

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Diseño de una planta de casas pre-fabricadas

César Burbano

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniería Industrial

Quito, octubre 2010

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Diseño de una planta de casas pre-fabricadas

César Burbano

Ximena Córdova, Ph.D
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Alba María Cabezas, M. Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Paolo Escorza, M. Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, M.Sc.
Decano del Colegio Politécnico

Quito, octubre 2010

© Derechos de autor
César Burbano
2010

RESUMEN

Este estudio tiene el objetivo de realizar una propuesta de distribución para una planta de casas prefabricadas. En la primera etapa se definió el sistema de producción a ser utilizado. Con este fin se analizó el producto, los procesos requeridos, piezas a ser producidas y maquinaria necesaria. En la segunda etapa se plantean varias propuestas de distribución; se diseñaron los departamentos considerando espacio para: materiales, maquinaria y movilidad de operadores; además, los flujos interdepartamentales e importancia de cercanía entre departamentos. Mediante el método gráfico se generó una propuesta inicial que fue alterada buscando mejorar la calificación de adyacencia. La etapa final consiste en escoger la mejor alternativa y agregarle los espacios administrativos y amenidades necesarias para que la planta pueda funcionar.

ABSTRACT

The purpose of this study is to make a proposal for the layout of a prefabricated houses plant. In the first stage the production system to be used was defined. This included product and processes analysis, parts to be produced and required machinery. Later on, a series of different proposals were generated. This included department design, considering space for materials, machinery and mobility of operators; as well as interdepartmental flow and importance of closeness between departments. The graphic method was used to produce an initial proposal that was modified seeking to improve the adjacency score. The final step consisted in choosing the best option and adding personnel and administrative requirements to allow the plant to operate.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Capítulo 1 Introducción	xi
1.1 Antecedentes	xi
1.2 Justificación e Importancia.....	xiii
1.3 Objetivo Final	xiv
1.4 Objetivos Específicos.....	xv
1.5 Metas del Proyecto	xv
1.6 Detalle de la metodología	xv
Capítulo 2 Marco teórico.....	xv
2.1 Revisión Literaria	xv
2.1.1 Breve Historia	xv
2.1.2 Administración por procesos	xvi
2.1.3 Herramientas de análisis	xxiii
2.1.4 Herramientas Analíticas para la toma de decisiones.....	xxviii
2.1.5 Aplicación de herramientas analíticas para la toma de decisiones.....	xxxiii
2.1.6 Métodos para el diseño de distribución de planta.....	xxxvii
Capítulo 3 Diseño del Sistema de Producción.....	xlii
3.1 Definir el producto.....	xlii
3.1.1 Cadena de Valor.....	xliii
3.1.2 Planos de Ensamble.....	xlv
3.1.3 Diagrama de Precedencias	xlvi
3.2 Definir Procesos Requeridos	xlvii
3.3 Determinar sistema de producción a ser utilizado	xlviii
3.4 Selección de maquinaria y mano de obra	lii
3.4.1 Análisis hacer-comprar	liii

3.4.2 Fracción de equipo necesaria.....	lv
3.4.3 Análisis de equipos y herramientas	lvi
3.4.4 Diagrama de asignación de maquinaria	lvii
3.4.4.1 Modelo de asignación con un ayudante menos.....	lxiii
3.4.4.2 Modelo de asignación con un instalador menos.....	lxiv
3.4.4.3 Modelo de asignación con un carpintero menos.....	lxv
3.4.4.5 Resolución por método del tableau	lxvii
Capítulo 4 Diseño de Distribución de Planta.....	lxviii
4.1 Determinación de los requerimientos.....	lxviii
4.2 Análisis de flujo, espacio y las relaciones de las actividades.....	lxix
4.3 RECEPCION Y ALMACENAMIENTO	lxx
4.3 Algoritmos de diseño	lxxxiii
4.3.1 Método basado en gráficas	lxxxiii
4.4 Evaluación de alternativas de Distribución de Planta	lxxxviii
4.4.1 Análisis alternativa 1	lxxxviii
4.4.2 Análisis alternativa 2.....	lxxxix
4.4.3 Análisis alternativa 3.....	lxxxix
4.4.4 Análisis alternativa 4.....	xc
4.4.5 Elección de la mejor alternativa	xc
4.5 Presentación de la mejora alternativa.....	xc
4.6 Manejo de Materiales.....	xc
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	xcii
5.1. Conclusiones	xcii
5.2. Recomendaciones	xciv
Bibliografía	xcv

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Modelo de un Sistema de Gestión de la Calidad Basado en Procesos	xviii
Figura 2. Gráfico de control	xxiv
Figura 3. Cadena de Valor	xxv
Figura 4. Tabla de Relaciones.....	xxviii
Figura 5. Cadena de Valor	xliv
Figura 6. Planos de Ensamble	xliv
Figura 7. Listado de Ensamblés por cada casa prefabricada.....	xlvi
Figura 8. Diagrama de Precedencias	xlvii
Figura 9. Flujo de producción de casas prefabricadas	xlviii
Figura 10. Departamento recepción y almacenamiento	lxxi
Figura 11. Limpieza Vigas	lxxiii
Figura 12. Corte de Vigas.....	lxxiii
Figura 13. Soldadura de la Estructura.....	lxxiv
Figura 14. Pintura de la Estructura.....	lxxv
Figura 15. Creación de Pisos	lxxvi
Figura 16. Corte de Paneles.....	lxxvi
Figura 17. Departamento recepción y almacenamiento	lxxviii
Figura 18. Instalación de Puertas y Ventanas.....	lxxviii
Figura 19. Resultado del método gráfico.....	lxxxiii
Figura 20. Alternativa Ideal.....	lxxxiv
Figura 21. Alternativa 1	lxxxiv
Figura 22. Alternativa 2	lxxxv
Figura 23. Alternativa 3	lxxxvi

Figura 24. Alternativa 4	lxxxvii
Figura 25. Mejor Alternativa	xcii
Figura 26. Metodo gráfico Iteración 2.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27. Metodo gráfico Iteración 3.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28. Metodo gráfico Iteración 4.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29. Metodo gráfico Iteración 5.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30. Metodo gráfico Iteración 6.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31. Metodo gráfico Iteración 7	¡Error! Marcador no definido.
Figura 32. Metodo gráfico Iteración 8.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33. Metodo gráfico Iteración 9.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
TABLA 1. Listado de Ensamblados por cada casa prefabricada.....	xlvi
TABLA 2 Análisis Hacer Comprar	liv
TABLA 3. Herramientas, Equipos, Capacidad y Demanda	lvii
TABLA 4. Sueldos y aptitudes de los trabajadores	lviii
TABLA 5. Problema de asignación planteado	lx
TABLA 6. Resolución del problema de Asignación de personal.....	lxi
TABLA 7. Análisis de sensibilidad	lxii
TABLA 8. Resolución y Análisis de sensibilidad del problema de asignación de personal con un ayudante menos	lxiv
TABLA 9. Resolución y análisis de sensibilidad del problema de asignación de personal con un instalador menos.....	lxv
TABLA 10. Resolución y análisis de sensibilidad del problema de asignación de personal con un carpintero menos	lxvi
TABLA 11. Método del tableau.....	lxviii
TABLA 12. Matriz de Flujo	lxxx
TABLA 13. Evaluación cualitativa de las relaciones.....	lxxxi
TABLA 14. Tabla de Relaciones	lxxxii

Diseño de una planta de casas pre-fabricadas

Capítulo 1 Introducción

El propósito de este estudio es diseñar la distribución para una planta de casas prefabricadas. Se empezará analizando el producto que se desea vender y el proceso de producción. Después se examinará las características de la demanda, principalmente variabilidad y volumen, para con esto determinar el sistema de producción que más conviene utilizar. Posteriormente se hará un análisis hacer-comprar para fijar las piezas que es preferible producir y las que es mejor comprar a un proveedor. Con esta información, las capacidades de los procesos y el tiempo semanal disponibles se calcularán el número de máquinas que se debe adquirir utilizando un concepto conocido como fracción de equipo. Después se utilizará la demanda de cada proceso para calcular la cantidad de mano de obra requerida en cada estación de tal manera que se minimice el costo total de funcionamiento.

Con la información de maquinaria requerida se diseñará uno por uno, todos los departamentos necesarios para conseguir el producto deseado; para esto se considerarán tamaños de pasillos, equipos, materiales y personal. Se estipularán las equivalencias de cargas y éstas se utilizarán para la definición de los flujos interdepartamentales. También se realizará una evaluación cualitativa de la importancia de cercanía entre cada par de departamentos, se evaluarán aspectos como: flujo de información, comunicación, control de inventario, entre otros.

Se empleará el Método Gráfico para generar una propuesta inicial de distribución física de la planta. Se propondrán otras distribuciones cambiando estaciones y buscando maximizar la adyacencia entre los departamentos que existe flujo. A la mejor alternativa se le añadirán amenidades para el personal y áreas administrativas para obtener el diseño final.

1.1 Antecedentes

La construcción de casas prefabricadas de panel metálico inyectado con poliuretano expandido de alta densidad representa una revolución en la manera

como se produce, compra y distribuyen casas (G. Del Hierro, comunicación personal, Febrero 18, 2009). La versatilidad del producto permite colocar conjuntos habitacionales en lugares inhóspitos, que son costosos y lentos para la construcción tradicional. Además, el tiempo de entrega es sumamente corto (G. Del Hierro, comunicación personal, Febrero 18, 2009). Por todas estas razones su demanda va en aumento y es necesario crear una planta de casas prefabricadas que la pueda satisfacer (G. Del Hierro, comunicación personal, Febrero 18, 2009).

El diseño de plantas es una de las actividades más fascinantes que los ingenieros industriales realizan. Esta actividad requiere mucha creatividad, además de un conocimiento extenso de principios de ingeniería y teorías combinadas con entendimiento práctico de los límites existentes en cada caso específico (STONE, 2002). Pero la recompensa es muy grande, puede alterar la situación socio-económica de toda una sociedad y mejorar en el nivel de vida de los habitantes (STONE, 2002).

La globalización, la desaparición de barreras comerciales y la creciente competencia que esto crea se ha convertido en una demanda constante de los fabricantes para que generen un producto de alta calidad al más bajo costo (PRADO, 2006). Sólo los que logren realizar esto con éxito pueden aspirar a convertirse en participantes importantes en el mercado mundial. “Para reducir el costo se tiene que ser eficiente y productivo, y para ser eficiente y productivo se tienen que planear cuidadosamente todas las actividades de manufactura” (SULE, 2001). Por lo tanto los diseñadores de plantas tienen la labor de comprender y optimizar las principales funciones de manufactura. Recientemente se han desarrollado nuevas maneras de cumplir con estos objetivos: función de calidad e ingeniería recurrente son parte de ellos. Cabe mencionar también a la automatización y aplicaciones tecnológicas de punta (SULE, 2001).

Diseñar una planta de la mejor manera es muy importante, pero debe ir de la mano de un efectivo manejo de materias primas y productos terminados. Además, definir claramente una política de manejo de inventarios y trabajar en reducir los excesos de éstos es fundamental. Una de las maneras de alcanzarlo es mediante “Lean Manufacturing” o producir sobre pedidos y no suposiciones, minimizar

tiempos de entrega, minimizar el stock, buena relación con proveedores y subcontratistas, tolerancia a cero errores y sistemas Kanban (HUTCHINS, 1998).

En el libro de Tompkins *Planeación de Instalaciones (2006)* se señala que el diseño de plantas industriales es sumamente importante. “Entre el 20% y el 50% de los gastos totales de operación se atribuyen al manejo de materiales” explica el autor. Algunos análisis han demostrado que la planeación de instalaciones puede reducir estos costos en porcentajes que oscilan entre 10% y 30%. Además expone que esta representa una de las áreas más prometedoras para aumentar la tasa de mejoramiento en la productividad.

De una conversación directa con el arquitecto Gabriel Del Hierro, realizada en febrero de 2009, se puso en evidencia que la demanda de construcciones a base de paneles ha crecido significativamente en los últimos años. La velocidad de construcción y la capacidad de llegar a sitios remotos son las razones principales, además de las excelentes características de aislante térmico y acústico, reducido peso, alta capacidad de soporte estructural y resistencia a la corrosión del material utilizado. Es necesario ahora incrementar la capacidad de producción de la empresa para de esta manera satisfacer la creciente demanda e incrementar la rentabilidad para la junta de accionistas.

1.2 Justificación e Importancia

Este proyecto existe debido a la necesidad de la empresa de generar un producto de calidad, que dé soluciones al problema de la vivienda y que permita exportar casas prefabricadas con sistema plegable. Es decir que cumpla con normas internacionales de construcción y normativas de calidad necesarias para la exportación (G. Del Hierro, comunicación personal, Febrero 18, 2009).

Julio José Prado en su artículo *América Latina ¿cómo se vio y cómo se verá?*, del año 2006, declara que el nuevo proceso de globalización, en el que se ven afectados todos los sectores de la economía de un país, demanda de las empresas tomar acciones para ser competitivas con las compañías extranjeras transnacionales que cada vez más se están apropiando de los mercados latinoamericanos. El autor continúa declarando que la investigación y el desarrollo actual de tecnologías avanzadas de decisión son fundamentales en nuestro

continente. Además, que los proyectos que tienen como finalidad desarrollar los modelos matemáticos necesarios para planificar óptimamente las cadenas de abastecimiento en las que coexisten actividades industriales y comerciales son básicos para permitir a la zona el convertirse en un importante participante del mercado mundial. De acuerdo a Prado, esto también se enmarca dentro de un proceso más profundo, el de desarrollar una cultura de toma de decisiones soportada en herramientas cuantitativas basadas en las metodologías y las tecnologías de la programación matemática. Finalmente el autor aclara que la meta es agregar valor a los productos mientras que pasan a través de la cadena de abastecimiento y se transportan a los mercados geográficamente dispersos en las cantidades correctas, con las especificaciones correctas, en el tiempo correcto, y a un costo competitivo.

En el Manual del Ingeniero Industrial, de Maynard (2006) existe una extensa referencia al diseño de plantas industriales; que se considera la transformación de una estrategia de manufactura en una capacidad física. En el libro se habla de que las facilidades: terrenos, edificios, equipo, maquinaria, proveen la capacidad física de agregar valor. Éstas son muy costosas, su vida útil son décadas y toma varios años poder amortizarlas. Son, por naturaleza, uno de los elementos estratégicos más importantes de una empresa. El autor señala que esta es la razón por la que el diseño de plantas y el análisis previo son tan importantes. El precursor del Justo a Tiempo, Taiichi Ohno en el libro *El Sistema de Producción Toyota* (1988) explica que las mejoras más significativas ocurren cuando se analizan maneras de prevenir las fallas en vez de arreglarlas cuando ya ocurrieron. El diseño de plantas consiste en diseñar un sistema de producción, una disposición y un sistema de manejo de materiales y almacenamiento. Cuando estos tres componentes trabajan en conjunto, como los engranajes de una máquina, el resultado es un producto competitivo (Maynard, 1982).

1.3 Objetivo Final

Proponer el diseño de una planta de casas prefabricadas según las especificaciones de una empresa constructora de modelos prefabricados ubicada en Quito.

1.4 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de producción adecuado para reducir tiempos de fabricación y costos de producción de viviendas prefabricadas.
- Lograr configurar la capacidad de producción para abastecer la demanda de una casa diaria.
- Proponer una distribución de planta para la nueva instalación.
- Diseñar un sistema de manejo de materiales eficiente que permita alimentar los procesos fundamentales con la tasa de producción determinada.

1.5 Meta del Proyecto

Proponer una distribución de planta para cumplir la meta de producción de una casa diaria.

1.6 Detalle de la metodología

1. Definir el objetivo de la instalación, especificar la cantidad de productos o servicios a ofrecerse e identificar la cantidad de los mismos a ser proporcionados. Identificar actividades principales y de apoyo.
2. Determinar requerimientos de espacio, de equipo, de material y personal.
3. Generar planes de instalación alternos.
4. Evaluar alternativas.
5. Seleccionar el mejor diseño.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Revisión Literaria

2.1.1 Breve Historia

El primer investigador de operaciones de la historia aparece en la Biblia, en el capítulo 18 del Éxodo. El suegro de Moisés, Jethro, sugirió una manera diferente de administrar la justicia al pueblo. La tarea era demasiado pesada para una sola persona, y aconsejó que se elijan a algunos jefes del pueblo para que ayuden en dictaminar sentencias de los casos y que únicamente los complicados

sean llevados a Moisés (BIBLIA, 0). Aquí se pueden observar que se propuso un método de trabajo que mejoraba la utilización de recursos.

No fue sino hasta el Siglo XIX que Frederick Taylor convirtió a la ingeniería industrial en una profesión, por lo que se le considera el padre de la administración científica (Kirkpatrick, 1986). El problema de las palas ilustra su contribución: tradicionalmente se había creído que mientras más grande la pala más eficiente sería el trabajador (Kirkpatrick, 1986). Taylor diseñó una serie de experimentos para determinar las variables significativas, concluyó que únicamente el peso combinado de la pala y la carga influían en el desempeño del trabajador, y el peso ideal era 20 libras; más de esto y el operario se cansaba demasiado rápido, menos y era necesario realizar demasiados viajes. Con este cambio se incrementó considerablemente la productividad de las minas (Kirkpatrick, 1986).

Desde Jethro y Taylor son muchos los que han utilizado modelos matemáticos para ser más productivos. Aplicándolos en áreas que van desde ejércitos hasta gobiernos, es que la utilización de recursos aparece en todo proceso y los procesos están en todo lugar (Kirkpatrick, 1986).

2.1.2 Administración por procesos

La Norma Internacional ISO 9001:2000 referente a los sistemas de gestión de la calidad, que establece los lineamientos para facilitar el mejoramiento de la calidad en organizaciones de todo tipo y los requerimientos para la certificación, establece en el punto 0.2 de la Introducción:

Esta norma promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que identificar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye el elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión, puede denominarse como “enfoque en procesos.”

El enfoque en procesos tiene muchas ventajas, por ejemplo el control que se aplica tanto en las relaciones como en los procesos individuales (ISO, 2000). Pero para que funcione efectivamente es necesario: “la comprensión y cumplimiento de los requisitos, consideren los procesos en términos que aporten valor, obtengan resultados del desempeño y eficacia del proceso y la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas” (ISO, 2000).

La esencia de la gestión basada en proceso se muestra en la Figura 1, que no es sino el principio fundamental de la norma ISO 9001. Este concepto a su vez se basa en los círculos de la calidad, llamados así debido a que el procedimiento se puede repetir indefinidamente. Esta idea de mejora continua comprende cuatro puntos:

Planificar: identificar miembros, obtener materiales, programar una revisión general y dar capacitación.

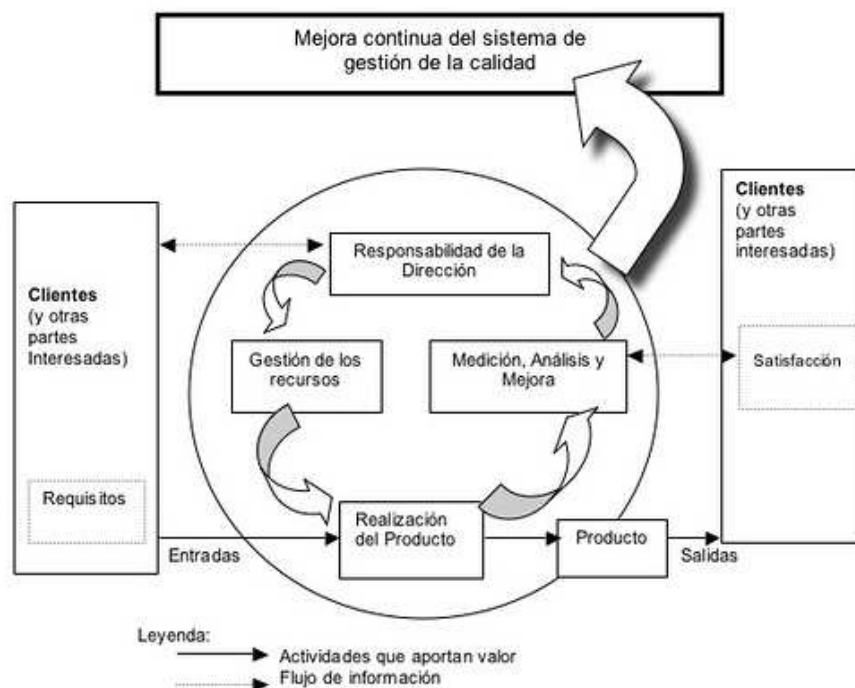
Hacer: realizar las inspecciones necesarias para identificar defectos.

Verificar: identificación y documentación de los defectos encontrados

Actuar: seguimiento necesario para corregir cualquier defecto y realización de todas las acciones correctivas potenciales (Lewis, 1999).

En la figura se puede apreciar que los clientes juegan el rol más importante sirviendo como entrada y también como salida. Es decir, los requisitos solicitados por los clientes son la entrada al sistema y la salida es su satisfacción. Toda la gestión se basa en lograr esta satisfacción. Por lo tanto el cliente es el principio y el fin.

Figura 1. Modelo de un Sistema de Gestión de la Calidad Basado en Procesos



Fuente: Norma ISO 9001:2000 página 6.

Producto

De acuerdo a (Hopp, 2001) "un producto es cualquier cosa que se puede ofrecer a un mercado para satisfacer un deseo o una necesidad".

Indicadores de desempeño

Para que una empresa pueda mantenerse en los más altos niveles de desempeño existen mediciones llamados Indicadores Clave de Desempeño (KPIs por sus siglas en inglés). Sirven para medir, rastrear y reportar indicadores que son importantes para el servicio y la calidad ofrecidos (Maynard y Zandin, 1982). Se emplean para determinar dónde se encuentra la compañía, a dónde se quiere llegar y cómo se logrará esto (Maynard y Zandin, 1982). Es decir, son una excelente ayuda para implementar los círculos de la calidad.

Estudio de tiempos y movimientos

De acuerdo a Niebel, en su libro *Ingeniería Industrial estudio de tiempos y movimientos*, el estudio de movimientos se define como “

el estudio de los movimientos del cuerpo humano que se utilizan para ejecutar una operación laboral determinada, con la mira de mejorar ésta, eliminando los movimientos innecesarios, simplificando los necesarios, y estableciendo luego la secuencia o sucesión de movimientos más favorables para lograr una eficiencia máxima(1976).

Los pioneros en este campo fueron los esposos Frank y Lillian Gilbreth a quienes se les atribuye que la industria reconociese la importancia de un estudio minucioso de los movimientos de una persona con el objetivo de “aumentar la producción, reducir la fatiga e instruir a los operarios acerca del mejor método para llevar a cabo una operación”(Niebel, 1976).

Las diecisiete definiciones para los therbligs que se presentan a continuación han sido tomadas del *Glosario de Términos empleados en Métodos, Estudios de Tiempos e Incentivos en Salarios* de la Sociedad Para la Investigación y Desarrollo (Niebel, 1976):

1. BUSCAR localizar un objeto.

2. SELECCIONAR se efectúa cuando el operario tiene que escoger una pieza de entre dos o más semejantes.
3. TOMAR es el movimiento elemental que hace la mano al cerrar los dedos rodeando una pieza o parte para asirla en una operación.
4. ALCANZAR corresponde al movimiento de una mano vacía, sin resistencia, hacia un objeto o retirándola de él.
5. MOVER corresponde al movimiento de la mano con carga.
6. SOSTENER tiene lugar cuando una de las dos manos soporta o ejerce control sobre un objeto.
7. SOLTAR ocurre cuando el operario abandona el control del objeto.
8. COLOCAR EN POSICIÓN consiste en situar o colocar un objeto de modo que quede orientado propiamente en un sitio específico.
9. PRECOLOCAR EN POSICIÓN consiste en colocar un objeto en un sitio predeterminado, de manera que pueda tomarse y ser llevado a la posición en que ha de ser sostenido cuando lo necesite.
10. INSPECCIONAR elemento incluido en la operación para asegurar la calidad aceptable mediante una verificación regular realizada por el trabajador que efectúa la operación.
11. ENSAMBLAR ocurre cuando se reúnen dos piezas embonantes.
12. DESENSAMBLAR lo contrario de ensamblar.
13. USAR tiene lugar cuando una o las dos manos controlan un objeto, durante la parte del ciclo en que se ejecuta trabajo productivo.
14. DEMORA INEVITABLE interrupción que el operario no puede evitar en la continuidad del trabajo.
15. DEMORA EVITABLE tiempo muerto que ocurre durante el ciclo de trabajo y del que solo el operario es responsable, intencional o no intencionalmente.
16. PLANEAR proceso mental que ocurre cuando el operario se detiene para determinar la acción a seguir.
17. DESCANSAR aparece rara vez en un ciclo de trabajo, pero suele aparecer periódicamente como necesidad que experimenta el operario de reponerse a la fatiga; consiste en hacer alto en el trabajo.

El mismo autor señala que uno de los enfoques principales del análisis de operaciones que se debe utilizar cuando se redefine un método existente son los principios de la economía de movimientos (1976). Son varios y de acuerdo al autor están clasificados en tres categorías:

A. Relativos al uso del cuerpo humano

1. Ambas manos debe comenzar y terminar simultáneamente los elementos los elementos o divisiones básicas del trabajo, y no deben estar inactivas al mismo tiempo excepto durante los períodos de descanso.
2. Los movimientos de las manos debe ser simétricos y efectuarse simultáneamente al alejarse del cuerpo y acercándose a éste.
3. Siempre que sea posible debe aprovecharse el impulso físico como ayuda al obrero, y reducirse a un mínimo cuando haya que ser contrarrestado mediante su esfuerzo muscular.
4. Son preferible los movimientos continuos en línea curva en vez de los rectilíneos que impliquen cambios de dirección repentinos y bruscos.
5. Deben emplearse el menor número de elementos o therbligs, y éstos se deben limitar a los del más bajo orden o clasificación posible. Estas clasificaciones, enlistadas en orden ascendente del tiempo y el esfuerzo requeridos para llevarlas a cabo, son:
 - i. Movimientos de dedos
 - ii. Movimientos de dedos y muñeca
 - iii. Movimientos de dedos, muñeca y antebrazo
 - iv. Movimientos de dedos, muñeca, antebrazo y brazo
 - v. Movimientos de dedos, muñeca, antebrazo, brazo y todo el cuerpo
6. Debe procurarse que todo trabajo que pueda hacerse con los pies se ejecute al mismo tiempo que el efectuado con las manos.

B. Disposición y condiciones en el sitio de trabajo

1. Deben destinarse sitios fijos para toda herramienta y todo material, a fin de permitir la mejor secuencia de operaciones y eliminar o reducir los therbligs buscar y seleccionar.
2. Hay que utilizar depósitos con alimentación por gravedad y entrega por caída deslizamiento para reducir los tiempos de alcanzar y mover.
3. Todos los materiales y las herramientas deben ubicarse dentro del perímetro normal del trabajo.
4. Conviene proporcionar un asiento cómodo al operario, en que sea posible tener la altura apropiada.
5. Se deben contar con el alumbrado, la ventilación, la ventilación y la temperatura adecuados.
6. Deben tenerse en consideración los requisitos visuales o de visibilidad en la estación de trabajo, para reducir al mínimo las exigencias de fijación de la vista.

C. Diseño de las herramientas y el equipo

1. Deben efectuarse, siempre que sea posible, operaciones múltiples de las herramientas combinando dos o más de ellas en una sola, o bien disponiendo operación múltiple en los dispositivos alimentadores, si fuera el caso.
2. Todas las palancas, manijas, volantes y otros elementos de manejo deben estar fácilmente accesibles al operario, y deben diseñarse de manera que proporcionen la ventaja mecánica máxima posible y pueda utilizarse el conjunto muscular más fuerte.
3. Las piezas en trabajo deben sostenerse en posición por medio de dispositivos de sujeción.

Por otro lado, el Estudio de Tiempos es una técnica que establece un tiempo estándar o normal para realizar una tarea determinada; esta técnica se basa en la medición del contenido y el método utilizado, con la debida consideración de la fatiga y las demoras personales y los retrasos inevitables (Mundel, 1984). El resultado final del estudio de tiempos, permite establecer un tiempo estándar para hacer una tarea determinada. Tiempo estándar es “el tiempo requerido por un

operador promedio, completamente calificado y entrenado; trabajando en condiciones normales para desarrollar y terminar una operación” (Mundel, 1984). Existen dos métodos básicos para realizar el estudio de tiempos, el continuo y el de regresos a cero; en el método continuo se deja correr el cronómetro mientras dura el estudio (Mundel, 1984). En esta técnica, el cronómetro se lee en el punto final de cada procedimiento, mientras el cronómetro sigue en movimiento (Mundel, 1984). En el método de regresos a cero el cronómetro se lee a la terminación de cada elemento, y luego se regresa a cero de inmediato (Mundel, 1984). Al iniciarse el siguiente elemento el cronómetro parte de cero. El tiempo transcurrido se lee directamente en el cronómetro al finalizar este elemento y se regresa a cero otra vez, y así sucesivamente durante todo el estudio (Mundel, 1984).

2.1.3 Herramientas de análisis

Las 7 magníficas son siete herramientas que facilitan muchísimo el análisis y comprensión de un proceso.

Diagrama Causa-Efecto

También conocido como Diagrama de Espina de Pescado, fue inventado por Kaoru Ishikawa y es una “representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha” (UALSP, 2004).

Lista de Verificación

Las listas de verificación se utilizan para ayudar a la memoria y facilitar que se realice una tarea de manera consistente y completa, puede ser tan sencilla como una lista de actividades por hacer, o puede incluir las tareas con un tiempo para realizarlas (UALSP, 2004).

Flujograma

Un flujograma “una forma de representar gráficamente los detalles algorítmicos de un proceso multifactorial. Se utiliza principalmente en programación, economía y procesos industriales” (UALSP, 2004).

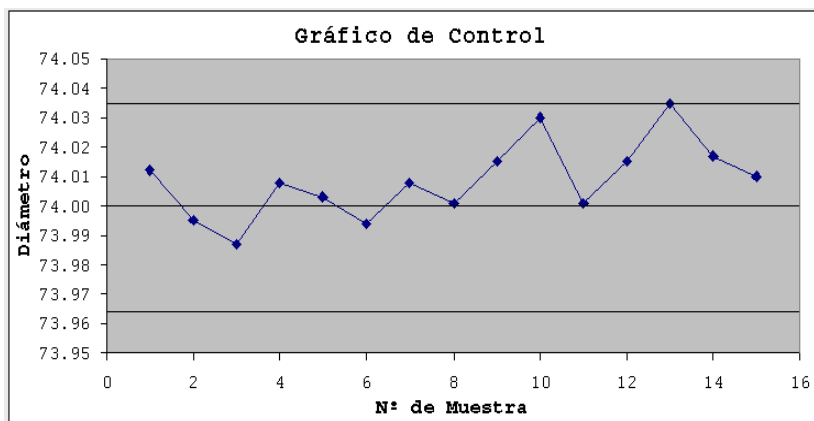
Histograma

De acuerdo al libro sobre calidad de la Universidad Autónoma San Luis Potosí de México, un histograma es “una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos” (2004).

Gráficos de control

Un gráfico de control es una herramienta utilizada para determinar si un proceso está en un estado estadístico de control o no, éste muestra el promedio de medidas de una característica de la calidad tomadas aleatoriamente de un proceso versus el tiempo (UALSP, 2004). Un ejemplo se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Gráfico de control



Fuente: Douglas C. Montgomery

Diagramas de dispersión

El diagrama de dispersión utiliza las coordenadas cartesianas para indicar los valores que tiene un grupo de observaciones de dos variables (UALSP, 2004). Se utilizan para determinar si existe algún tipo de relación entre las variables analizadas (UALSP, 2004).

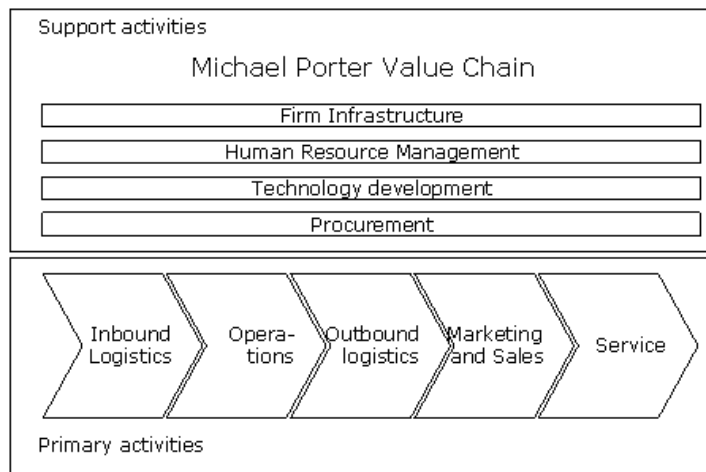
Diagrama de Pareto

Histograma con las frecuencias de los eventos ordenadas de mayor a menor. Utilizado principalmente para separar los muchos acontecimientos triviales de los pocos fundamentales. Cuando esto se cumple, el gráfico que tiene las causas en el eje X y la frecuencia en el eje Y tiene una primera derivada negativa y una segunda positiva (Juran, 1990).

Cadena de Valor

La cadena de valor fue un concepto introducido por Michael Porter en la década de los 80s, se refiere a una cadena de actividades por las que pasan los productos ganando valía en cada escalón (Porter, 1985). Los procesos se encuentran divididos en: centrales, gerenciales y de apoyo (Porter, 1985), como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Cadena de Valor



Fuente: Michael Porter.

Planos de Ensamble

De acuerdo a Tompkins (2006) un plano de ensamble es un plano detallado para cada parte de un componente, donde se muestran las piezas con el detalle suficiente como para permitir su fabricación.

Diagrama de Precedencias

De acuerdo a Tompkins (2006) un diagrama de precedencias es una red dirigida y se utiliza en la planificación de proyectos; los diagramas de ruta crítica y los diagramas PERT son ejemplos de diagramas de precedencias.

Tabla desde-hacia

Matriz cuadrada, casi siempre simétrica que describe todas las distancias entre un conjunto de lugares. Manifestados uno debajo de otro en las filas y uno al lado del otro en las columnas, se encuentran los orígenes y los destinos respectivamente. El cuerpo de la tabla especifica la distancia entre cada par origen-destino existente (Tompkins, 2006).

Matriz de flujo

Tabla que tiene en las columnas el destino y en las filas el origen, de la misma manera que la tabla desde-hacia. Pero en lugar de tener las distancias, el cuerpo describe el flujo entre el origen y destino.

El procedimiento para crearla es:

1. Listar todos los departamentos, destinos, ciudades, etc. hacia abajo en filas y a lo largo de las columnas.
2. Establecer una medida de flujo para planta que indique con precisión los volúmenes de flujo equivalentes. Se registra la cantidad de viajes en la tabla de un punto a otro para todos los productos.
3. Con base en la trayectoria de flujo para los artículos que se van a mover y la medida de flujo establecida, registrar los volúmenes de flujo en la tabla de un punto a otro (Tompkins, 2006).

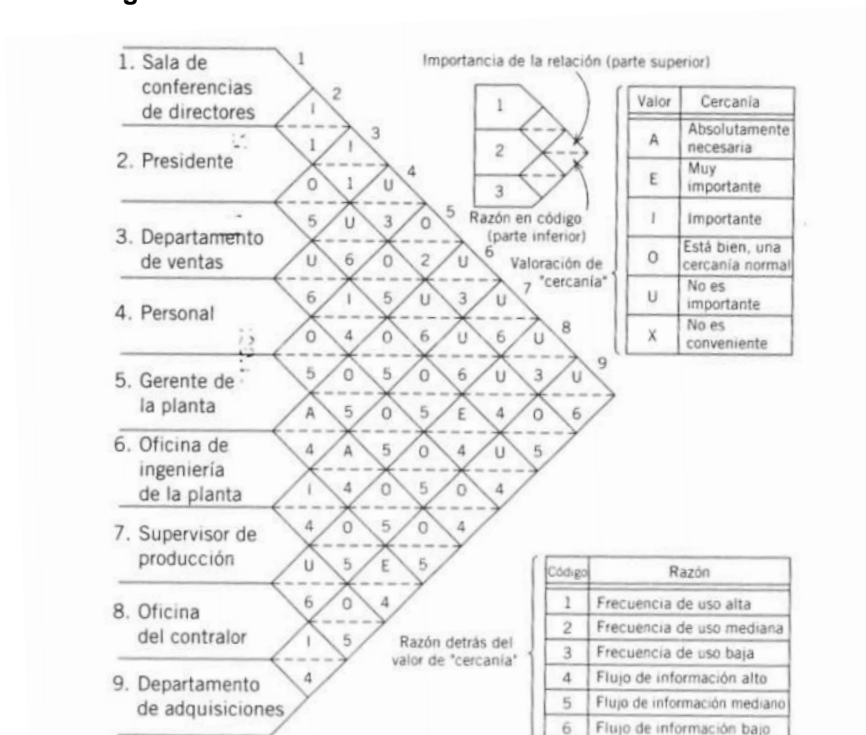
Tabla de relaciones

Registro de valores y razones del valor de cercanía para cada relación entre departamentos. Se considera una medición cualitativa ya que se basa en consideraciones sobre la importancia de la relación y la razón detrás de este valor. Un ejemplo se presenta en la Figura 4.

Procedimiento para su elaboración:

1. Enlistar todos los departamentos en la tabla de relaciones.
2. Efectuar entrevistas o encuestas con personas de cada departamento enlistado en la tabla de relaciones y con los administrativos responsables de todos los departamentos.
3. Definir los criterios para asignar las relaciones de cercanía y pormenorizar y registra los criterios como las razones para los valores de la relación en la tabla de relaciones.
4. Establecer el valor de la relación y la razón para el valor en todos los pares de departamentos.
5. Permitir que todos los que opinan en el desarrollo de la tabla de relaciones tengan oportunidad de evaluar y analizar los cambios en la misma (Tompkins, 2006).

Figura 4. Tabla de Relaciones



Fuente: James Tompkins

Análisis Hacer-Comprar

El objetivo de Análisis Hacer Comprar es identificar qué trabajo relacionado a una actividad económica se realizará con un proveedor externo y qué trabajo se realizará con recursos internos de la organización (Kotler, 2001). Se debe considerar el costo del trabajo, la capacidad de los recursos y aquellos temas relacionados a la propiedad intelectual de la organización (Kotler, 2001).

2.1.4 Herramientas Analíticas para la toma de decisiones

2.1.4.1 Fracción de equipo

Para determinar el equipo necesario se utiliza una fórmula conocida como fracción de equipo:

$$F = \frac{SQ}{EHR} \quad (2.1.4.1)$$

en donde

F = el número de máquinas requeridas

S = es tiempo estándar por unidad producida

Q = el número de unidades que se van a producir por turno

E = el desempeño real, expresado con un porcentaje del tiempo estándar

H = la cantidad de tiempo disponible por máquina

R = la confiabilidad de una máquina expresada como porcentaje del tiempo en funcionamiento (Tompkins, 2006).

2.1.4.2 *Investigación de Operaciones*

La investigación de operaciones (IO) es una herramienta para mejorar la toma de decisiones. Ayuda en definir los planes a largo plazo, como entrar en un mercado, construir una fábrica o bodega; y también en los problemas diarios como el material a comprar o la mejor combinación en el programa de producción (Levin, 1986). Un investigador de operaciones tiene la responsabilidad de recopilar e interpretar datos, construir modelos matemáticos, utilizarlos y predecir comportamientos futuros todo con el objetivo final de hacer recomendaciones (Levin, 1986).

De acuerdo a Omar J. Casas López, se llama problema de IO a todo problema que plantee encontrar el mínimo o el máximo de una función de una o varias variables. Estas variables pueden ser independientes o estar relacionadas de alguna forma mediante la especificación de ciertas condiciones que deban satisfacer.

El problema (P) de Investigación de Operaciones se puede formular mediante el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ \text{s.a. } & h_i = 0, \quad i \in I = \{1, 2, \dots, m\} \\ & g_j < 0, \quad j \in D = \{1, 2, \dots, k\} \\ & x \in \Omega \end{aligned}$$

donde f, h_i y g_i son funciones reales, definidas sobre un subconjunto medible Ω de un espacio vectorial de dimensión finita E^n , usualmente $\Omega \subseteq R^n$ (López, 2003).

En el problema existen tres elementos principales:

1. Variables principales o variables de decisión: son las variables modificables para encontrar el mejor valor posible de la función objetivo.
2. Función Objetivo: función cuyo resultado se desea minimizar o maximizar, la que expresa el objetivo del problema.

3. Restricciones: Conjunto de condiciones que deben cumplir las variables y que se expresan a través de un sistema de igualdades y/o desigualdades. También se las conoce como restricciones funcionales ya que son la especificación de un cierto conjunto restrictivo (López, 2003).

“Resolver el problema P significa hallar un conjunto de valores para las variables de decisión que satisfagan las restricciones (Conjunto de Soluciones Factibles del problema P) y que proporcione el mejor valor de la Función Objetivo entre todas las soluciones factibles posibles, a esto se le llama solución factible óptima” (López, 2003).

De acuerdo a López, existen principalmente tres tipos de problemas de IO dependiendo de su estructura, para cada uno se han desarrollado técnicas que facilitan su resolución.

1. Programación Clásica: el caso más simple consiste en optimizar una función objetivo sin restricciones o únicamente con restricciones de igualdad.
2. Programación Lineal: resuelve problemas donde todas las funciones que intervienen, tanto la función objetivo como las restricciones, son lineales
3. Programación No Lineal: Incluye a los problemas donde al menos una de las funciones es no lineal e incluye alguna restricción de desigualdad. Los métodos para resolver este tipo de problemas son complejos.

2.1.4.3 Metodología Científica en la IO

El autor Richard Levin presenta una metodología de seis pasos para aplicar la IO de una manera sistémica.

1. Análisis y Definición del Problema

Determinar los objetivos de la investigación y los involucrados: factores, variables, departamentos, personas etc. Saber qué se busca es el punto más importante de toda investigación.

2. Desarrollo del Modelo

Representación matemática a la situación que se está estudiando. Es una aproximación a la realidad y no necesariamente por ser más complicada es mejor, puede ser tan simple como una suma pero extremadamente efectiva para solucionar el problema. El objetivo es “producir un modelo que permita

pronosticar el efecto de factores cruciales a la solución del problema.” Encontrar la mejor representación puede ser complejo, por esta razón a esta etapa también se le conoce como prueba y refinación.

3. Selección de Datos de Entrada

Tomar datos confiables es fundamental ya que la solución encontrada estará en función de estos datos. Dicho de otra manera, si los datos de entrada son incorrectos la solución también lo será. Registros, medidas de campo, aproximaciones, cotizaciones, etc. deben ser utilizados y revisados.

4. Obtención de una Solución

Con los datos de entrada se soluciona el modelo planteado y se llega a una solución del problema en estudio. Cualquier solución obtenida es aplicable únicamente bajo ciertas suposiciones iniciales, por lo tanto al obtener una solución es importante observar qué ocurre cuando se alteran los datos de entrada, esto se conoce como análisis de sensibilidad.

5. Limitando el Modelo y la Solución

Definir la validez de la información, es decir explicar las condiciones bajo las que se cumple la solución. Determinar las circunstancias para las que no se cumple la solución.

6. Utilización del Modelo

El paso final es utilizar la solución, esto puede ser el evento más fácil o el más complicado dependiendo de la influencia del investigador en la organización.

2.1.4.4 *Análisis de Sensibilidad*

Análisis de Sensibilidad es un análisis que permite determinar cuándo una solución sigue siendo óptima, dados algunos cambios ya sea en el entorno del problema, en la empresa o en los datos del problema mismo, consiste en determinar qué tan sensible es la respuesta óptima del Método Simplex, al cambio de algunos datos como las ganancias, coeficientes de la función objetivo, o la disponibilidad de los recursos, términos independientes de las restricciones (Lieberman & Hillier, 2002). Se analiza la variación en los datos individualmente, cambiando un dato a la vez y asumiendo que todos los demás permanecen

constantes, a esto se le conoce como sensibilidad estática (Lieberman & Hillier, 2002).

De acuerdo a la Secretaría de Estado de Educación y universidades el objetivo principal del Análisis de Sensibilidad es establecer un intervalo en el cual el dato que se analiza puede estar contenido, de tal manera que la solución sigue siendo óptima siempre que el dato pertenezca a dicho intervalo; además de conocer el cambio en la función objetivo que representa éste (Lieberman & Hillier, 2002). A lo que se conoce como precio sombra o el cambio en la función objetivo por unidad de aumento en el lado derecho de la restricción (Lieberman & Hillier, 2002).

2.1.4.5 Programación Lineal

Definida como “el desarrollo de modelo para asignar recursos escasos entre actividades competitivas para alcanzar algún resultado deseado.”

El número de aplicaciones para el aparentemente simple problema de IO es ilimitado. En la sección 2.1.5 se muestran solo algunas de las modificaciones posibles para resolver determinadas asignaciones de recursos. Si se puede definir una función para ser optimizada y un grupo de restricciones probablemente se puede usar la IO para encontrar la solución. Siempre que se cumplan los cuatro supuestos señalados por Lieberman y Hillier: proporcionalidad, aditividad, divisibilidad y certidumbre se podrá generar un problema de IO simple y se podrá encontrar una solución fácilmente (2002).

Cientos de documentos de investigación son impresos cada año refiriéndose a nuevas aplicaciones y mejoras encontradas para el problema de Investigación de Operaciones.

2.1.4.6 Método del tableau heurístico

En la planeación de capacidad de mantenimiento se analizan maneras de determinar la mezcla óptima de recursos entre diferentes fuentes que dispone la organización, usualmente la cuadrilla interna de trabajo normal, tiempo extra y la

subcontratación de personal (Raouf, 2009). La mejor mezcla de éstos se encuentra considerando los costos y las variaciones.

El tableau se utiliza para evaluar el costo de las alternativas, seleccionando el plan con el costo mínimo. El método consiste en un tableau similar al que se emplea en la planeación de la producción, con ciertas modificaciones. Las fuentes de trabajo se muestran en el cuerpo y la capacidad máxima de cada una a la derecha, la carga de trabajo para cada período se muestra en el final de cada columna y el costo en la esquina de cada celda de la tabla (Raouf, 2009).

Este método heurístico se puede utilizar para encontrar la asignación de trabajadores a los diferentes períodos. Se empieza con la celda de menor costo de toda la tabla, y se asigna un valor tan elevado como sea posible, sea por la restricción de capacidad o por la de requerimiento de carga. “Es muy probable que se alcancen soluciones casi óptimas con el método del costo mínimo” (Raouf, 2009).

2.1.5 Aplicación de herramientas analíticas para la toma de decisiones

En el libro citado de Levin se analiza un caso genérico de un fabricante de productos de pastelería, este caso será adaptado para el tema en estudio: producción de casas prefabricadas.

Localización de instalaciones por el Método de centro de gravedad

Este modelo puede utilizarse para encontrar la ubicación de una bodega que abastece a varias tiendas, para ubicar [plantas](#) de producción, puertos, paradas de buses, etc. teniendo en cuenta el lugar de recepción de las materias prima y el destino de los productos terminados. El método tiene en cuenta la localización de los [orígenes](#), destinos y los costos de transporte. El problema consiste en una localización central que minimice el costo total de transporte (CTT), el cual es proporcional a la distancia recorrida desde y hacia la instalación (Chopra, 2007). El autor expresa matemáticamente este problema de la siguiente manera:

$$CTT = \sum c_i \cdot v_i \cdot d_i \quad (2.1.5.1)$$

c_i es el costo unitario de transporte correspondiente al punto i

v_i volumen o peso de los materiales movidos desde o hacia i

d_i distancia entre el punto i y el lugar donde se encuentra la instalación

El producto $c_i \cdot v_i$ es igual al peso (w_i) o importancia que cada punto i tiene en el emplazamiento de la instalación.

Para llegar a la solución óptima puede calcularse el centro de gravedad dentro del área marcada por las distintas localizaciones. Las coordenadas que definen ese punto central se determinan empleando las expresiones siguientes:

$$\bar{x} = \frac{\sum c_i \cdot v_i \cdot x_i}{\sum c_i \cdot v_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum c_i \cdot v_i \cdot y_i}{\sum c_i \cdot v_i} \quad (2.1.5.2)$$

De esta manera se puede determinar la locación óptima de la instalación.

Problema de transporte

Si los puntos de producción y los lugares de venta están localizados en diferentes ciudades, la gerencia podría determinar el cierre de unos y la creación de otros nuevos. Existen diferencias en la demanda, disponibilidad, precio de materias primas, antigüedad de las máquinas, transporte y costo de funcionamiento y de mano de obra para cada punto de producción. El fabricante puede maximizar sus ganancias si localiza los puntos de producción y venta en lugares específicos que logran satisfacer la demanda incurriendo en los menores costos (Levin, 1986).

El modelo matemático para lograr esto es:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (2.1.5.3)$$

s.a.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = s_i \quad \text{para } i=1,2,\dots,m.$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = d_j \quad \text{para } j = 1,2,\dots,n$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \text{para toda } i, j$$

El problema del transporte se refiere a la distribución de cualquier bien, desde cualquier grupo de centros de abastecimiento, llamados orígenes, a cualquier

grupo de centros de recepción llamados destinos. Todos los problemas del transporte cumplen con la propiedad si s_i y d_j son enteros positivos, toda solución básica factible tiene valores enteros (López, 2003).

Problema de asignación

“El problema de asignación es un tipo especial de problema de programación lineal en el que los asignados son recursos destinados a la realización de tareas” (Lieberman y Hillier, 2002). Para formular un problema de asignación es necesario que se cumplan las siguientes suposiciones:

1. El número de asignados es igual al número de tareas. (este número es denotado por n)
2. Cada asignado se asigna a exactamente una tarea.
3. Cada tarea debe realizarla exactamente un asignado.
4. Existe un costo c_{ij} asociado con el asignado i que realiza la tarea j .
5. El objetivo es determinar cómo debe hacerse las n asignaciones para minimizar los costos totales ((Lieberman y Hillier, 2002).

De acuerdo al autor citado, el modelo matemático para el problema de asignación se formula de la siguiente manera:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el asignado } i \text{ realiza la asignación } j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (2.1.5.4)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n$$

X_{ij} binarias, para toda i y j

Problema de la Mezcla

El problema de la mezcla es expuesto por López de la siguiente manera. Asumiendo que se tienen varios productos, conociendo el costo de producción de cada uno y el tiempo por máquina que requieren, se desea determinar la combinación de productos que minimizan los costos de funcionamiento. Lógicamente se debe satisfacer la demanda pronosticada y cumplir con el tiempo disponible por máquina.

Considerados n productos diferentes A_1, A_2, \dots, A_n , que deben ser procesados en m máquinas N_1, N_2, \dots, N_m tal que b_i es la cantidad máxima que se dispone en la máquina i . Se trata de encontrar la combinación de cantidades x_1, x_2, \dots, x_n de los diferentes productos A_i que deben ser incluidos para generar el costo mínimo de funcionamiento. Siendo c_i el costo unitario de producir A_i y a_{ij} el tiempo de producción de i en la máquina j (López, 2003). De acuerdo al autor la formulación matemática sería.

x_i = cantidad de unidades del producto A_i a fabricar

$$\min Z = \sum_{i=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (2.1.5.5)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} X_i \geq b_i \quad \text{para } j = 1, 2 \dots m$$

Planeación Agregada

En este problema una compañía desea determina niveles ideales de capacidad, producción, subcontratación, inventario, faltantes y precios a través de un horizonte de tiempo específico. La meta es satisfacer la demanda mientras se maximiza la rentabilidad. Las variables son: tasa de producción, fuerza laboral, tiempo extra, nivel de capacidad de máquina, subcontratación, retrasos e inventario mantenido (Chopra, 2007). La primera restricción es que el tamaño de

fuerza laboral para cada mes está basado en contrataciones y despidos. Además, la producción para cada mes no puede exceder la capacidad. El inventario debe estar balanceado al final de cada mes. Finalmente existe una restricción de tiempo extra para cada mes (Chopra, 2007) .

Considerando un horizonte de planeación de n meses, sea:

W_t = Tamaño de fuerza laboral para mes t

H_t = # de empleados contratados al inicio del mes t

L_t = # de empleados despedidos al inicio de mes t

P_t = Producción en mes t

I_t = Inventario al final de mes t

S_t = # de unidades faltantes (retrasadas) al final de mes t

C_t = # de unidades subcontratadas para mes t

O_t = # de horas trabajadas en tiempo extra en mes t

CX_t = costo unitario de la variable X en el mes t.

$t = 1, \dots, n$

La formulación matemática ser

$$\text{Min}Z = \sum_{t=1}^n CW_t W_t + \sum_{t=1}^n CH_t H_t + \sum_{t=1}^n CL_t L_t + \sum_{t=1}^n CO_t O_t + \sum_{t=1}^n CI_t I_t + \sum_{t=1}^n CS_t S_t + \sum_{t=1}^n CP_t P_t + \sum_{t=1}^n CC_t$$

(2.1.5.6)

s.a

$$W_t - W_{t-1} - H_t + L_t = 0$$

$$W_t + O_t - P_t \geq 0$$

$$I_{t-1} + P_t + C_t - D_t - S_{t-1} - I_t + S_t = 0$$

$$W_t - O_t \geq 0$$

$$W_t, H_t, L_t, P_t, I_t, S_t, C_t, O_t, \geq 0 \quad \forall t = \bar{1}$$

2.1.6 Métodos para el diseño de distribución de planta

De los muchos procedimientos que se han creado para el diseño de disposiciones existen dos categorías principales: para construcción y para mejoramiento (Tompkins, 2006). La primera consiste en la creación desde cero y la segunda se refiere al trabajo sobre una disposición existente. “Los algoritmos de disposición se clasifican de acuerdo con el objetivo de sus funciones objetivo, pueden ser la minimización de los flujos por las distancias, el otro pretende maximizar una calificación de adyacencia” (Tompkins, 2006). El primer tipo es más conveniente cuando los datos originales se expresan en una tabla desde-hacia, y el segundo funciona mejor con una tabla de relaciones (Tompkins, 2006).

De acuerdo a Tompkins, el primer objetivo, basado en distancias, se puede modelar de la siguiente manera:

Sea m el número de departamentos, f_{ij} denota el flujo del departamento i al departamento j , expresado en cargas unitarias desplazadas por la unidad de tiempo, y c_{ij} representa el costo de mover una carga unitaria una unidad de distancia del departamento i al j . El objetivo es minimizar el costo por tiempo unitario por movimientos entre departamentos. Expresado matemáticamente, el objetivo se escribe así

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (2.1.5.7)$$

Donde d_{ij} es la distancia del departamento i al j (Tompkins, 2006).

Ahora se analizará el objetivo de maximizar la calificación de adyacencia, el autor define ésta como la suma de todos los valores de flujo entre los departamentos adyacentes en la disposición. Al suponer que $x_{ij} = 1$ si los departamentos i y j son adyacentes en la disposición, y 0 en caso contrario. De modo que

$$\max z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij} \quad (2.1.5.8)$$

A menudo se busca evaluar la eficiencia relativa de una disposición específica en relación con cierto límite inferior o superior. Para esto, el planificador puede usar la siguiente calificación de adyacencia “normalizada”

$$\max z = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}} \quad (2.1.5.10)$$

Método del intercambio pareado

Tompkins detalla el método del intercambio pareado, utilizado para la modificación de una estructura existente. Este método es un algoritmo de disposición que considera los departamentos existentes y flujos de materiales entre los departamentos. Se puede utilizar una función de maximización de adyacencia o de minimización de flujo dependiendo de los objetivos del diseño.

Procedimiento:

1. El primer paso consiste en calcular el valor de la función objetivo, costo total o adyacencia dependiendo de la fórmula utilizada.
2. Para cada iteración se evalúan todos los intercambios factibles en las ubicaciones de los pares de departamentos y se selecciona el par que provoca la reducción más grande en el costo o mayor aumento en la calificación de adyacencia.
3. Repetir el paso 2 hasta que el valor de la función objetivo deje de ir en el sentido deseado, para minimización de flujo esto significa tener un costo mayor y viceversa (Tompkins, 2006).

La desventaja de este procedimiento es que no garantiza la obtención de una solución óptima de la disposición porque el resultado final depende de la disposición inicial (Tompkins, 2006). Pero sí sirve para encontrar una optimización local, razón por la que es apropiado en la modificación de instalaciones existentes.

Método basado en gráficas

El método basado en gráficas es un algoritmo que considera las relaciones entre departamentos más importantes y las asigna primero a las más necesarias (Tompkins, 2006). Las debilidades de este método son: utiliza la adyacencia sin considerar distancias, tampoco toma en cuenta las dimensiones de los departamentos, ni la longitud de las orillas entre departamentos adyacentes; finalmente, la calificación es muy sensible a la asignación de ponderaciones numéricas de la tabla de relaciones. Sin embargo, la mayor ventaja de este método es la sencillez de aplicación (Tompkins, 2006).

El procedimiento de acuerdo al autor es el siguiente:

1. De la tabla de relaciones se elige el par de departamentos con la ponderación más grande. Los empates son resueltos arbitrariamente.
2. A continuación se escoge el tercer departamento que va a entrar en la gráfica. Se determina con base en la suma de las ponderaciones con respecto a los departamentos escogidos en el paso anterior.
3. Se establece el cuarto departamento al evaluar el valor de agregar uno de los departamentos no asignados representado por un nodo en una cara de la gráfica. Una cara de la gráfica es una región acotada o delimitada de la gráfica. La región exterior se denomina cara externa.
4. La tarea restante es determinar en cuál cara insertar el quinto departamento. La elección se hace calculando la cara que tenga la sumatoria del mayor flujo.
5. Continuar el paso 3 y 4 hasta agotar los departamentos.

6. Una vez determinada una gráfica de adyacencias, el paso final es preparar la correspondiente disposición en bloques. En modo en que se desarrollarla es alterando los departamento de tal manera de que calce uno en vez de un nodo.

CRAFT

El nombre de este método se debe a las siglas en inglés de Técnica Computarizada de Asignación Relativa de Plantas. Se utiliza una tabla desde-hacia como dato original para el flujo. Es un algoritmo para mejoramiento de una disposición, pero también se utiliza para crear una alternativa al producto de otro algoritmo. CRAFT determina primero los centroides de los departamentos en la disposición inicial. Luego, calcula la distancia rectilínea entre los centroides de pares de departamentos y guarda los valores en una matriz de distancias. El costo de la disposición inicial se determina al multiplicar cada concepto en la tabal desde-hacia por los conceptos correspondientes de la matriz de costos unitarios (Tompkins, 2006).

Después CRAFT considera todos los intercambios de departamentos en dos sentidos o en tres sentidos e identifica el mejor intercambio. El que produce la reducción más grande en el costo de la disposición. Una vez identificado el mejor intercambio, se actualiza la disposición de acuerdo con el mejor intercambio y calcula los nuevos centroides de los departamentos. Junto con el nuevo costo de la disposición para completar la primera iteración. La siguiente iteración comienza cuando CRAFT vuelve a identificar el mejor intercambio al considerar todos los intercambios posibles de dos o de tres sentidos en la disposición. El proceso continúa hasta que ya no se puede obtener una reducción en el costo de la disposición (Tompkins, 2006).

La desventaja de CRAFT es que no cambia cualquier par de departamentos, sino que únicamente cambia los adyacentes o los que tienen el mismo tamaño. Además solo encuentra el óptimo local y no necesariamente la mejor alternativa

posible. Para mejorar el resultado es necesario que se prueben diferentes soluciones iniciales. La ventaja es la flexibilidad de CRAFT con las formas de departamentos, prácticamente cualquier forma es aceptada siempre que no esté dividida (Tompkins, 2006).

BLOCPLAN

Método que utiliza una tabla de relaciones y una tabla desde-hacia. El costo de una disposición se mide con base en el objetivo basado en las distancias o la adyacencia. El programa determina la cantidad de bandas, la cual está limitada a dos o tres. Las anchuras de las bandas sí pueden variar, cada departamento ocupa exactamente una banda y todos los departamentos son rectangulares (Tompkins, 2006).

BLOCPLAN asigna primero cada departamento a una de las dos o tres bandas. Como cada departamento se asigna a una banda en particular, BLOCPLAN calcula la anchura de la banda correspondiente al dividir el área total de los departamentos en esa área entre la longitud del edificio. La disposición completa se forma al calcular la anchura correspondiente para cada banda (Tompkins, 2006).

Capítulo 3 Diseño del Sistema de Producción

3.1 Definir el producto

El producto que se desea producir es la patente número SP-08-8429 “Edificación Prefabricada Multifuncional de Estructura Colapsable y Transportable” (IEPI, 2008). En la patente se lo define como: “una estructura prefabricada que, al integrar un elemento fijo con un sistema articulable, un sistema corredizo, un sistema de instalaciones, un sistema anti vibración, un sistema de nivelación de piso corredizo y un doble sistema optimizado de transportación, configura una unidad indivisible de construcción prefabricada, aunque plegable, característica

que permite su montaje y desmontaje sin separar las piezas que la componen, intervención de personal calificado de construcción, ni uso de herramientas, así como su traslado sin necesidad de equipo ni personal calificado de transporte.”

Esta estructura prefabricada puede ser aplicada por la industria de la construcción para ofrecer soluciones parciales o integrales, en ámbitos tan diversos como: vivienda completa, o partes de ellas como cocinas, comedores, dormitorios, salones, oficinas, establecimientos de comercio, puntos de venta almacenes bodegas, centros de educación, bibliotecas, aulas, clínicas, dispensarios médicos, laboratorios, casas de campo, campamentos, letrinas, y varios otros tipos de edificaciones (IEPI, 2008).

3.1.1 Cadena de Valor

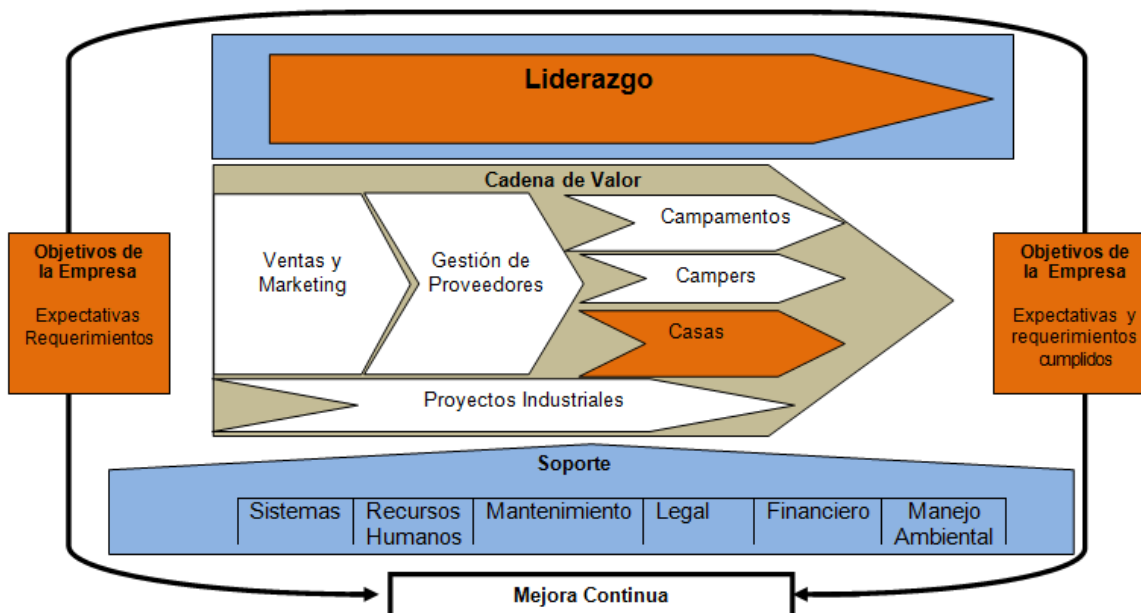
Como se explicó en el punto 2.1.3 y con la finalidad de entender el sistema para generar valía de la empresa, la cadena de valor se presenta en la Figura 5. Las instalaciones de una compañía deben estar alineadas con su estrategia competitiva, ya que deben apoyar y facilitar las razones por las cuales los clientes eligen a la compañía. El producto tiene que ser producido en base a lo que el cliente valora, en este caso es la versatilidad de transporte e instalación. Por lo tanto todas las siguientes etapas de diseño estarán fundamentadas en la Cadena de Valor.

La demanda proviene principalmente de contratos estatales. Por lo tanto la necesidad de mantener inventarios entre proyectos es reducida, particularmente no se almacena producto terminado. Durante el cumplimiento de un contrato existe la necesidad de mantener materia prima y productos en proceso. Debido a motivos estructurales y a las partes móviles como: paredes, techo y piso retráctiles, todas las conexiones eléctricas y sanitarias deben estar en la zona fija. Por esta razón únicamente se ofrece un tipo de producto. La cocina y el baño deben localizarse en la parte central de la casa debido a que las conexiones sanitarias principales deben estar en esta zona.

De una conversación directa con el arquitecto Del Hierro, realizada en febrero de 2009, se conoció que la demanda será de 360 casas al año durante los primeros dos años para satisfacer un contrato que al momento se encuentra en etapas finales de negociación. Este convenio es el que justifica económicamente la creación de la fábrica en discusión, pero además garantiza una mínima variabilidad en la demanda en su duración. No se descarta la posibilidad de un incremento leve, menor al 5%, por un aumento en las necesidades del cliente. La estrategia competitiva de la empresa es brindar una solución habitacional de alta movilidad a empresas petroleras y el estado. Por lo que solo en última instancia se consideraría producir para el público en general. La planta diseñada no tiene el objetivo de satisfacer esta función porque la estrategia corporativa de la empresa no está alineada de esa manera.

El producto a ser ofrecido no tiene variaciones estructurales ni de disposición interior, es decir se ofrecerá únicamente un tipo de casa. En el interior si se aceptarán modificaciones menores en acabados. Estructuralmente es imposible hacer modificaciones ya que las piezas móviles, no funcionarían y sería necesario utilizar una serie diferente de piezas, anclajes, etc. Por lo tanto disposición inicial es la única que puede ser producida. Resumiendo, la demanda determinada consiste en un alto volumen (360 casas por año) y una reducida variabilidad (cercana al 5%) de un único producto.

Figura 5. CADENA DE VALOR

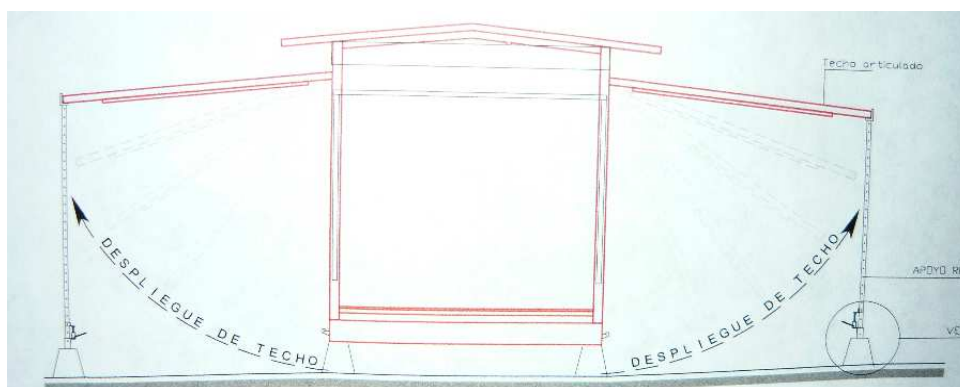


Fuente: documento de la empresa. Elaboración propia.

3.1.2 Planos de Ensamble

A continuación, en la Figura 6 se presentan los Planos de Ensamblaje macro de toda la casa. Se incluyen los ensambles que aparecen en la Tabla 1. Para obtener esta información se realizó un cuidadoso análisis de planos del producto y revisiones físicas en el taller de la empresa. El plano de ensamble se obtuvo de los documentos de la compañía, es una guía muy útil para la fabricación ya que muestra la disposición de las partes, piezas, ensambles que deben ser acoplados para armar la casa.

Figura 6. pLANOS DE ENSAMBLE I



Fuente: documento de la empresa.

TABLA 1jError! No se encuentra el origen de la referencia.. Listado de Ensamblajes por cada casa prefabricada

Codigo	Detalle Macro	Cantidad
E1.	Pisos Deslizantes	4
E2.	Pisos Empotrados	1
E3.	Techos fijos	1
E4.	Techos articulados	2
E5.	Paredes empotradas	2
E6.	Paredas que Descienden del techo	2
E7.	Paredes que giran de la estructura	4
E8.	Ventanas	6
E9.	Puertas Exteriores	2
E10.	Puertas Interiores	4
E11.	Articulación Techo-Pared	10
E12.	Articulación Exéntrica	6
E13.	Articulación Concéntrica	4
E14.	Articulación Pared Lateral	8
E15.	Bandeja Porta Pisos Esquinas	2
E16.	Bandeja Porta Pisos Mitad	1
E17.	Soporte de Nivelación de Pisos	16
E18.	Esqueleto Principal	1
E19.	Techo Articulado de Policarbonato	2

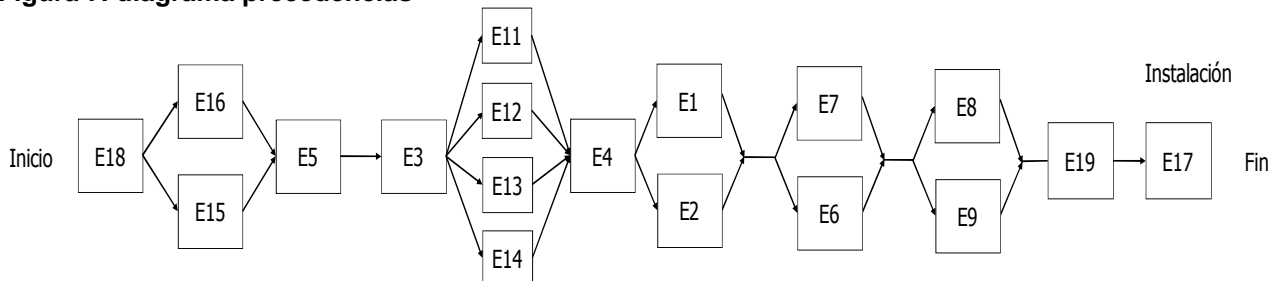
Fuente: elaboración propia

3.1.3 Diagrama de Precedencias

La Figura 7 presenta las partes requeridas y el orden de ensamblaje necesario para obtener el producto final. Esta figura es importante porque permite visualizar el orden o secuencia de armado, en etapas futuras del diseño será necesario asegurarse que los departamentos estén dispuestos en un orden que facilite el flujo de materiales y tenga correspondencia con este diagrama (Kirkpatrick, 1986). Es decir, lo más lógico es que los primeros ensamblajes se realicen cerca de la bodega de materias prima; mientras que los pasos finales sean realizados próximos a la zona de despacho (Kirkpatrick, 1986). Por lo tanto, es beneficioso observar y entender desde un principio la secuencia de ensamblajes que se necesita para crear el producto final. Los códigos utilizados hacen referencia a la

Tabla 1. Por ejemplo para generar una Pared Empotrada (E5) es necesario una Bandeja Porta Pisos Mitad (E15) y un Soporte de Nivelación de Pisos (E16).

Figura 7. diagrama precedencias



Fuente: Elaboración propia

3.2 Definir Procesos Requeridos

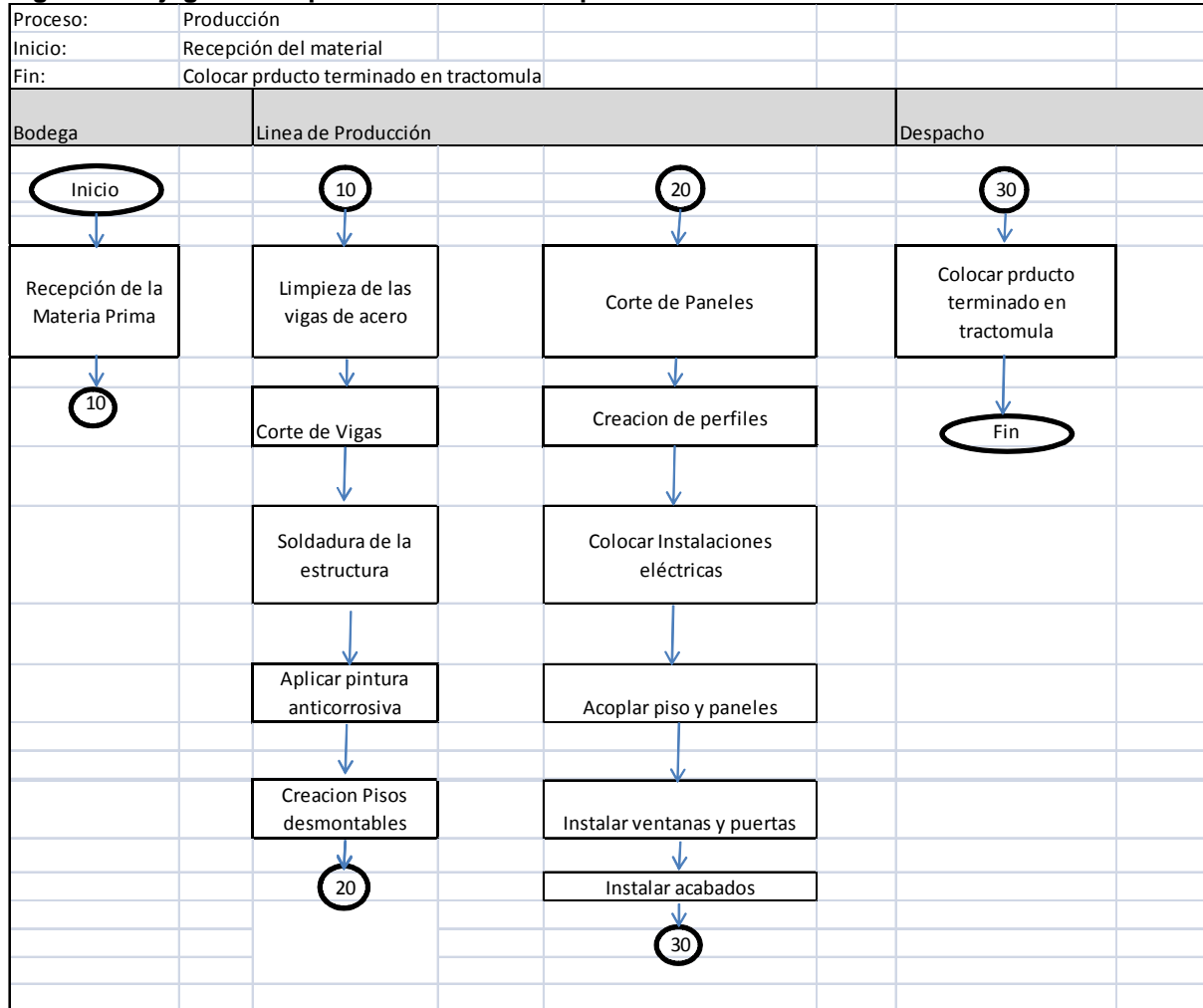
Para diseñar una planta correctamente es fundamental entender el proceso productivo que se llevará a cabo: posibles problemas, fallas frecuentes, procedimientos clave para la calidad, actividades esenciales deben estar claramente precisados y entendidos. El debido análisis de cada una permitirá realizar un diseño para la fabricación del producto previamente definido (Hans, 1962).

Una gran ayuda para comprender el proceso productivo son las representaciones visuales, que dan un rápido entendimiento del funcionamiento de los procesos (STONE et. al., 2002) Se diagramarán los procesos de Producción de Casas presentados en la Figura 5. CADENA DE VALOR, por ser los más afectados por el diseño de la planta e importantes para la creación del producto.

En la Figura 8 se puede observar un Flujoograma, una graficación de la secuencia de actividades que se aplica a los materiales desde que son materia prima hasta que se convierten en producto terminado. Se muestran las operaciones que se realizan para crear el producto, lo que permite clasificarlas según su grado de indispensabilidad (Sule, , 2001). En el flujoograma existe una representación de todos los procesos necesarios para crear el producto terminado. En la columna de la Línea de Producción se evidencia la necesidad de la limpieza, corte, soldadura y pintura de las vigas de acero para crear la

estructura de la casa. Por lo tanto el diagrama de precedencias y el flujograma van de la mano, el primero mostrando las piezas que se deben unir y el segundo manifestando la manera de hacerlo.

Figura 8. Flujograma de producción de casas prefabricadas



Fuente: documentos de la compañía. Elaboración propia.

3.3 Determinar sistema de producción a ser utilizado

En el punto 3.1.1 se analizó la demanda y su variabilidad. Se concluyó que existía una demanda alta, poco fluctuante, de un producto con variabilidad baja. De acuerdo a la Guía de procedimientos para combinar estaciones de trabajo en departamentos de planificación la disposición más apropiada cuando el producto es estandarizado y tiene una demanda estable es una línea de producción (Tompkins, 2006).

Estudio de Tiempos y Movimientos

Se realizó un estudio de tiempos y movimientos con el objetivo de conocer con exactitud la carga de cada una de las estaciones. Se tomaron en cuenta opiniones de trabajadores de la empresa, registros y observaciones in situ. Solo se consideraron las actividades repetitivas y no las que se realizan una sola vez cada día. El tiempo total para cada proceso, así como la secuencia de actividades y su respectiva duración se puede observar en las tablas 10.1 a la 10.10. De esta manera se determinó la capacidad de cada proceso.

Para el proceso limpieza de vigas, en el que se produce por lotes, se calculó el tiempo del lote completo. Por lo tanto, los 61 minutos corresponden a la limpieza de 20 vigas.

TABLA 1.1 Estudio de Tiempos para el proceso Transporte de Paneles

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Viajar desde posición de inicio hasta zona de descarga			x			2.5
2	Cuadrar montacargar con pallet		x				0.5
3	Alzar pallet			x			0.2
4	Retroceder montacargas			x			0.5
5	Transportar pallet hasta bodega			x			3.5
6	Alzar pallet hasta altura deseada			x			0.5
7	Cuadrar pallet en rack		x				0.3
8	Bajar pallet			x			0.2
9	Retroceder montacargas			x			0.5
10	Regresar a posición de inicio			x			1.5
						Tiempo Total	10.2

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.2 Estudio de Tiempos para el proceso Limpieza de Vigas

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Acomodar Vigas en soporte			x			4.5
2	Limpiar polvo y materiales sólidos con brocha seca	x					4
3	Untar vigas con gasolina	x					5
4	Remover gasolina con trapo					x	10
5	Esparcir pintura anticorrosiva 1 capa	x					6.5
6	Esperar que estén totalmente secas					x	10
7	Esparcir pintura anticorrosiva 2 capa	x					6.5
8	Esperar que estén totalmente secas					x	10
9	Remover vigas del soporte de madera			x			4.5
						Tiempo Total	61

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.3 Estudio de Tiempos para el proceso Corte de Vigas

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Apoyar Viga en soporte			x			1.5
2	Revisar medidas en plano de vigas		x				2
3	Medir distancias deseadas en viga	x					2.5
4	Acomodar soporte de corte				x		1
5	Realizar corte con Tronzador	x					0.5
6	Remover viga cortada			x			1
7	Desechar desperdicio				x		0.5
						Tiempo total	9

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.4 Estudio de Tiempos para el proceso Soldadura Estructura

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(sec)
1	Acomodar pieza 1 en soporte			x			15
2	Acomodar pieza 2 en soporte			x			15
3	Sujetar vigas con abrazadera de perno	x					26
4	Verificar con nivel ángulo de las vigas		x				12
5	Encender soldadora	x					8
6	Acomodar electrodo en pinza porta-electrodos	x					12
7	Conectar pinza de maza a la viga a soldarse	x					17
8	Puntear en tres secciones	x					56
9	Verificar con nivel ángulo de soldadura		x				12
10	Realizar cordón de suelda	x					43
						Tiempo total	216

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.5 Estudio de Tiempos para el proceso Pintura de Estructura

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(sec)
1	Encender Compresor	x					4
2	conectar pistola	x					12
3	Colocar vigas sobre soporte			x			20
4	Esperar a que la presión del compresor supere los 2 bares					x	28
5	Realizar prueba de pintura sobre superficie de prueba		x				8
6	Pintar primera capa en vigas	x					25
7	Esperar secado parcial					x	20
8	Pintar segunda capa	x					26
9	Esperar secado completo					x	60
10	Remover vigas de soporte			x			8
						Tiempo Total	211

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.6 Estudio de Tiempos para el proceso Creación de Pisos

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Acomodar Marco sobre soporte			x			2
2	Poner lamina de aluminio sobre marco	x					1
3	Remachar lámina a viga transversal	x					15
4	Cubrir remaches con sellante	x					20
5	Colocar paneles de piso 1	x					29
6	Remachar paneles de piso 1	x					35
7	Colocar paneles de piso 2	x					29
8	Remachar paneles de piso 2	x					35
9	Poner recubrimiento del piso	x					46
10	Impermeabilizar utilizando sellante	x					27
11	Remover marco de soporte			x			2
Tiempo Total							241

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.7 Estudio de Tiempos para el proceso Corte de Paneles

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Apoyar Panel en soporte			x			0.5
2	Revisar medidas en plano de ensamble		x				1
3	Medir distancias deseadas en soporte	x					0.5
4	Acomodar soporte de corte			x			1
5	Realizar corte con Tronzador	x					0.5
6	Remover panel cortado			x			0.5
7	Desechar desperdicio				x		0.5
Tiempo Total							4.5

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.8 Estudio de Tiempos para el proceso Creación de Perfiles

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(sec)
1	Desenrollar bobina metálica	x					0.5
2	Revisar plano de ensamble		x				0.3
3	Cortar de acuerdo a dimensiones del plano	x					0.2
4	Transportar tol cortado hasta dobladora			x			0.5
5	Colocar tol en dobladora			x			0.2
6	Revisar plano de ensamble		x				0.5
7	Realizar cortes guía en tol	x					1
8	Realizar doblez 1	x					0.5
9	Realizar doblez 2	x					0.5
10	Realizar doblez 3	x					0.5
11	Colocar perfil en casillero de perfiles			x			0.3
Tiempo total							5

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.9 Estudio de Tiempos para el proceso Instalación de Mampostería

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(sec)
1	Revisar plano	x					20
2	Ubicar perfil 1	x					6
3	Remachar		x				12
4	Ubicar perfil 1		x				6
5	Remachar	x					12
6	Ubicar perfil 1	x					6
7	Remachar	x					12
8	Ubicar perfil 1			x			6
9	Remachar	x					12
10	Ubicar perfil 1			x			6
11	Remachar	x					12
12	Colocar Panel 1 sobre perfil 1			x			15
13	Colocar Panel 2 sobre perfil 2	x					14
14	Colocar Panel 3 sobre perfil 3			x			17
15	Medir distancia sobrante	x					18
16	Enviar distancia a corte de paneles		x				9
17	Retirar panel cortado					x	15
18	Colocar panel 4						14
						Tiempo total	212

Fuente: elaboración propia.

TABLA 1.10 Estudio de Tiempos para el proceso Creación de Ventanas

#	Actividad	○	□	⇒	▽	D	Tiempo(min)
1	Revisar dimensiones en plano de ensamble		x				0.5
2	Colocar PVC en soporte de corte			x			2.5
3	Cortar PVC	x					1
3	Taladrar desagues	x					4
4	Taladrar y colocar cremonas	x					3.5
5	Cortar refuerzos	x					3
6	Introducir refuerzos en perfiles	x					2
7	Atornillar perfiles a refuerzos	x					4
8	Lijar bordes	x					6.5
9	Ensamblar marco	x					3
10	remachar Marco	x					3.5
11	Atornillar herrajes	x					2
12	Instalar vidrio	x					8
13	Colocar cajon de persiana sobre vidrio	x					3
14	Atornillar cajón de persiana	x					5.5
15	Impermeabilizar con sellante	x					6.5
16	Remover ventana del lugar de trabajo			x			0.5
						Tiempo Total	59

Fuente: elaboración propia.

3.4 Selección de maquinaria y mano de obra

Una vez identificado el proceso, el producto que se desea producir y la variabilidad de ambos se identifican los requerimientos de personal, espacio e interrelaciones que permitirán a la fábrica funcionar y cumplir las cuotas de producción establecidas. Esto permitirá realizar la planificación departamental,

determinar un set de disposiciones alternas y escoger la que más convenga a la compañía debido a su estrategia de negocios.

3.4.1 Análisis hacer-comprar

El análisis hacer-comprar consiste en determinar las piezas que la empresa decidirá hacer por su cuenta y aquellas que adquirirá de un proveedor externo (Tompkins, 2006). Mientras mayor sea el valor agregado mayores serán las ganancias para la empresa, por lo tanto conviene hacer la mayor cantidad de componentes y comprar materias prima poco elaboradas. Lamentablemente esto no siempre es factible ya que ciertos productos requieren conocimiento, tecnología o maquinaria que únicamente se puede amortizar con un volumen de producción elevado. El análisis consiste en determinar si el número de partes que se utilizan está por encima de un punto en el que conviene producirlas, sino es preferible comprarlas (Tompkins, 2006). Se analizaron los productos y piezas de factibilidad razonable. En teoría se puede fabricar cualquier pieza, pero en la práctica fundir acero o hacer paneles no es posible debido a la gran inversión requerida. Para justificar este tipo de desembolso sería necesario un volumen muchísimo mayor al real. Por lo tanto se dejó fuera del análisis los artículos que arbitrariamente el autor consideró insensatos.

Cuando no existen proveedores de un determinado producto, la fábrica está obligada a producirlo (Tompkins, 2006). Por otro lado, todos los componentes como pernos, vigas de acero, arandelas, clavos, remaches, panel, etc. no fueron considerados para el análisis ya que existe una industria específica dedicada a éstos. Este es el caso de los pisos deslizantes, pisos empotrados y perfiles sujetadores.

Para la mano de obra básica se utiliza el Sueldo Básico Unificado más las obligaciones de ley: décimo cuarto, décimo tercero, vacaciones, fondos de reserva y seguro social (Cabezas, 2008). Para la mano de obra especializada se utiliza \$550, sueldo de un soldador experimentado, considerando los mismos factores presupuestarios. Se utilizó este dato ya que los soldadores son los únicos trabajadores especializados utilizados. Además, se consideraron semanas

de 40 horas. Para la maquinaria se considera un período de amortización lineal de 5 años. Se usó ésta, a pesar de no ser la utilizada en los sistemas contables, para que sea justo con el cálculo de las piezas. Si se amortizara un porcentaje mayor del costo de la maquinaria en el primer año, esto no sería razonable para las piezas producidas en este período; ya que estarían pagando más por la máquina que las piezas de otros años. Por lo tanto lo más adecuado es considerar que cada pieza contribuye en igual medida al pago de la maquinaria.

Todos los productos similares fueron agrupados ya que amortizarán la misma maquinaria. Por ejemplo las placas planas, de refuerzo, de base de rodamiento, soporte nivelador y cartelas se consideran "Placas" ya que básicamente son realizadas mediante el mismo proceso, máquina y tiempo de operación. Este análisis se presenta en la Tabla 2. El resultado es que conviene comprar todos los componentes en estudio. En la Tabla se puede ver que el costo unitario de producir es mayor que el costo unitario de comprar y por lo tanto no conviene producir los componentes en cuestión.

TABLA 2. Análisis Hacer Comprar

# unidades	Mano de obra Básica (horas/pieza)	Mano de obra especializada (horas/pieza)	Materiales	Costo de Maquinaria Adicional	Costo Unitario de producir (\$)	Costo Unitario de compra (\$)
3000	0.1	0.2	4	15000	4.84	4
4000	0.1	0.2	4	15000	4.82	4
5000	0.1	0.2	4	15000	4.80	4
6000	0.1	0.2	4	15000	4.79	4
7000	0.1	0.2	4	15000	4.79	4

# unidades	Mano de obra Básica (horas/pieza)	Mano de obra especializada (horas/pieza)	Materiales	Costo de Maquinaria Adicional	Costo Unitario de producir	Costo Unitario de compra
25	0.2	0.3	6	32000	7.94	7
26	0.2	0.3	6	32000	7.91	7
27	0.2	0.3	6	32000	7.88	7
28	0.2	0.3	6	32000	7.86	7
29	0.2	0.3	6	32000	7.84	7
30	0.2	0.3	6	32000	7.82	7
31	0.2	0.3	6	32000	7.80	7
32	0.2	0.3	6	32000	7.78	7

# unidades	Mano de obra Básica (horas/pieza)	Mano de obra especializada (horas/pieza)	Materiales	Costo de Maquinaria Adicional	Costo Unitario de producir	Costo Unitario de compra
130	1	0.5	45	8000	48.35	45
140	1	0.5	45	8000	48.35	45
150	1	0.5	45	8000	48.34	42
160	1	0.5	45	8000	48.34	42
170	1	0.5	45	8000	48.34	42
180	1	0.5	45	8000	48.34	42
190	1	0.5	45	8000	48.34	42
200	1	0.5	45	8000	48.34	40

# unidades	Mano de obra Básica (horas/pieza)	Mano de obra especializada (horas/pieza)	Materiales	Costo de Maquinaria Adicional	Costo Unitario de producir	Costo Unitario de compra
1	2	0.5	52	8000	61.67	55
10	2	0.5	52	8000	57.67	55
50	2	0.5	52	8000	57.31	55
100	2	0.5	52	8000	57.27	55
500	2	0.5	52	8000	57.23	50
1000	2	0.5	52	8000	57.23	45
5000	2	0.5	52	8000	57.22	45
10000	2	0.5	52	8000	57.22	40

Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Fracción de equipo necesaria

Como se explicó en el punto 2.1.4, la ecuación conocida como fracción de equipo se utiliza para determinar la cantidad de maquinaria necesaria dados una serie de

requerimientos. Esta ecuación fue aplicada a las piezas que se determinó deberían ser producidas en el punto precedente, donde también se calculó la cantidad necesaria. Se asumió una confiabilidad del 95% ya que este es el mejor estimador que se dispone en la empresa de acuerdo a G. Del Hierro (15 de abril de 2009). El tiempo disponible es de 480 minutos u 8 horas diarias. El tiempo requerido para cada pieza se obtuvo de observaciones físicas, considerando que no existían interrupciones ni paros. Finalmente el desempeño real se calculó como un porcentaje del tiempo estándar tomando en cuenta preparaciones, demoras, etc.

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{14 * 45}{.95 * 480 * .93} = 1.49 \approx 2$$

Tronzadora de Acero

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{1 * 4600}{.95 * 480 * .96} = 10.51 \approx 11$$

Montacargas

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{10 * 165}{.95 * 480 * .97} = 3.73 \approx 4$$

Soldadora

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{6 * 60}{.95 * 480 * .9} = .88 \approx 1$$

Tronzadora de Panel

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{2 * 200}{.95 * 480 * .9} = .97 \approx 1$$

Dobladora de Tol

$$F = \frac{SQ}{EHR} = \frac{4 * 200}{.95 * 480 * .9} = 1.95 \approx 2$$

Compresor de aire

Con lo que se han definido el requerimiento de maquinaria para cumplir con la cuota de producción indicada.

3.4.3 Análisis de equipos y herramientas

En la TABLA se muestran las herramientas y equipos necesarios en cada uno de los procesos definidos en el punto 3.2.

TABLA 3. Herramientas Y Equipos

	Proceso	Equipos	Herramientas
1	Transporte de Material	MONTACARGAS	
2	Limpieza de Vigas		SOPORTE MANUAL DE CARGA
3	Corte de Vigas	TRONZADOR	
4	Soldadura de la Estructura	SOLDADORA	
5	Pintura de Estructura	COMPRESOR INDUSTRIAL	SOPLETE
6	Creacion de pisos		REMACHADORA
			MARTILLO
			AMOLADORA
7	Corte de Paneles	TRONZADOR Dewalt D28700	
8	Creación de Perfiles		TIJERA DE METAL
			DOBLADORA DE TUBOS
9	Instalación de Mampostería		REMACHADORA
			DESTORNILLADOR
			AMOLADORA PORTÁTIL
10	Creación de Ventanas y Puertas		AMOLADORA
			REMACHADORA
			MARTILLO
			DESTORNILLADOR

Fuente: Documentos de la Compañía. Elaboración propia

3.4.4 Diagrama de asignación de maquinaria

Ya que se conoce la maquinaria que será necesaria, la capacidad de cada proceso y su demanda se puede obtener el número de operadores necesarios para las mismas, esto se calculó en horas-hombre necesarias para cumplir la cuota departamental para alcanzar la producción de una casa diaria. La asignación de maquinaria consiste en balancear los requerimientos de personal para utilizar la menor cantidad de mano de obra posible y mantenerla constante (Tompkins, 2006). Utilizando las capacidades y requerimientos de cada proceso se determinó el número de horas-hombre diarias que se deben asignar a cada proceso.

La mejor manera de encontrar una solución a este problema de minimización es mediante programación lineal. Para cumplir con las suposiciones necesarias para que exista un problema de asignación, expresadas en el punto 2.1.5, se consideraron cuatro tipos de trabajadores: ayudantes, instaladores, puertas-ventanas y soldadores, cada uno con un sueldo y capacidades diferentes.

Los sueldos fueron calculados de acuerdo a la Tabla 4.1 considerando todas las obligaciones de ley: cuarto, décimo tercero, vacaciones, fondos de reserva y seguro social (Cabezas, 2008). En la Tabla 4.2 se muestra los sueldos y aptitudes de cada trabajador. Por ejemplo los ayudantes ganan el sueldo mínimo pero no pueden: soldar, pintar, crear pisos, instalar mampostería, puertas ni ventanas. Mientras que los instaladores ganan un 15% más y sí pueden instalar pisos o mampostería. Finalmente los soldadores ganan el mayor sueldo y pueden hacer cualquier tarea. A continuación se define el modelo, parecido al planteado en la ecuación 2.1.5.5 Problema de la Mezcla. Para las vacaciones de los empleados se puede realizar una nueva programación considerando un número menor de empleados pero utilizando horas extra o subcontratando personal.

TABLA 4.1 calculo de sueldo mensual y por horas para cada tipo de trabajador

	Ayudante	Instalador	Carpintero	Soldador
Sueldo Básico	240.00	280.00	350.00	550.00
Décimo Cuarto	20.00	20.00	20.00	20.00
Décimo Tercero	20.00	23.33	29.17	45.83
Vacaciones	10.00	11.67	14.58	22.92
Fondo de Reserva	20.00	23.33	29.17	45.83
Seguro Social	29.16	34.02	42.53	66.83
Costos por mes	339.16	392.35	485.44	751.41
Costos por hora	2.12	2.45	3.03	4.70

Fuente: elaboración propia

TABLA 1.2 aptitudes de cada tipo de trabajadores

Puede trabajar en: Trabajador	Transporte Material	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación Puerta y Ventanas
Ayudante	Si	Si	Si	No	No	No	Si	Si	No	No
Instalador	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No
Carpinteros	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si
Soldadores	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: elaboración propia

Sea X_{ij} el número de horas por día asignadas al trabajador tipo i a la tarea

j .

$$i = \begin{cases} 1 \text{ ayudantes} \\ 2 \text{ instaladores} \\ 3 \text{ carpinteros} \\ 4 \text{ soldadores.} \end{cases}$$

$$j = \begin{cases} 1 \text{ Recepción} \\ 2 \text{ Limpieza de Vigas} \\ 3 \text{ Corte de Vigas} \\ 4 \text{ Soldadura de Estructura} \\ 5 \text{ Pintura de Estructura} \\ 6 \text{ Creación de Pisos} \\ 7 \text{ corte de Paneles} \\ 8 \text{ Creación de Perfiles} \\ 9 \text{ Instalación de Mampostería} \\ 10 \text{ Instalación de Puertas y Ventanas} \end{cases}$$

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_i x_{ij}$$

Sujeta a

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq R_i \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq D_j \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

Donde

c_i = sueldo de trabajador tipo i

R_i = horas hombre disponibles del trabajador tipo i

D_j = horas hombre necesarias para el proceso j .

La función objetivo es la minimización del costo total por contratación de la mano de obra, la multiplicación del número de horas hombre utilizadas por su costo. La

primera restricción se refiere a que la cantidad de trabajadores utilizados por cada tipo debe ser menor a la cantidad de trabajadores disponibles. La segunda restricción señala que el número de horas hombre asignadas a cada proceso deben ser iguales o mayores a las demandadas para cumplir la cuota de producción, de la misma manera que aparece en el modelo 2.1.5.5. Esta demanda se obtuvo de la TABLA .

En la Tabla 5 se muestra el planteamiento en una hoja de cálculo. Obsérvese los costos unitarios de asignar un trabajador tipo i a una tarea j durante una hora, las restricciones de capacidad para los trabajadores de cada tipo y los requisitos de mano de obra para cada puesto de trabajo. Se ha asignado un valor muy elevado para toda asignación no factible. Por ejemplo un ayudante no puede soldar, por lo tanto este costo ficticio evita que el modelo asigne un trabajador a una tarea que no está capacitado para realizar (Lieberman & Hillier, 2002).

El modelo se corrió en la aplicación Solver® de Excel, software propiedad de Microsoft. Los resultados se muestran en la

TABLA 3. Por ejemplo, en la primera fila primera columna se lee 3, esto corresponde a asignar 3 horas de *Ayudantes* a la tarea *Transporte Panel*, el cuerpo de la tabla representa las X_{ij} , número de horas del tipo de trabajador i asignado a la tarea j . De esta manera se puede conocer con exactitud la cantidad de horas hombre asignadas a cada trabajador y la cantidad de éstos que se debe contratar para alcanzar el mínimo costo. Esto es: cuatro ayudantes, siete instaladores, cuatro carpinteros y cuatro soldadores. El costo total de funcionamiento es de 440.88 dólares diarios.

TABLA 2. problema de asignación planteado

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación Puerta y Ventanas				Recursos
Ayudante	2.12	2.12	2.12	1000	1000	1000	2.12	2.12	1000	1000			<=	40
Instalador	2.45	2.45	2.45	1000	1000	2.45	2.45	2.45	2.45	1000			<=	56
Carpinteros	3.03	3.03	3.03	1000	3.03	3.03	3.03	3.03	1000	3.03			<=	40
Soldadores	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70			<=	40
	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=				
Demanda	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16				

Fuente: elaboración propia

TABLA 3.resolución del problema de Asignación de personal

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación de Ventanas				Recursos
Ayudante	3	1	12	0	0	0	7	8	0	0	31	<=	32	
Instalador	0	0	0	0	0	8	0	0	48	0	56	<=	56	
Carpinteros	0	0	0	0	16	0	0	0	0	16	32	<=	32	
Soldadores	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	<=	32	
Total	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16				
	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=				
Demanda	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16	CT=		440.88	

Fuente: elaboración propia

El Análisis de Sensibilidad, mostrado en la TABLA 4, permite conocer “cuánto mejoraría el valor de la función objetivo si se relajara la restricción en una unidad. Esto da una idea de la cantidad que la empresa estaría dispuesta a pagar por cada unidad adicional del recurso asociado” (Lieberman & Hillier, 2002). A esto se le conoce como precios sombra. Por ejemplo, el mayor precio sombra es para Soldadura de Estructura, que equivale a 4.7. Lo que significa que por cada hora de soldadura que economice la compañía, sea por un diseño diferente o por una mejor máquina, se ahorran 4.7 dólares en el costo total de funcionamiento. Por otro lado, los precios sombra para los cuatro tipos de trabajadores son iguales a cero, esto significa que aumentar la disponibilidad de trabajadores no afecta el costo total. Esto se debe a que las restricciones activas son las de la demanda. Algo evidente, ya que se necesita cumplir con la cuota de producción y la demanda de cada departamento. El análisis completo se muestra en el Anexo 5.

El análisis de sensibilidad también se puede utilizar para conocer el efecto de un trabajador ausente en el costo total de funcionamiento. Para esto se debe utilizar los precios sombra, aumentos o disminuciones permisibles. Lamentablemente la TABLA 4 muestra que quitar un trabajador no es una reducción autorizada. Primero hay que recordar que la variable de decisión representa el número de horas por día asignadas a un trabajador a una tarea, por lo que un trabajador menos representa ocho horas. En la última columna de la TABLA 4 puede observar que ninguna de las cuatro restricciones de mano de obra tiene una Disminución Permisible de 8. Por este motivo se correrán cuatro modelos por separado para conocer con exactitud el efecto de tener un trabajador menos de cada tipo.

TABLA 4. analisis de sensibilidad

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Disminución permisible
\$N\$17	Ayudante	31	0	32	1E+30	1
\$N\$18	Instalador	56	0	56	1E+30	0
\$N\$19	Carpinteros	32	0	32	1E+30	0
\$N\$20	Soldadores	30	0	32	1E+30	2
\$D\$21	Total Transporte Panel	3	2.12	3	1	3
\$E\$21	Total Limpieza de Vigas	1	2.12	1	1	1
\$F\$21	Total Corte de Vigas	12	2.12	12	1	12
\$G\$21	Total Soldadura de la Estructura	30	4.7	30	2	30
\$H\$21	Total Pintura de Estructura	16	3.03	16	0	16
\$I\$21	Total Creacion de pisos	8	2.45	8	0	8
\$J\$21	Total Corte de Paneles	7	2.12	7	1	7
\$K\$21	Total Creación de Perfiles	8	2.12	8	1	8
\$L\$21	Total Instalación de Mampostería	48	2.45	48	0	48
\$M\$21	Total Fabricacion de Ventanas	16	3.03	16	0	16

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 7, se presenta la programación de horarios por trabajador. En la primera columna se detalla el tipo de trabajador: Ayudante, Instalador, Carpinteros o Soldadores; en la segunda columna se muestra el proceso al que se asigna cada tipo de trabajador; en las siguientes nueve columnas se muestra lo que cada operador debe realizar en cada momento del día. El número 1 corresponde a la asignación del trabajador a esa tarea. Las primeras tres filas corresponden a un mismo trabajador, de ahí en adelante cada fila corresponde a un trabajador. De esta manera, se puede observar lo que cada uno de los 19 trabajadores realiza a lo largo del día. En la última columna se muestra el total de horas trabajadas por actividad; se pueden comparar estos

valores con los requisitos de la tabla 4 para comprobar que se está cumpliendo el requerimiento de mano de obra para cada actividad. La Tabla 7 muestra además que el planeamiento genera una disponibilidad de tres horas hombre diarias. Este tiempo no necesariamente se va a desperdiciar ya que se puede asignar a los empleados tareas complementarias como: certificaciones, auditorías, programas de mejora, etc.

TABLA 7. programación de horarios

		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	ALMUERZO	14:00	15:00	16:00	Total horas trabajadas por actividad
Ayudantes	Transporte Panel	1	1	1							3
	Limpieza Vigas				1						1
	Corte de Vigas					1		1	1	1	12
		1	1	1	1	1		1	1	1	
	Corte de Paneles	1	1	1	1	1		1	1		7
Creación de Perfiles	1	1	1	1	1		1	1	1	8	
Instaladores	Creación de pisos	1	1	1	1	1		1	1	1	8
	Instalación de Mampostería	1	1	1	1	1		1	1	1	48
		1	1	1	1	1		1	1	1	
		1	1	1	1	1		1	1	1	
		1	1	1	1	1		1	1	1	
		1	1	1	1	1		1	1	1	
Carpinteros	Pintura de Estructura	1	1	1	1	1		1	1	1	16
	Fabricación de Ventanas y puertas	1	1	1	1	1		1	1	1	16
		1	1	1	1	1		1	1	1	
Soldadores	Soldadura de la Estructura	1	1	1	1	1		1	1	1	30
		1	1	1	1	1		1	1	1	
		1	1	1	1	1		1	1	1	
		1	1	1	1	1		1	1	1	
											Almuerzo
											Hora libre

Fuente: elaboración propia

3.4.4.1 Modelo de asignación con un ayudante menos

Remover un ayudante equivale a tener 24 horas – hombre disponibles en la restricción correspondiente a Ayudantes. La demanda de trabajo se mantiene constante, en 149 horas-hombre. Por lo tanto se relajarán las restricciones del siguiente tipo de trabajadores más económico, Instaladores. Se corrió el modelo y se observó que el nuevo costo mínimo de funcionamiento ha aumentado a 443.19 dólares diarios. Lo que equivale a un aumento de 2.31 o 46.20 dólares al mes. Lo que no se considera como un aumento considerable. La resolución del nuevo problema se muestra en la TABLA 5.

TABLA 5. RESOLUCIÓN y análisis de sensibilidad DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE personal con un ayudante menos

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricacion de Ventanas				Recursos
Ayudante	0	0	9	0	0	0	7	8	0	0	24	<=	24	
Instalador	3	1	3	0	0	8	0	0	48	0	63	<=	64	
Carpinteros	0	0	0	0	16	0	0	0	0	16	32	<=	32	
Soldadores	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	<=	32	
Total	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16				
Demanda	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=				CT= 443.19

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Disminución permisible
\$N\$17	Ayudante	24	-0.33	24	3	0.999999999
\$N\$18	Instalador	63	0	64	1E+30	0.999999999
\$N\$19	Carpinteros	32	0	32	1E+30	2
\$N\$20	Soldadores	30	0	32	1E+30	2
\$D\$21	Total Transporte Panel	3	2.449999999	3	0.999999998	3
\$E\$21	Total Limpieza de Vigas	1	2.449999999	1	0.999999998	1
\$F\$21	Total Corte de Vigas	12	2.45	12	0.999999999	3
\$G\$21	Total Soldadura de la Estructura	30	4.7	30	2	30
\$H\$21	Total Pintura de Estructura	16	4.7	16	2	0
\$I\$21	Total Creacion de pisos	8	2.45	8	0.999999999	8
\$J\$21	Total Corte de Paneles	7	2.45	7	0.999999999	3
\$K\$21	Total Creación de Perfiles	8	2.45	8	0.999999999	3
\$L\$21	Total Instalación de Mampostería	48	2.45	48	0.999999999	48
\$M\$21	Total Fabricacion de Ventanas	16	4.7	16	2	0

Fuente: elaboración propia

Del análisis de sensibilidad se conoce que el mayor precio sombra sigue siendo 4.7, pero en este caso existen tres actividades con éste: soldadura, pintura y fabricación de ventanas. Si se desea mejorar un proceso para requerir menos mano de obra sería lo más beneficiosos hacerlo en cualquiera de estos procesos. Las restricciones de mano de obra de Ayudantes y Carpinteros se han convertido en activas.

3.4.4.2 Modelo de asignación con un instalador menos

Remover un Instalador equivale a tener 48 horas – hombre disponibles en la restricción correspondiente a Instaladores. La demanda de trabajo se mantiene constante, en 149 horas-hombre. Por lo tanto se relajarán las restricciones del siguiente tipo de trabajadores más económico, Carpintero. Se corrió el modelo y

se observó que el nuevo costo mínimo de funcionamiento ha aumentado a 445.52 dólares diarios. Lo que equivale a un aumento de 4.64 dólares por día o 92.80 dólares al mes. Lo que no es un aumento considerable. La resolución del nuevo problema se muestra TABLA 6.

TABLA 6. RESOLUCIÓN y análisis de sensibilidad DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE personal con un instalador menos

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creación de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación de Ventanas			Recursos
Ayudante	3	1	12	0	0	0	7	8	0	0	31	<=	32
Instalador	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	48	<=	48
Carpinteros	0	0	0	0	16	8	0	0	0	16	40	<=	40
Soldadores	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	<=	32
Total	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16			
Demanda	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16			CT= 445.52

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Disminución permisible
\$N\$17	Ayudante	31	0	32	1E+30	1
\$N\$18	Instalador	48	-2.25	48	0	1.999999997
\$N\$19	Carpinteros	40	0	40	1E+30	1.999999998
\$N\$20	Soldadores	30	0	32	1E+30	1.999999997
\$D\$21	Total Transporte Panel	3	2.12	3	1	3
\$E\$21	Total Limpieza de Vigas	1	2.12	1	1	1
\$F\$21	Total Corte de Vigas	12	2.12	12	1	12
\$G\$21	Total Soldadura de la Estructura	30	4.7	30	1.999999997	30
\$H\$21	Total Pintura de Estructura	16	4.7	16	1.999999998	0
\$I\$21	Total Creación de pisos	8	4.7	8	1.999999997	0
\$J\$21	Total Corte de Paneles	7	2.12	7	1	7
\$K\$21	Total Creación de Perfiles	8	2.12	8	1	8
\$L\$21	Total Instalación de Mampostería	48	4.7	48	1.999999997	0
\$M\$21	Total Fabricación de Ventanas	16	4.7	16	1.999999998	0

Fuente: elaboración propia

Del análisis de sensibilidad se conoce que el mayor precio sombra sigue siendo 4.7, pero en este caso para soldadura, pisos y mampostería. Además, como era de esperarse, la restricción de mano de obra de Instaladores se ha vuelto activa.

3.4.4.3 Modelo de asignación con un carpintero menos

Remover un Carpintero equivale a tener 24 horas – hombre disponibles en la restricción correspondiente a Carpinteros. La demanda de trabajo se mantiene constante, en 149 horas-hombre. Por lo tanto se relajarán las restricciones del

siguiente tipo de trabajadores más económico. Se corrió el modelo y se observó que el nuevo costo mínimo de funcionamiento ha aumentado a 454.24 dólares diarios. Lo que equivale a un aumento de 13.36 dólares por día o 267.20 dólares al mes. Lo que no se considera como un aumento considerable. La resolución del nuevo problema se muestra en la TABLA 7.

TABLA 7. RESOLUCIÓN y análisis de sensibilidad DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE personal con un carpintero menos

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricacion de Ventanas			Recursos
Ayudante	3	1	12	0	0	0	7	8	0	0	31	<=	32
Instalador	0	0	0	0	0	8	0	0	48	0	56	<=	56
Carpinteros	0	0	0	0	8	0	0	0	0	16	24	<=	24
Soldadores	0	0	0	30	8	0	0	0	0	0	38	<=	40
Total	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16			
	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=			
Demanda	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16		CT=	454.24

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Disminución permisible
\$N\$17	Ayudante	31	0	32	1E+30	1
\$N\$18	Instalador	56	0	56	1E+30	0
\$N\$19	Carpinteros	24	-1.67	24	8	2
\$N\$20	Soldadores	38	0	40	1E+30	2
\$D\$21	Total Transporte Panel	3	2.12	3	1	3
\$E\$21	Total Limpieza de Vigas	1	2.12	1	1	1
\$F\$21	Total Corte de Vigas	12	2.12	12	1	12
\$G\$21	Total Soldadura de la Estructura	30	4.7	30	2	30
\$H\$21	Total Pintura de Estructura	16	4.7	16	2	8
\$I\$21	Total Creacion de pisos	8	2.45	8	0	8
\$J\$21	Total Corte de Paneles	7	2.12	7	1	7
\$K\$21	Total Creación de Perfiles	8	2.12	8	1	8
\$L\$21	Total Instalación de Mampostería	48	2.45	48	0	48
\$M\$21	Total Fabricacion de Ventanas	16	4.7	16	2	8

Fuente: elaboración propia

Del análisis de sensibilidad se conoce que el mayor precio sombra sigue siendo 4.7, pero en este caso para soldadura, pintura y fabricación de ventanas. Además la restricción de mano de obra para Carpinteros se ha vuelto activa.

3.4.4.4 Modelo de asignación con un soldador menos

Los soldadores desempeñan tareas que únicamente éstos pueden realizar, como el soldado de una estructura. Por lo tanto, la operación de la empresa no es factible sin éstos. Si un soldador se va de vacaciones será necesario subcontratar a otro o trabajar horas extra con los trabajadores existentes.

3.4.4.5 Resolución por método del tableau

Otra manera de encontrar una solución al problema de asignación es el método del tableau, explicado en la sección 2.1.4.6. Los resultados se presentan en la TABLA 8, en el recuadro pequeño se muestra el costo de una hora del trabajador en la respectiva estación de trabajo. La letra M representa una tarea que no puede ser realizada por determinado trabajador. En el recuadro grande aparece el número de horas asignado. El procedimiento paso por paso se muestra a continuación:

1. El primer paso es encontrar el menor costo, a ésta se le asignará la mayor cantidad posible, sea por una restricción de demanda o de capacidad. En este caso esta actividad corresponde Ayudante a Transporte de Panel, se le asigna 3 ya que éste es el requerimiento de demanda.
2. El siguiente paso es buscar la siguiente actividad menos costosa y asignarle todos los recursos disponibles. Esta actividad es Ayudante a Limpieza de Vigas, se le asigna 1 por ser el requerimiento de demanda.
3. Repetir este procedimiento hasta agotar los recursos, en este caso las horas hombre de trabajo. Ver Anexo 6.

Si bien la resolución mediante programación lineal entrega el óptimo global, requiere capacidad computacional que no siempre va a estar disponible, por

limitaciones de equipo, mano de obra, etc. Este método es sencillo y entrega una respuesta que suele ser muy aproximada al óptimo encontrado con programación lineal. En este caso es exactamente la misma.

TABLA 8. Método del tableau

	Transporte Panel	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación de Puertas y Ventanas					
Ayudante	2.12 3	2.12 1	2.12 12	M -	M -	M -	2.12 7	2.12 8	M -	M -			31	≤	22
Instalador	2.45 -	2.45 -	2.45 -	M -	M -	2.45 8	2.45 -	2.45 -	2.45 48	M -			56	≤	22
Pintores	3.03 -	3.03 -	3.03 -	M -	3.03 16	3.03 -	3.03 -	3.03 -	M -	3.03 -			16	≤	22
Soldadores	4.70 -	4.70 -	4.70 -	4.70 30	4.70 -	4.70 -	4.70 -	4.70 -	4.70 -	4.70 -			30	≤	22
	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥					
Demanda	3	1	12	30	16	8	7	8	48	16			CT= 440.88		

Fuente: elaboración propia

Capítulo 4 Diseño de Distribución de Planta

4.1 Determinación de los requerimientos

La unidad básica para fines de cálculo del flujo entre departamentos y la equivalencia de carga es una casa. En función de una casa se determinarán los demás requerimientos de flujo, considerando los dos aspectos más importantes para mover un objeto: peso y volumen. Un material, producto, paquete, etc. puede tener una densidad muy baja y de esta manera ocupar considerable espacio. Si únicamente se considera su peso para el análisis de flujo se estaría despreciando las limitaciones de espacio existentes en todo método de transporte. Es decir no se estaría considerando la dificultad de movilidad que representa un gran volumen. Un pallet, montacargas, coche hidráulico, etc. se puede llenar fácilmente con artículos livianos pero grandes mucho antes de que alcance su capacidad de

kilogramos. Por esta razón es necesario un cálculo que refleje la densidad de una carga (DHL, 2000).

La cuestión es, ¿para un objeto determinado es más significativo su peso o su volumen? Para conocer esto se utiliza un concepto conocido como peso-volumen (DHL, 2000). En el caso de los aviones se utiliza un sexto la densidad del agua, para montacargas se usa únicamente un tercio, esto se debe a que los montacargas pueden transportar objetos más macizos (DHL, 2000). Para calcular el peso-volumen se calcula la densidad de un objeto, si ésta es mayor a un valor predeterminado, en este caso 1 gramo por 3 centímetros, se concluye que el peso es más importante que el volumen (DHL, 2000). De esta manera, si la densidad del artículo en cuestión es más de un tercio de la densidad del agua se utiliza su peso en kilogramos.

Para los componentes de la casa en estudio se calculó su peso volumen y se obtuvo la siguiente equivalencia de carga, los cálculos se muestran en el Anexo 3.

1 casa = 1 Unidad básica (UB)

1 UB = 20 paneles iniciales

1 UB = 3 estructuras

1 UB = 80 vigas cortadas

1 UB = 40 vigas iniciales

1 UB = 60 paneles cortados

1 UB = 9 pisos

1 UB = 1440 perfiles

1 UB = 72 puertas

1 UB = 144 ventanas

4.2 Análisis de flujo, espacio y las relaciones de las actividades

La determinación de los requerimientos espaciales por departamentos consiste en fijar el área para: materiales, operarios y maquinaria necesarios para que se realice el trabajo programado. Se deben considerar holguras para facilitar la

movilidad, permitir el mantenimiento de los equipos y para facilitar la manipulación de los materiales.

De la TABLA se puede observar que únicamente dos departamentos 3, 4 y 7 requieren equipos estáticos, en los demás departamentos es suficiente con tener espacio para los materiales en proceso y pasillos para que los operarios se movilicen. Los requerimientos para pasillos se hicieron en base a la *Tabla 3.4 Anchuras de pasillos recomendadas para diferentes tipos de flujo* del libro Planeación de Instalaciones, principalmente consiste en asignar 3 metros para un montacargas y .75 metros para el personal.

RECEPCION Y ALMACENAMIENTO

El espacio para las bodegas depende de la política de inventario que se utilice. Se consultó a la gerencia sobre la cantidad de material que debería ser almacenado. La respuesta fue de dos semanas, que es el tiempo de reabastecimiento que utilizan. La empresa necesita de tres bodegas: una para panel, otra para el acero y la última para los demás materiales menos voluminosos.

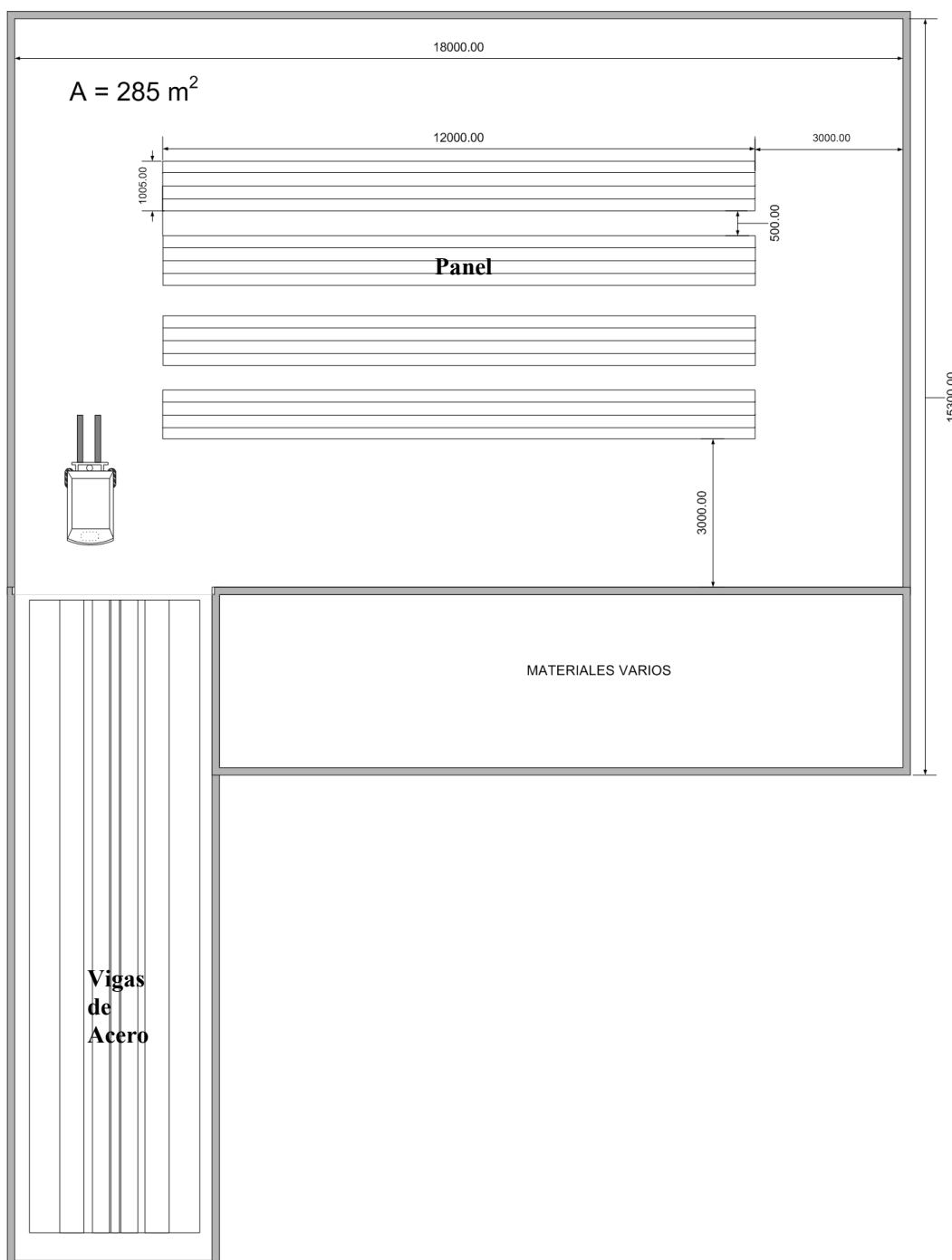
En cada casa se utilizan aproximadamente 60 paneles de 1 metros de ancho por 3 metros de alto, esto equivale a 15 paneles completos (12 metros de largo). Para estar abastecidos por el tiempo indicado se necesita almacenar 210 paneles completos. Se puede apilar hasta 50 paneles y se consideran pasillos de 3 metros de ancho para permitir al montacargas maniobrar con facilidad. El acero utilizado para una casa ocupa un volumen aproximado de 2 metros cúbicos, por lo que una bodega de 30 m³ sería suficiente. Las vigas de acero llegan a la planta midiendo 6 m de largo, con casilleros apropiados se puede apilar dos o más metros sin problema; por este motivo no se consideran pasillos. La bodega que se utiliza en este momento para materiales varios tiene una dimensión de 5 m. de ancho por 6 m. de largo y en temporada de proyectos importantes sirve para almacenar el material correspondiente a un campamento, entre 20 y 30 campers. Por lo que una bodega similar debería cubrir los requerimientos para dos semanas. Las

necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos, las dimensiones y el área total se muestran en la Figura 9.

Las medidas están en milímetros a menos que se especifique de otra manera.

El funcionamiento de este departamento consiste en ingreso de material que llega en el transporte del proveedor, almacenamiento y transferencia a los departamentos que lo requiera en el momento que lo necesiten. Los dos más importantes son Corte de Vigas y Corte de Panel. Del modelo de asignación de personal TABLA 3 se sabe que un trabajador es suficiente para cumplir con la cota de producción.

Figura 9. Departamento recepción y almacenamiento



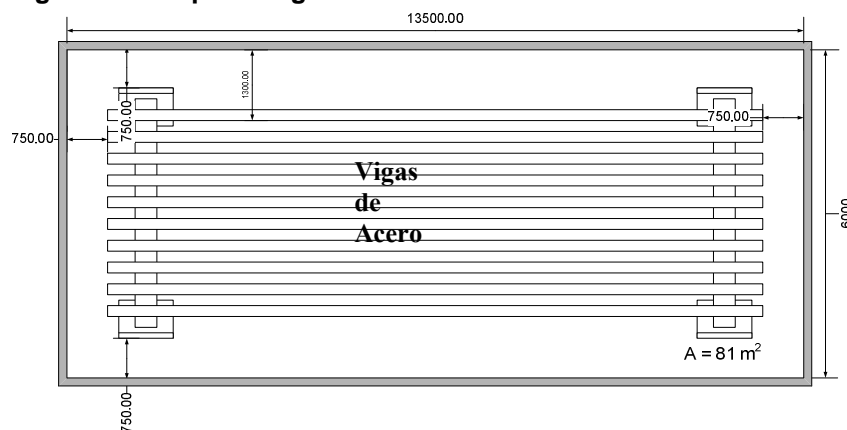
Fuente: elaboración propia

LIMPIEZA VIGAS

En este departamento se ingresan las vigas en tamaño estándar, se las colocada sobre soportes para metal y se realiza la limpieza química. Esto consiste en la aplicación de gasolina y dos capas de pintura anticorrosiva. Del modelo de

asignación de personal se sabe que un trabajador es suficiente para cumplir con la cota de producción. La capacidad de esta estación es de 20 vigas por hora y se necesitan aproximadamente 19 vigas por casa. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos, las dimensiones y el área total se muestran en la Figura 10. Limpieza Vigas. Las medidas están en milímetros a menos que se especifique de otra manera.

Figura 10. Limpieza Vigas

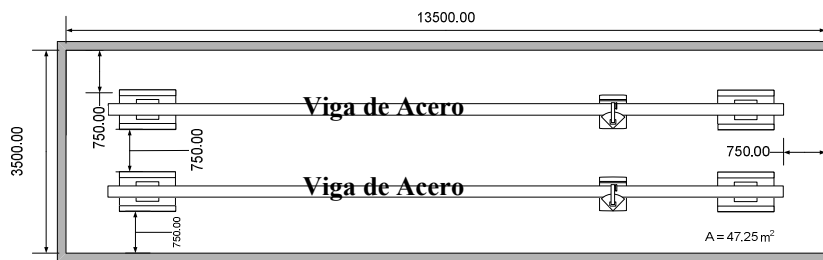


Fuente: elaboración propia

CORTE DE VIGAS

En este departamento se ingresan las vigas de tamaño estándar y con el Tronzador se las corta en las dimensiones necesarias. En el cálculo de fracción de equipo se determinó que era necesario contar con dos tronzadoras para acero. Se asignó espacio para éstas, sus respectivos soportes para medición y pasillos para que dos operadores tengan suficiente movilidad. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Corte de Vigas



Fuente: elaboración propia

SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA

En el departamento en mención ingresan las vigas cortadas en las dimensiones necesarias y son soldadas creando la estructura de la casa. En el cálculo de fracción de equipo se determinó que era necesario contar con cuatro soldadoras móviles para cumplir con la demanda de trabajo. Se asignó espacio para la estructura y amplios pasillos para que los operarios se puedan desplazar sin estorbarse unos a otros. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestra en la Figura 12. Soldadura de la Estructura.

Figura 12. Soldadura de la Estructura

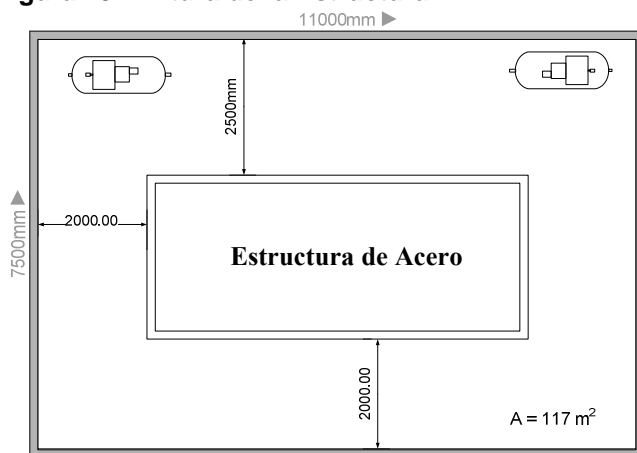


Fuente: elaboración propia

PINTURA DE LA ESTRUCTURA

En el departamento en mención ingresa la estructura soldada y se le aplican las tres capas de pintura necesarias. Del modelo de asignación de personal se sabe que se necesitan dos trabajadores para cumplir con la cota de producción. Se asignaron pasillos más angostos que para la soldadora ya que los operarios solo se deben mover utilizando un soplete conectado al compresor de aire mediante una manguera. En uno de los costados se dejó más espacio para los compresores de aire móviles. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestran en la Figura 13.

Figura 13. Pintura de la Estructura

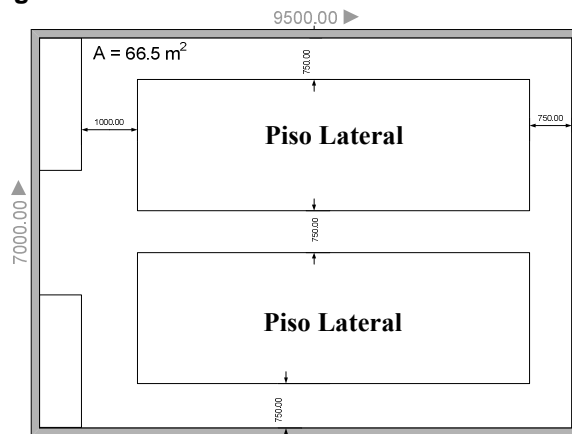


Fuente: elaboración propia

CREACIÓN DE PISOS

En el departamento en mención se crean los pisos retráctiles de la casa, sobre un marco de acero se sujetan láminas de aluminio y sobre éstas se pega el acabado del piso. Del modelo de asignación de personal se sabe que se necesita un trabajador para cumplir con la cota de producción. Se diseñó un espacio para los dos pisos retráctiles que necesita una casa, además de pasillos de 75 cm para la movilidad del trabajador. En uno de los costados se dejó un espacio mayor para los materiales y herramientas que se necesitan. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestran en la Figura 14.

Figura 14. Creación de Pisos

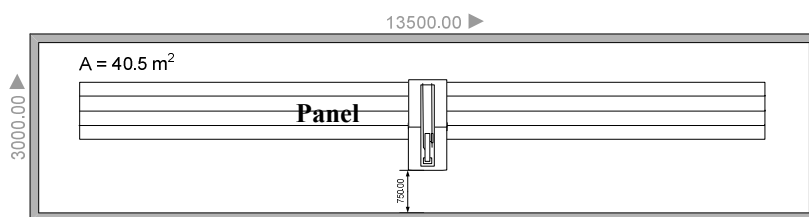


Fuente: elaboración propia

CORTE DE PANELES

En el departamento en mención ingresan los paneles en tamaño estándar y son cortados en las formas y dimensiones necesarias. Del modelo de asignación de personal se sabe que un trabajador puede cumplir con la cota de producción. Además en el cálculo de fracción de equipo se determinó que el requerimiento de maquinaria es de una tronzadora. Se asignó espacio para ésta y lo necesario para la movilidad del trabajador. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestran en la Figura 15. Corte de Paneles.

Figura 15. Corte de Paneles

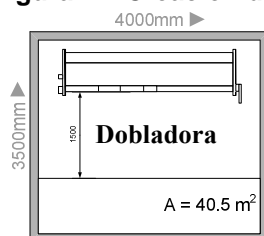


Fuente: elaboración propia

CREACIÓN DE PERFILES

En el departamento en mención ingresa el tol, es cortado y doblado en las formas y dimensiones necesarias. Del modelo de asignación de personal se sabe que un trabajador puede cumplir con la cota de producción. Además, de acuerdo al cálculo de fracción de equipo se necesita una dobladora de tol. Se asignó espacio para los rollos de tol, perfiles, herramientas, la máquina y suficiente espacio para que el operario tenga suficiente movilidad. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestra en la Figura 17. Creación de Perfiles .

Figura 17. Creación de Perfiles



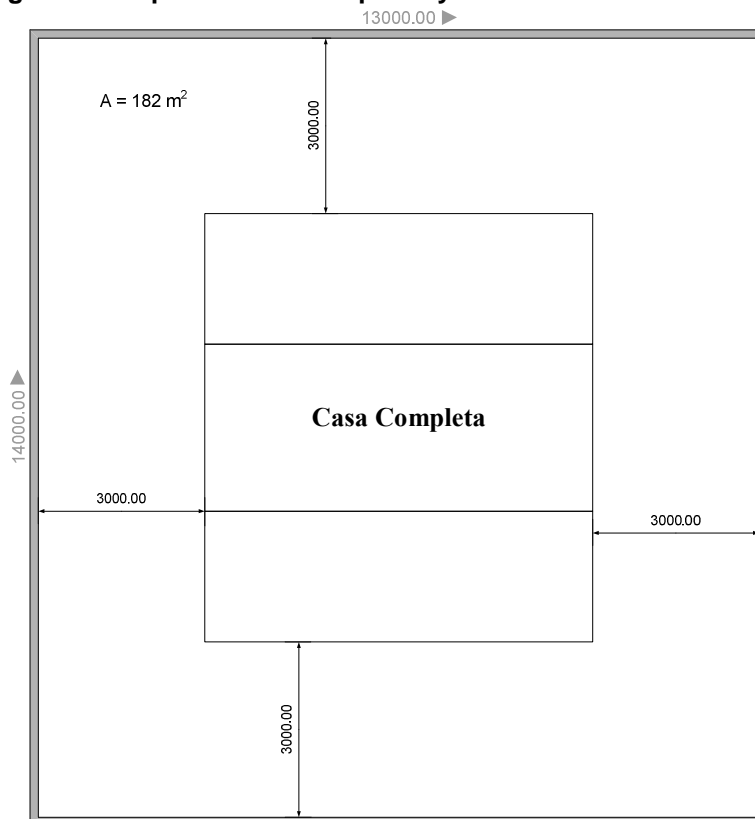
Fuente: elaboración propia

INSTALACIÓN DE MAMPOSTERÍA

En el departamento en mención ingresan los paneles cortados en las formas y dimensiones deseadas y son instalados en sus respectivos lugares. Del modelo de asignación de personal se sabe que se necesita de seis trabajadores para cumplir con la cota de producción. Si bien en este departamento no es necesario el uso de maquinaria, los operarios transportan las herramientas que necesitan al lugar determinado. Por lo tanto se asignó espacio para la casa completa, con

todos sus pisos y paredes, además de amplios pasillos para permitir una cómoda movilidad de materiales y trabajadores. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestran en la Figura 16.

Figura 16. Departamento recepción y almacenamiento

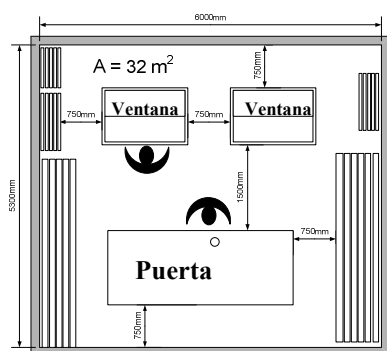


Fuente: elaboración propia

INSTALACIÓN DE PUERTAS Y VENTANAS

En el departamento en mención ingresan los perfiles de PVC, vidrios y herraduras; son cortados en las formas y dimensiones deseadas y se ensamblan las puertas y ventanas. Del modelo de asignación de personal se sabe que se necesitan dos trabajadores para cumplir con la cota de producción. Se asignó espacio para los dos operarios con sus respectivos productos en proceso. Además de la materia prima y producto terminado necesario para una casa, esto es seis puertas y cinco ventanas. Las necesidades espaciales, junto con la distribución de pasillos se muestran en la Figura 17.

Figura 17. Instalación de Puertas y Ventanas



Fuente: elaboración propia

FLUJO DE TAREAS

Para la creación de una casa es necesaria una secuencia de actividades predeterminadas, la misma que se detalla en la Tabla 11.

TABLA 11. flujo de tareas

Código	Tarea	Tareas Precedentes
a	Recepción	-
b	Limpieza de Vigas	a
c	Corte de Vigas	b
d	Soldadura de Estructura	c
e	Pintura de Estructura	d
f	Creación de Pisos	a, c
g	Corte de Paneles	a
h	Creación de Perfiles	a
i	Instalación de Mampostería	e, f, g,h

Fuente: elaboración propia

FLUJO INTERDEPARTAMENTAL

El flujo entre departamentos se describe en la Matriz de Flujo de la Tabla 12. Aquí se detallan los movimientos de materiales entre departamentos por cada casa. Se utilizó la equivalencia de carga y el flujo de tareas de la Tabla 11 para determinar los materiales que se utilizan en cada proceso y construir la tabla. Por ejemplo para obtener el .25 que aparece en el casillero que corresponde a la relación entre Recepción y Limpieza de Vigas hay que recordar que una Unidad Básica

equivale a 40 vigas iniciales, y para cada casa se utilizan 10 vigas iniciales. Por lo tanto se transporta .25 de una UB del primer departamento al segundo.

TABLA 9. Matriz de Flujo

	Recepcion	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricacion de Puertas y Ventanas
Recepcion	-	0.2500				0.33	0.75	0.07		0.10
Limpieza de Vigas	-	-	0.2500							
Corte de Vigas	-	-	-	0.1250		0.125				
Soldadura de la Estructura	-	-	-	-	0.33					
Pintura de Estructura	-	-	-	-	-	0.33				
Creacion de pisos	-	-	-	-	-	-			0.4550	
Corte de Paneles	-	-	-	-	-	-	-		0.75	
Creación de Perfiles	-	-	-	-	-	-	-	-	0.097	
Instalación de Mampostería	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10

Fuente: elaboración propia

La matriz de flujo representa una evaluación cuantitativa de las relaciones departamentales. Un par de departamentos con un flujo de materiales elevado deben estar cerca. Pero además existen razones no medibles que determinan la importancia de tener dos departamentos cercanos o alejados entre sí. Estos motivos se muestran al pie de la

Código	Razón	Valor	Cercanía
1	Flujo de información	A	Absolutamente necesario
2	Flujo de material	E	Muy importante
3	Frecuencia de uso bajo	I	Importante
4	Conveniencia	O	Cercanía normal
5	Control de Inventario	U	No es importante
6	Comunicación	X	No debe estar cerca
7	Mismo personal		
8	Limpieza		
9	Flujo de piezas		

Fuente: elaboración propia

La tabla 14 es simplemente la sumatoria de las Tablas 12 y 13 con una mayor importancia entregada a la valoración cuantitativa. Se asignó arbitrariamente un valor sobre 15 dependiendo del flujo presentado en la Tabla 12 y una calificación sobre 5 basada en la Tabla 12; a la final cada par de departamentos estaba evaluado sobre 20. De esta manera un cuarto de la apreciación final correspondía a las evaluaciones subjetivas, mientras que tres cuartos al flujo interdepartamental. Por ejemplo cuando el flujo definido en la Matriz de Flujo era de uno se le asignaba un valor de 15 en la tabla de relaciones. Se tomó en consideración las dos, pero se dio una mayor importancia al flujo real que a las evaluaciones subjetivas. Para evitar decimales innecesarios se aproximó al entero mayor y de esta manera se obtuvo la Tabla de Relaciones.

TABLA 11. Tabla de Relaciones

	Recepcion	Limpieza de Vigas	Corte de Vigas	Soldadura de la Estructura	Pintura de Estructura	Creacion de pisos	Corte de Paneles	Creación de Perfiles	Instalación de Mampostería	Fabricación de Puertas y Ventanas
Recepcion	-	1	3			5	18	2	2	2
Limpieza de Vigas	-	-	5							
Corte de Vigas	-	-	-	6		1	1		2	
Soldadura de la Estructura	-	-	-	-	6		2		1	
Pintura de Estructura	-	-	-	-	-	6				
Creacion de pisos	-	-	-	-	-	-			6	
Corte de Paneles	-	-	-	-	-	-	-	1	16	
Creación de Perfiles	-	-	-	-	-	-	-	-	5	
Instalación de Mampostería	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Fabricación de Puertas y Ventanas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

4.3 Algoritmos de diseño

Como se describió en el capítulo 2.1.5 Métodos para el diseño de distribución de planta, la Tabla de Relaciones se utiliza para desarrollar la distribución de planta.

4.3.1 Método basado en gráficas

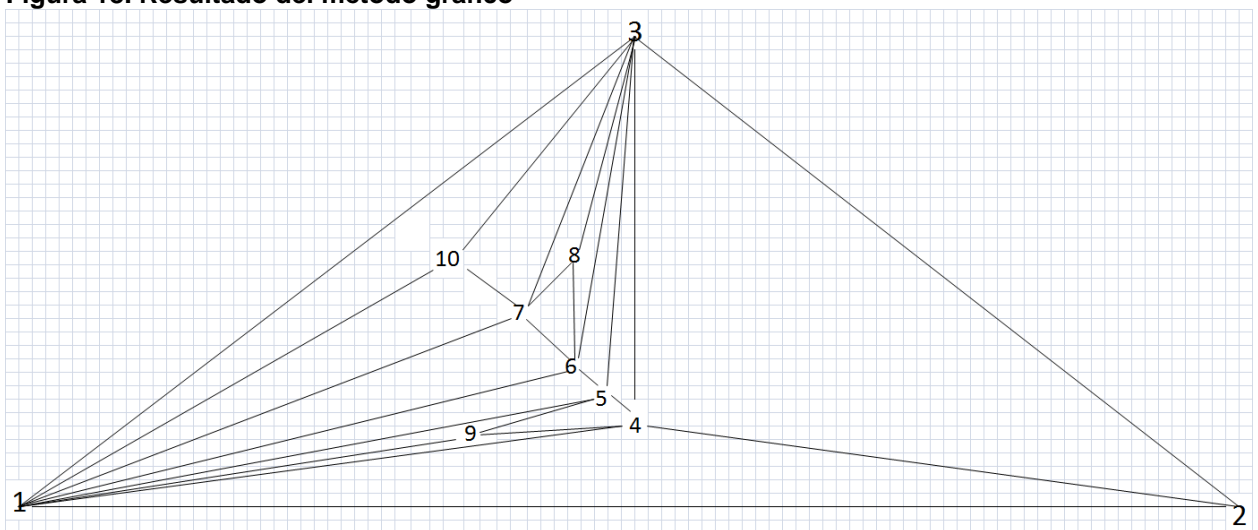
Paso 1. De la Tabla 14 se elije los departamentos Recepción y Corte de Panel por tener la ponderación más alta.

Paso 2. Se escoge el siguiente departamento que entra al sistema calculando la suma de las ponderaciones con respecto a los departamentos seleccionados.

Paso 3. Se determina la cara en la que ingresa el nuevo departamento calculando la suma del próximo departamento con los vértices existente en torno a la ponderación de la Tabla 12. Este paso es necesario a partir del quinto departamento, ya que antes no existen caras para elegir.

Paso 4. Repetir pasos 2 y 3 hasta asignar todos los departamentos. El resultado se muestra en la Figura 18 y el proceso en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Vale la pena enfatizar que esta numeración es nueva, se trata del orden de inclusión de cada departamento, por lo tanto no está relacionada con los departamentos de la TABLA .

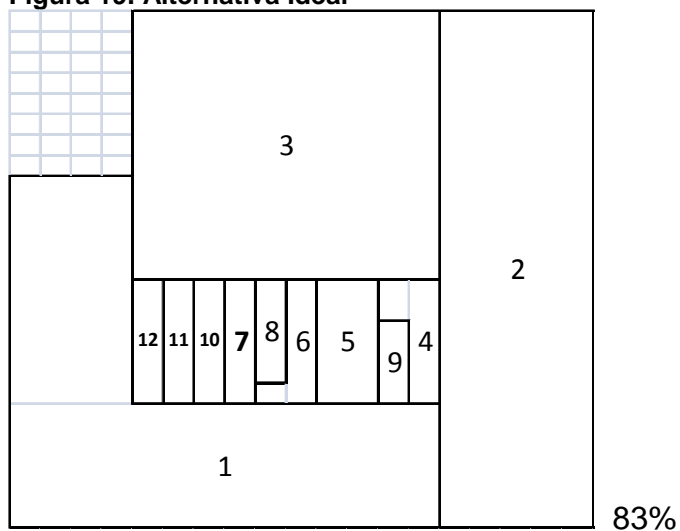
Figura 18. Resultado del método gráfico



Fuente: elaboración propia

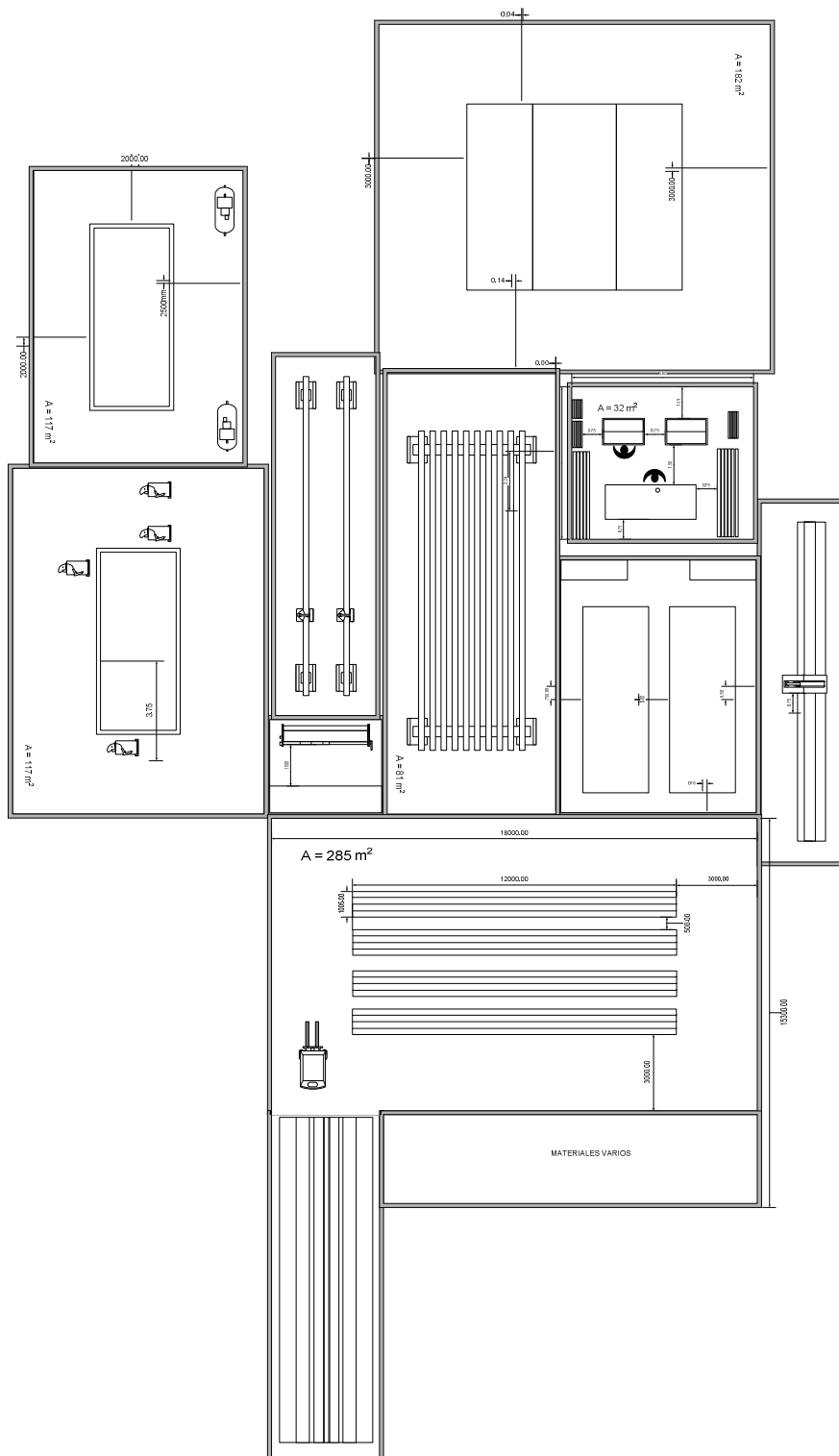
El mayor inconveniente de este método es que no considera el tamaño de los departamentos. La primera distribución generada, Tabla 14, intenta cumplir con todas las relaciones presentes en la Figura 18. Si los departamentos tendrían las dimensiones respectivas, esta sería la disposición óptima, lamentablemente no es así. Por esta razón la Figura 20 y 21 presentan otras alternativas que intentan cumplir con el mayor número de conexiones encontradas pero respetando el tamaño de cada departamento, la calificación de adyacencia, fórmula 2.1.5.7, se muestra a un costado.

Figura 19. Alternativa Ideal



Fuente: elaboración propia

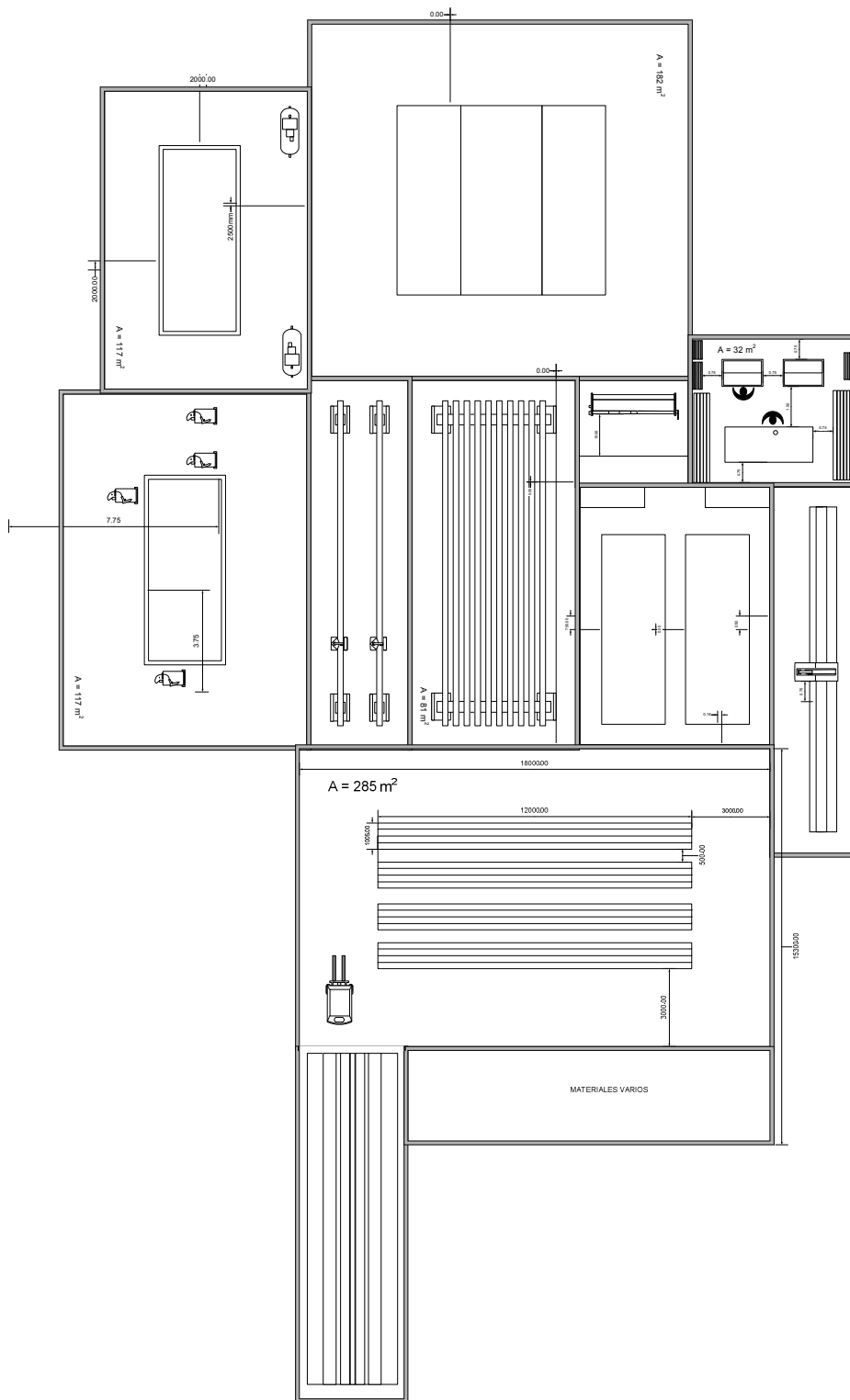
Figura 20. Alternativa 1



70.83%

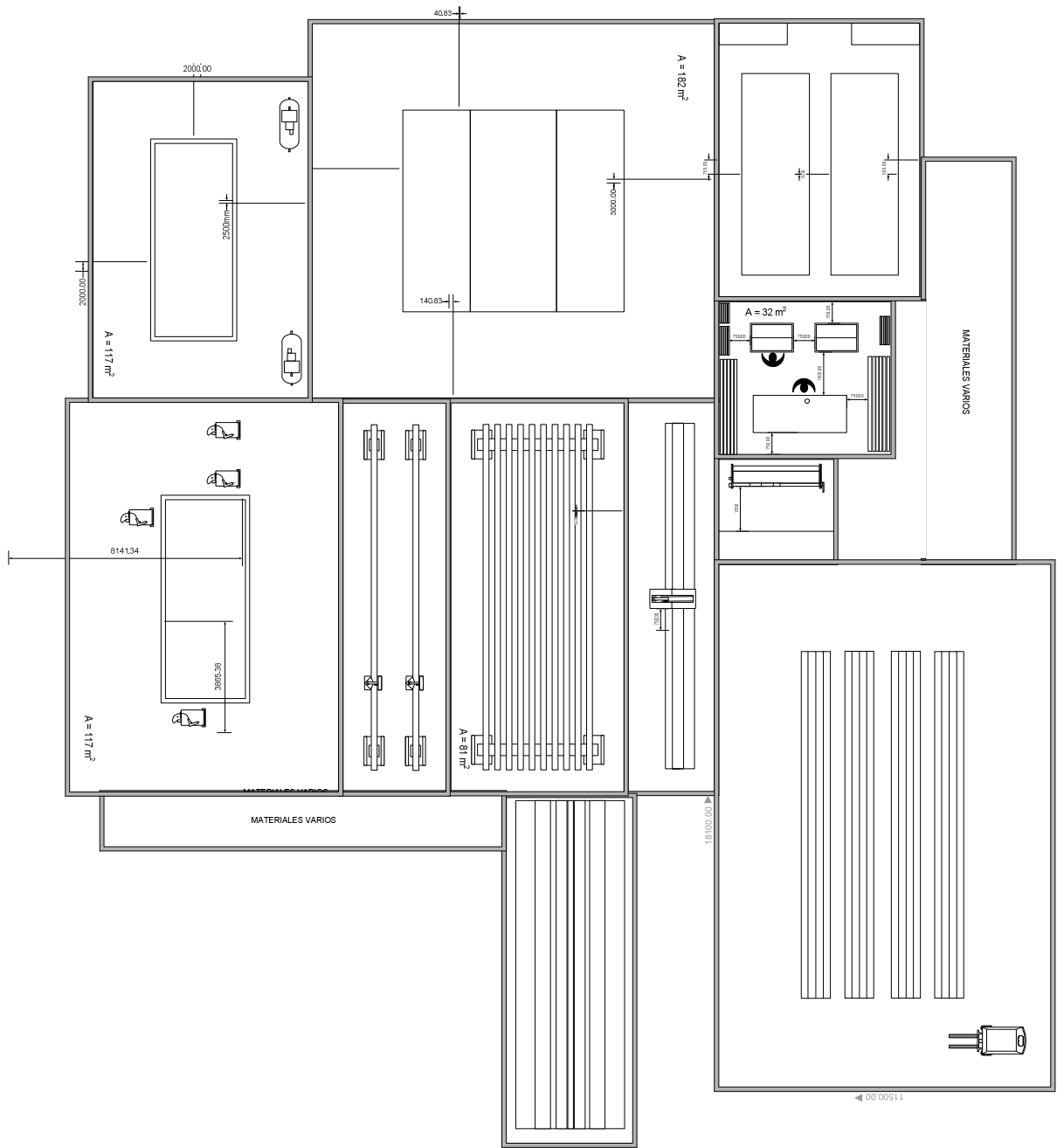
Fuente: elaboración propia

Figura 21. alternativa 2



Fuente: elaboración propia
Figura 22. Alternativa 3

58.33%



81.25%

Fuente: elaboración propia

Figura 23. Alternativa 4

en el inferior. Entre los dos últimos tantos departamentos como sea posible. Los diferentes tamaños no permiten que todos estén conectados, pero se lograron cinco y cuatro adyacencias respectivamente. La calificación de adyacencia de esta alternativa es de 70.83%.

4.4.2 Análisis alternativa 2

En la alternativa 2 se modifica la ubicación del departamento Creación de Perfiles y se desplaza Creación de Puertas y Ventanas. Esto facilita el flujo de las vigas entre Limpieza, Corte y Soldadura. Además, acerca Creación de Perfiles al punto donde se utilizan, el departamento Mampostería. El flujo de información es fundamental entre estos dos departamentos, por lo tanto el cambio es beneficioso. Un inconveniente de este diseño es que existe una dificultad en el transporte de paneles entre Corte y Mampostería. Este es un flujo considerable y por lo tanto el error deberá ser corregido. La calificación de adyacencia de esta alternativa es de 50.33%.

4.4.3 Análisis alternativa 3

En la alternativa 3 se descentralizó la bodega en tres, una para paneles, otra para acero y la última de materiales varios. De esta manera la bodega de panel se encuentra adyacente a Corte de Panel, la bodega de acero contigua a Limpieza de Vigas, etc. El cambio permitió incrementar el coeficiente de adyacencia a 81.25%. El problema del flujo de paneles fue corregido alineando las estaciones Corte de Panel y Mampostería. Si bien Creación de Perfiles no se encuentra totalmente contigua a Mampostería, están suficientemente cercanos como para favorecer el flujo de información, además la movilización de un perfil es considerablemente más sencilla. Creación de Pisos se movió a lado de Mampostería que de acuerdo a la Tabla 9. Evaluación Cualitativa de las relaciones esta relación es importante. La calificación de adyacencia de esta alternativa es de 81.25%. El orden de las estaciones sigue siendo de acuerdo al producto, es decir cada proceso está dispuesto en la sucesión predeterminada para conseguir la casa prefabricada. Esta disposición por productos es la que determinó en el punto 3.3 como la más favorable por el volumen y variabilidad de

la demanda. De acuerdo a Tompkins este sistema de flujo de materiales, cuando la estructura de los departamentos se basa en el producto, se conoce como línea de producción (2006).

4.4.4 Análisis alternativa 4

Para la alternativa 4 se tuvo como objetivo facilitar el manejo de materiales, en este caso todo el movimiento de la estructura de acero es lineal y no necesita cambiar de dirección. El costo de esta simplificación es la disminución en la calificación de adyacencia. Otro inconveniente de esta distribución es la lejanía entre Corte de Panel y Corte de Vigas, donde puede existir compartimiento de personal e información. Pero el problema más grande de esta alternativa es que necesita un terreno demasiado ancho y esto es un limitante importante.

4.4.5 Elección de la mejor alternativa

Por las razones expuestas se escoge la alternativa 3, que tiene una calificación de adyacencia más alta 81.25% y además facilita el flujo de información y comunicación.

4.5 Presentación de la mejora alternativa

De acuerdo a Tompkins, se debe asignar .55 metros cuadrados a cada persona que utiliza el vestidor (2006). En la Tabla 4.2 Requerimientos de instalaciones sanitarias por número de empleados, del mismo libro, se muestra que para 19 empleados es necesario dos inodoros y , tres lavamanos y se incluirá un mingitorio para los hombres. En la Tabla 4.4 Requerimientos de espacio para cafeterías se señala que se debe asignar 1.1 metros cuadrados por trabajador para espacio de cafeterías. También se enuncia que una oficina de un ejecutivo debe tener alrededor de 15 metros cuadrados, la de un supervisor 10 y para una secretaria 5; el área de recepción entre 10 y 20 metros cuadrados; la sala de conferencias 1.2 metros cuadrados por empleado.

En la Figura 24 se presenta el diseño final de acuerdo a los requerimientos analizados, se consideraron los trabajadores encontrados en la asignación de

personal, las diez personas administrativas que utiliza la empresa y una holgura de tres personas para ajustar cualquier pequeña variación.

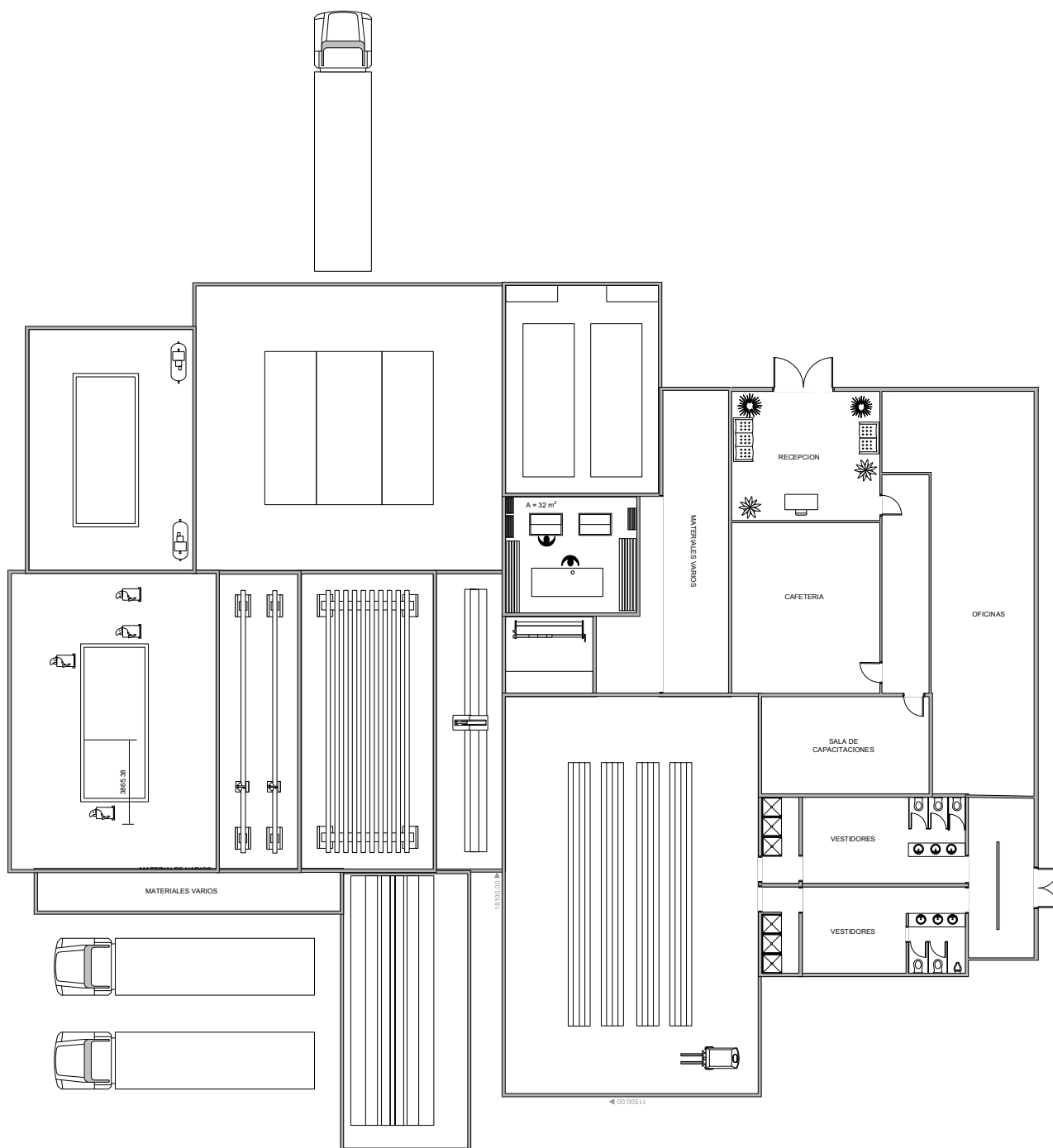
4.6 Manejo de Materiales

De acuerdo a lo analizado en la sección 3.4.2 Fracción de equipo necesaria se determinó que un montacargas es suficiente para cumplir con los requerimientos de producción definidos. Se utilizará éste para movilizar los paneles entre el camión que los lleva a la fábrica e ingresarlos a la bodega de paneles. El montacargas también será utilizado para la movilización de la bodega al departamento Corte de Panel. Una vez cortado el panel pesa de 38 kilogramos, que de acuerdo a Kulwiec es un peso que puede ser transportado manualmente por dos personas. Esto se hará entre la estación corte de panel y Mampostería, donde es instalado (Kulwiec, 1980).

Para retirar el producto terminado de la última estación Mampostería se utilizarán camiones tipo cama alta con guincha delantera. Se empleará esta para halarlos desde su posición dentro de la planta, por una rampa y hasta llegar a la parte trasera del camión. El mismo método se utiliza para descargarlos.

En el mercado nacional existen limitados sistemas que permitan mover un producto de más de 2 toneladas en una trayectoria que no sea recta; además su costo es elevado (Indura, 2010). Por lo tanto la casa solo será transportada de la última estación al camión para el transporte.

Figura 24. mEJOR aLTERNATIVA



Fuente: elaboración propia

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones

5.1. conclusiones

De acuerdo al modelo matemático para la minimización de costos de funcionamiento, presentado en el punto 3.4.4 del presente estudio, utilizando los: cuatro ayudantes, siete instaladores, cuatro carpinteros y cuatro soldadores se logra el uso óptimo del recurso humano.

El modelo de programación lineal del punto 3.4 se puede aplicar en cualquier empresa, tienda o negocio. Primero es necesario determinar las aptitudes de cada tipo de trabajador, requerimientos de mano de obra por departamento y los costos asociados a una hora de trabajo.

En la resolución del modelo de programación lineal, página 52, se puede observar que, utilizando los tipos de trabajadores determinados, no es necesario el pago de horas extra.

Como se puede observar en la resolución del método gráfico, Anexo 3, éste no genera una solución óptima, pero es un buen método para abordar el problema de distribución de planta ya que presenta diferentes alternativas que pueden ser modificadas y acopladas a las necesidades de cada empresa.

Debido a que en la empresa no existía un registro de tiempos estándar por actividades. Se concluye que, el estudio realizado en este campo permitirá establecer un día de trabajo de manera justa, beneficiando tanto al empleado como al empleador.

El estudio de tiempos y movimientos realizado permitirá establecer un sistema de remuneración variable que impulse la productividad de la compañía.

Comparando la calificación de adyacencia de la alternativa 1 (70.83%) con aquella alcanzada por la Alternativa Ideal (83%), se concluye que la disposición encontrada está próxima a la cota existente en un 85%.

De acuerdo al presente estudio, la mejor distribución de planta encontrada es la presentada en la Figura 24.

5.2. recomendaciones

De acuerdo a una de las conclusiones presentadas en el punto 5.1, se debería crear un programa de capacitaciones y remuneración variable para las distintas tareas operativas y administrativas de la empresa. Algo que de momento no existe en la empresa.

Se sugiere finalizar con el proceso de certificación ISO 9001:2008 en la empresa en estudio.

De acuerdo al punto 4.6 Manejo de Materiales lo mejor es utilizar un montacargas para el movimiento de paneles completos, este sistema cumple con los requerimientos de variabilidad y soporta la demanda de trabajo.

Considerando la conclusión sobre la calificación de adyacencia, se aconseja comparar ésta con estándares internacionales para el tipo de fábrica y conocer si el porcentaje encontrado cae dentro de márgenes aceptables.

Se sugiere trasladar la casa únicamente en una trayectoria recta y reducir al máximo los movimientos de la estructura completa y la casa con instalaciones. Práctica especialmente importante durante la instalación en el lote del cliente.

Para facilitar las tareas administrativas, se aconseja establecer un sistema de indicadores clave de desempeño, también conocidos como KPIs, para cada departamento y persona que operan en la empresa. También se recomienda implementar un Cuadro de Mando Integral para facilitar el gerenciamiento. Ambos conceptos en el momento no existen en la empresa.

Se invita a la gerencia a realizar un estudio de clima laboral para conocer los niveles de satisfacción o insatisfacción existentes en la compañía.

Se recomienda validar los resultados obtenidos en el presente estudio mediante la utilización de un programa computacional antes de proceder a la construcción de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

Cabezas, A. (2008). *Administración Industrial*. Quito: Presentacion clase.

Chopra, S. y. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operating*. . México: Prentice Hall.

Del Hierro, G. (2009) *Comunicación Personal* Cesar Burbano. 18 de Febrero de 2009.

- DHL. (n.d.) (2000). *Convertidor de Medidas*. Retrieved febrero 2010, from <http://www.dhl.com.ar/publish/ar/es/tools/ConvertidordeMedidas.high.html>
- Gaither, G. (2001). *Administración de producción y operaciones*. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores.
- Hans, G. (1962). *La edad de piedra*. Mexico: Praxis.
- Hopp, W. (2001). *Factory Physics*. New York: Irwin McGraw Hill.
- HUTCHINS, D. (1998). *Just in Time*, Segunda Edicion. Gower Publishing, Ltf.
- IEPI. (2008). Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual. *Gaceta de la Propiedad Intelectual* 521.
- ISO. (2000). *ISO 9001:2000, Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos*. Suiza.
- Juran, J. M. (1990). *Liderazgo para la calidad*. Madrid: Edigrafos SA.
- Kirkpatrick, R. I. (1986). *Enfoques cuantitativos a la administración*. Mexico: Comañía Editorial Continental.
- Kotler, P. (2001). *Dirección de marketing*. Mexico: Pearson Education.
- Kulwiec, R. (1980). *Material handling equipment guide*. New York: Wiley.
- Levin, R. I. (1986). *Enfoques Cuantitativos a la Administracion*. Mexico DF: Editorial Continental.
- Lewis, W. E. (1999). *PDCA/Test: a quality tool framework for software testing*. CRC Press.
- Lieberman, G., & Hillier, F. (2002). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Mc Graw Hill.
- López, O. C. (2003 Septiembre). Investigación de Operaciones . *Publicaciones Matemáticas* , 5-18.
- Mankiw, G. (2007). *Principios de Economía*. Mexico: Cosegral.
- Maynard, H. y Zandin B. (1982). «Maynard's Industrial Engineering Handbook.» [Google Books](#). Diciembre de 2008
- MECD. (1998). *Secretaría de Estado de Educación y Universidades*. Retrieved enero 2010, from “Análisis de Sensibilidad con Excel y LINDO” : <http://carbon.cudenver.edu/~hgreenbe/courseware/LPshort/intro.html>

- METECNO (2004). *Catálogo de Presentación del Producto*. Colombia, Santa Fe Impresiones.
- Mundel, M. (1984). *Estudio de tiempos y movimientos*. Mexico: Compañía Editorial Continental.
- Nieble, B. (1976). *Ingeniería Industrial*. Mexico: Representaciones y servicios de Ingeniería.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press Inc.
- Pascal, D. y Shook J. (2006). *Lean Production Simplified*. Google Books. 10 de Enero de 2009.
- PORTER, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: The free press.
- Prado, JJ. (2006). «América Latina ¿cómo se vio y cómo se verá?» *Perspectiva Revista Económica del IDE*.
- Raouf, A. (2009). *Sistemas de Mantenimiento*. Mexico DF: Editorial Limusa.
- Shigeo, S y Dillon, P. (1988). «A Study of the Toyota Production System.» Google Books. Enero de 2009
- Stigler, J. (1995). «Production and Distribution Theories.» Google Books. Diciembre de 2008
- Stone, P. Et al. (2002). *Plant Design and economics for Chemical Engineers*. Mc Graw Hill Professional.
- Sule, D. (2001). *Instalaciones de Manufactura*. Mexico: Thomson Editores.
- Tompkins, J. (2006). *Planeación de Instalaciones*. Mexico Df: Thomson.
- UALSP, U. A. (2004). *Las 7 herramientas básicas de la calidad*. México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Vergara, H. (2008, Octubre). *Manejo de Materiales y Almacenamiento – Parte 1*. Quito, Ecuador.
- White, Price. (1971). *The Search Algorithm for Quadratic Assignment Problems*. Vol. 18. Naval Res Logist, 1971. No 1 vols.

