017). *Clasificación de las industrias*. Obtenido de <https://debategraph.org/Handler.ashx?path=ROOT%2Fu17693%2FLa+Industria.pdf>
- Del Río, C. M. (2003). *Estudio comparativo de las estrategias para la distribución del espacio en planta en los campos de la Arquitectura y la Ingeniería*. España: Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.
- Delgado, J. E., & Bermúdez, L. E. (2018). *Mejoras para el proceso de construcción de viviendas de interés social fabricadas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido empleando herramientas de manufactura esbelta*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
- DOF. (2019). *Resolución Del H. Consejo de Representantes de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimo*. Obtenido de [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5547224&fecha=26/12/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5547224&fecha=26/12/2018)

- DuBois, J. H. (1987). *Plastics Mold Engineering Handbook*. New York: Springer.
- Empolime, S. A. (2012). *Fabricación del EPS*. Obtenido de <http://www.empolime.com/fabricacion-poliestireno-expandido.htm>
- Erossa, M. V. (1987). *Proyectos de inversión en ingeniería: su metodología*. México: LIMUSA.
- Estrutec. (2011). *¿Qué es estrutec?* Obtenido de <http://www.estrutec.com.mx/queesestrutec.html>
- Foronda, L. R. (2017). *Diseño de un proceso de fabricación de láminas de poliestireno expandido en la provincia Santa Elena*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Freemeteo. (2019). *Tiempo en Huajuapán de León*. Obtenido de <https://freemeteo.mx/eltiempo/huajuapandeleon/tiempoactual/localidad/?gid=3527023&language=spanishar&country=mexico>
- García, N. P. (2016). *Evaluación de propiedades mecánicas del poliestireno*. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
- González, M. F. (2005). *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola, su uso en la construcción*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw-Hill.
- Hangzhou Fuyang Longwell Industry Co.,Ltd. (2019). *Cotización para línea de producción de piezas de EPS*. China: Longwell.
- Hangzhou Fuyang Torch Technology Co., L. (2019). *Tiempo de cambios de molde en una máquina de moldeo de EPS*. (M. Hernández, Entrevistador)
- Hangzhou Fuyangwealth Imp & Expc., Ltd . (2019). *Cotización para la línea de producción de piezas de EPS*. China: Fuyangwealth .
- Hangzhou Huasheng Plastic Machinery Co., LTD . (2019). *Cotización para la línea de producción de piezas de EPS*. China: Huasheng.
- Hebel, D., Wisniewska, M., & Heisel , F. (2014). *Building From Waste, recovered materials in architecture and construction*. Birkhäuser: Basel.
- Heizer, J., & Render, B. (2001). *Dirección de la producción Decisiones estratégicas*. Madrid: Pearson Educación.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- ICF México. (2019). *Distintos Tipos de ICF*. Obtenido de <https://www.icfmexico.com/productos>
- IMPI. (2000). *Enciclopedia del plástico*. México: Centro Empresarial del Plástico.

- INEGI. (2010). *Censo de población y vivienda*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html#Herramientas>
- INEGI. (2015). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades económicas*. Obtenido de [www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html#Herramientas](http://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html#Herramientas)
- Instituto Mexicano del Transporte. (2016). *Evaluación de las propiedades*. Querétaro: Secretaría de comunicaciones y transportes.
- Ley de desarrollo urbano para el estado de Oaxaca. (1998). *Reglamento de construcción y seguridad estructural para el estado de Oaxaca*. Oaxaca.
- Longkou SHUNDA Machinery Equipment Co., l. (2019). *Cotización para la línea de producción de piezas de EPS*. China: Shunda.
- López, A. (2009). *Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo la carga de compresión*. México: UNAM.
- Martínez, N. M. (2012). *Construcción con paneles estructurales de poliestireno expandido*. España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Meyers, F., & Stephens, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México: Pearson Educación.
- Morton-Jones, D. H. (2002). *Procesamiento de plásticos*. México: LIMUSA.
- Municipio de Huajuapán de León. (2015). *Reglamento de vialidad y tránsito del municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León*. Huajuapán de León.
- Municipio de Huajuapán de León. (2017). *Plan Municipal de Desarrollo 2017-2018 del municipio de Huajuapán de León*. Huajuapán de León, Oaxaca, México: H. Ayuntamiento constitucional 2017-2018.
- Muther, R. (1968). *Distribución en planta*. New York: McGraw-Hill.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial, Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill Companies.
- Nilson, A., & Winter, G. (1994). *Diseño de estructuras de concreto*. Santa Fe de Bogotá: McGraw-Hill.
- NOVA Chemicals. (2005). *Poliestireno Expandible. almacenamiento y manejo*. Estados Unidos: NOVA Chemicals Corporation.
- Núñez, A. (2014). *Dirección de operaciones, decisiones tácticas y estratégicas*. España: UOC.
- ONNCCE. (2010). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. *NMX-C-137-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción-Espuma rígida*

- de poliestireno, EPS-Especificaciones y métodos de ensayo*. Publicada el 2 de septiembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación: Texto vigente.
- Ordoñez, A. (2014). *Petrobloc y Estrutec. Evaluación de su efecto, en el desempeño energético de una vivienda*. México: Universidad de La Salle Chihuahua.
- Paolella, A., & Cocci, R. G. (2011). *The use of expanded polystyrene in construction*. Italia: WWF.
- Plastics Europe. (2007). *Guidelines for transport and storage of expandable polystyrene raw beads*. Europa: Association of plastics Manufacturers.
- Plastics Technology México. (2016). *Promueven el uso de poliestireno expandido (unicel) en la construcción*. México: Gardner Business Media.
- Secretaría de Economía. (2010). *Normalización Nacional*. Obtenido de <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/normalizacion/nacional>
- Servicios Globales. (2019). *Maquinaria industrial y de construcción*. Obtenido de <https://www.serviciosglobales.es/es/product/274336-bidon-220-litros-polietileno>
- Sisfix. (2011). *Plástico: Historia del plástico y sus tipos de moldeo*. Obtenido de <http://www.sysfix.es/el-plastico-su-historia-sus-tipos-y-su-moldeo>
- STPS. (1996). Secretaría del trabajo y previsión social. *NOM-122-STPS-1996, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo*. Publicada el 23 de octubre 1996: Texto cancelado.
- STPS. (1998). Secretaría del trabajo y previsión social. *NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas*. Publicada el 3 de diciembre de 1993: Texto vigente.
- STPS. (2002). Secretaría del trabajo y previsión social. *NOM-020-STPS-2002, Recipientes sujetos a presión y calderas-Funcionamiento-Condiciones de seguridad*. Publicada el 4 de mayo de 2001 en el Diario Oficial de la Federación : Texto vigente.
- STPS. (2008). Secretaría del trabajo y previsión social. *NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad*. Publicada el 29 de abril de 2008: Texto vigente.
- Sule, D. R. (1994). *Instalaciones de Manufactura Ubicación, planeación y Diseño*. Louisiana: Thomson.
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., & Tanchoco, J. (2011). *Planeación de instalaciones*. México: Cengage Learning.

- UNAM. (2018). *En México, el consumo nacional de unicel es de 125 mil toneladas anuales*. Obtenido de <http://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/>
- Weather Spark. (2019). *El clima promedio en Huajuapán de León*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/7371/Clima-promedio-en-Hujuapan-de-León-México-durante-todo-el-año#Sections-Clouds>
- Zapata, F. J. (2017). *Máquina CNC de 7 ejes para cortar poliestireno expandido (EPS)*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

# Anexo A

## Caso 1

Mes 1																																
Semana	1					2					3					4																
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Casetón	[Blue bar]																															
Larguero	[Blue bar]																															
Esquinero	[Blue bar]																															

Mes 2																																
Semana	1					2					3					4																
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Casetón	[Blue bar]																															
Larguero	[Blue bar]																															
Esquinero	[Blue bar]																															

## Caso 2

Mes 1																																
Semana	1					2					3					4																
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Casetón	[Blue bar]																															
Larguero	[Blue bar]																															
Esquinero	[Blue bar]																															

Mes 2																																
Semana	1					2					3					4																
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Casetón	[Blue bar]																															
Larguero	[Blue bar]																															
Esquinero	[Blue bar]																															



