

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Optimización de la Línea de Producción de Vigas y Columnas de la Empresa Ospining

Paola Durán y Lucía León

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

Quito, 14 de diciembre de 2007

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Optimización de la Línea de Producción de Vigas y Columnas de la Empresa Ospining

Paola Durán y Lucía León

Ximena Córdova, Ph.D
Directora de la Tesis

.....

Patricio Cisneros, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Héctor Andrés Vergara, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ángel Villablanca, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, MSc
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, 14 de diciembre de 2007

© **Derechos de Autor**

Paola Durán y Lucía León

2007

Dedicatoria

Lucía: Todos estos años de esfuerzo que culminan ahora con la entrega de este documento se lo dedico a mi madre, Mercedes Acosta, por su amor y apoyo incondicional, “Mami, este logro es de las dos. Te amo”

Paola: Como muestra de gratitud a ese apoyo y cariño incondicional les dedico este trabajo a mi madre, Silvia Rodríguez y a mi hermano, Galo Durán, porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso amor y confianza que en mí depositaron y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales.

Agradecimientos

Agradecemos a todos nuestros profesores, que con su paciencia, amistad y sabios consejos contribuyeron con nuestra preparación y formación tanto académica como personal. Un agradecimiento especial a quiénes con su experiencia ayudaron a plasmar nuestras ideas en esta tesis. Ximena Córdova, Patricio Cisneros y Héctor Andrés Vergara.

A nuestros amigos, por todo el ánimo, la paciencia y por compartir este sentimiento de alegría que hoy nos embarga. Con ellos reímos, pasamos angustias pero sobretodo alegrías que han hecho de estos años una etapa inolvidable.

Al personal de la empresa Ospining, por abrirnos sus puertas y darnos la oportunidad de concretar nuestros sueños.

Lucía agradece: A Fernando, mi papá, que sin muchas palabras, más bien con su ejemplo, me ha mostrado el valor del sacrificio y esfuerzo constante. Y a mi hermana, Diana, por sus consejos sinceros en el momento oportuno.

Paola agradece: Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento, a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por llenarme de bendiciones durante todos estos años de vida. Y a mi papá, Galo Durán, quien con su ayuda, apoyo y comprensión me alentó a lograr esta hermosa realidad.

Resumen

Este estudio busca optimizar la línea de producción de una empresa dedicada a la fabricación de estructuras de acero para la construcción de edificios. En la primera etapa se presenta información general de la empresa y los procesos involucrados en la producción de las estructuras. Posterior a esto, se plantea una nueva propuesta de distribución física de la planta que reduzca la distancia entre sectores de trabajo y a su vez disminuya los tiempos de transporte del material en proceso.

Se plantea la hipótesis que estos cambios harán que el número diario de unidades producidas en la fábrica se incremente. Para verificar esta hipótesis se realiza una simulación tanto del sistema actual como del propuesto, ingresando en el modelo tiempos reales de los sectores de trabajo tomados en la empresa, y se comparan los modelos.

Finalmente se rechaza la hipótesis planteada y se analizan los resultados obtenidos, para generar conclusiones y recomendaciones útiles para la empresa.

Abstract

The purpose of this study is to optimize the production line of a company that is dedicated to produce steel structures for construction industry. The first stage of this project includes general information of the company and all the processes that are involved in the production of these structures. Later on, a new physical distribution is proposed; this new proposal will reduce the distance between each work section and also, the material transportation times.

The hypothesis is that these changes will increase the number of units that are produced per day. To verify it, it was necessary to create a simulation from the actual system as well from the proposed one. Here, it was used real times from the different work sections and they were compared to the ones in the models.

Finally, the hypothesis was rejected and the results were analyzed, in order to generate useful conclusions and recommendations, for future improvements in the company.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido.....	viii
Lista de Figuras	x
Lista de Tablas.....	xi
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
Capítulo 1.....	4
1.1 Descripción de la empresa	4
1.2 Levantamiento del proceso general de ventas de las estructuras de acero.....	6
1.2.1 Levantamiento del proceso de producción de vigas	8
1.2.2 Levantamiento del proceso de producción de Columnas	9
1.3 Información y análisis de las ventas de productos por especificaciones para el Año 2007 .	10
1.3.1 Clasificación de productos según sus especificaciones y selección de los más importantes para su análisis.....	11
Capítulo 2.....	13
2.1 Marco Teórico de los modelos de producción a los que se podría ajustar la planta de producción.	13
2.1.1 Disposiciones físicas por Procesos	13
2.1.2 Disposiciones físicas por Productos.....	14
2.1.3 Disposiciones físicas para la manufactura celular	14
2.2 Descripción del modelo de producción de la empresa.....	15
Capítulo 3.....	16
3.1 Marco Teórico de los modelos de distribución de plantas	16
3.2 Distribución actual de la planta.....	21
3.3 Mejor Modelo de distribución	23
3.4 Mejor Modelo de Distribución Factible.....	44
Capítulo 4.....	50
4.1 Marco teórico de Estudios de Tiempos	50
4.2 Definición del tamaño de muestra y formato para la recolección de los datos.....	53
4.3 Recolección de datos de tiempos de trabajo.....	57
4.4 Análisis de los datos recolectados.....	58
Capítulo 5.....	62
5.1 Marco teórico de Tiempos estándares	62
5.2 Determinación de tiempos estándares para cada área de trabajo.....	65
5.3 Marco teórico Balanceo de Líneas.....	68
5.4 Balanceo de Línea	69
5.4.1 Método de la Matriz de Precedencia.....	69
Capítulo 6.....	81
6.1 Marco Teórico Simulación	81
6.2 Simulación del comportamiento del sistema actual de producción, resultados y análisis....	85
6.2.1 Resultados.....	89
6.2.2 Porcentaje de Error y Análisis	92
6.3 Simulación del sistema de producción con la mejor distribución física planteada, resultados y análisis	100
6.3.1 Resultados y Análisis	101

Capítulo 7.....	106
7. 1 Conclusiones.....	106
7. 2 Recomendaciones.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	110
GLOSARIO.....	112
ANEXOS.....	113

Lista de Figuras

Figura 1: Datos Informativos de los diagramas de flujo	6
Figura 2: Proceso General de Ventas	7
Figura 3: Proceso de Producción de Vigas	8
Figura 4: Proceso de Producción de Columnas	9
Figura 5: Porcentaje Ventas Totales Enero-Abril 2007.....	10
Figura 6: Columna.....	12
Figura 7: Viga con Contrafecha.....	12
Figura 8: Proceso de Planteamiento SLP	17
Figura 9: Distribución Actual de la empresa.....	22
Figura 10: Gráfico P-Q de la empresa	23
Figura 11: Diagrama Relacional.....	26
Figura 12: Diagrama Relacional de Recorridos y/o Actividades.....	27
Figura 13: Diagrama Relacional de Espacios.....	30
Figura 14: Alternativa A.....	33
Figura 15: Alternativa B	36
Figura 16: Distribución Física óptima-factible de la empresa.....	45
Figura 17: Perfil de carga columnas actual	73
Figura 18: Perfil de carga columnas propuesto	73
Figura 19: Perfil de carga vigas actual	74
Figura 20: Perfil de carga vigas propuesto	74
Figura 21: Porcentaje Actual Utilización estaciones columnas.....	77
Figura 22: Porcentaje Actual Utilización estaciones vigas	79
Figura 23: Pasos para simular un sistema.....	83
Figura 24: Esquema de Modelo de simulación	88
Figura 25: Resultados de Entidades en la Replicación # 1 de la simulación del Sistema Actual	90
Figura 26: Resultados de Entidades en la Replicación # 24 de la simulación del Sistema Actual	90
Figura 27: Reporte Arena: Tiempo de utilización de los recursos (horas).....	94
Figura 28: Porcentaje de Utilización columnas.....	96
Figura 29: Porcentaje de utilización Cap. 5.....	97
Figura 30: Porcentaje de Utilización vigas.....	99
Figura 31: Porcentaje de Utilización Cap. 5.....	100

Lista de Tablas

Tabla 1: Espesores significativos	11
Tabla 2: Diagrama de Recorrido de productos.....	24
Tabla 3: Matriz de distancia (desde-hasta) entre sectores	25
Tabla 4: Tabla de Calificación de las Relaciones.....	25
Tabla 5: Área de los sectores de producción de la empresa.....	29
Tabla 6: Distancia entre departamentos.....	39
Tabla 7 : Secuencia y cantidad de proceso por departamento	40
Tabla 8: Distancia de recorrido de cada producto	40
Tabla 9: Análisis Carga-Distancia	40
Tabla 10: Análisis Costo Alternativa A.....	42
Tabla 11: Análisis Costo Alternativa B.....	42
Tabla 12: Forma de Estudio de Tiempos Parcial.....	54
Tabla 13: Número de Ciclos de estudio	55
Tabla 14: Ejemplo de Forma para recolección de tiempos para acabados de Vigas.....	56
Tabla 15: Registro de tiempos original Enderezado de Almas	59
Tabla 16: Registro de tiempos adaptado al estándar de Enderezado de Almas	59
Tabla 17: Ejemplo de cálculos de tiempos promedios	60
Tabla 18: Ejemplo de división del tiempo total.....	61
Tabla 19: Tiempos Estándares por Estaciones	66
Tabla 20: Producción diaria para vigas de 3m	67
Tabla 21: Producción diaria para columnas de 3m.....	67
Tabla 22: Sectores de Precedencia de columnas	69
Tabla 23: Sectores de Precedencia de vigas	70
Tabla 24: Peso Posicional e Importancia de los sectores de trabajo de columnas	70
Tabla 25: Peso Posicional e importancia de los sectores de Trabajo de vigas y columnas.....	71
Tabla 26: Tiempos de ciclo	71
Tabla 27: Estaciones de trabajo óptimas para columnas	72
Tabla 28: Estaciones de trabajo óptimas para vigas.....	72
Tabla 29: Resumen de estaciones de trabajo de columnas propuesto	72
Tabla 30: Resumen de estaciones de trabajo de vigas propuesto	73
Tabla 31: Estación cuello de botella columnas	75
Tabla 32: Estación cuello de botella vigas	75
Tabla 33: Porcentaje Utilización Actual estaciones columnas	77
Tabla 34: Jornada laboral por estación propuesta	78
Tabla 35: Porcentaje Actual Utilización estaciones vigas.....	79
Tabla 36: Jornada laboral por estación Propuesta	80
Tabla 37: Módulos Utilizados en el modelo de simulación	86
Tabla 38: Resultados obtenidos en la simulación.....	91
Tabla 39: Porcentaje de Error Obtenido en la simulación.....	92
Tabla 40: Porcentaje de Utilización columnas transformado de los resultados de Arena.....	95
Tabla 41: Porcentaje de Utilización vigas transformado de los resultados de Arena.....	98
Tabla 42: Resultados Simulación con nuevos tiempos de transporte.....	102
Tabla 43: Comparación de resultados Simulación entre modelo Actual y propuesto.....	102

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción se ha caracterizado por ser uno de los sectores de mayor crecimiento y rentabilidad en el país en los últimos diez años, teniendo un crecimiento promedio anual del catorce por ciento¹. El aumento vertiginoso de nuevas sociedades que año a año ingresan al mercado, reportado por la Superintendencia de Compañías, confirma la expansión de este segmento.

Al ser un segmento en constante crecimiento, la competencia es cada vez más exigente y las empresas dedicadas a esta actividad deben constantemente mejorar sus procesos para obtener productos de calidad, que satisfagan las necesidades del cliente a precios competitivos y garanticen su lealtad.

El presente estudio tiene como finalidad desarrollar un modelo de distribución física de la planta de producción de la empresa Ospining S.A., que permita disminuir tiempos de transporte entre estaciones de trabajo e incrementar la producción diaria de la empresa, cuya presencia en el mercado se extiende hasta el país vecino de Colombia.

En la primera etapa se realiza un análisis de la situación actual de la empresa. Este incluye una breve descripción de la compañía, el levantamiento de los procesos tanto de ventas como de producción y la clasificación de los productos, para posteriormente seleccionar los más representativos.

La segunda parte incluye un estudio de tiempos, con la finalidad de determinar tiempos estándares para cada sector de trabajo y posteriormente realizar un balanceo de la línea de producción, la cual permitirá igualar los tiempos de proceso por estaciones y optimizar la utilización de las máquinas.

¹“Construcción y Vivienda”, 27 de Octubre 2007 <http://www.expreso.ec/especial_economia/construccion.asp>.

Finalmente, se presenta una comparación entre el modelo de distribución actual de la planta y el mejor modelo de distribución obtenido en el presente estudio. Esta comparación se logra al simular los dos modelos; con sus resultados, se conoce de forma objetiva si vale la pena implementar los cambios propuestos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Optimizar el proceso de producción de vigas y columnas de una empresa dedicada a la fabricación de estructuras de acero mediante la reubicación de máquinas y estaciones de trabajo, para reducir tiempos de transporte de material semi-terminado entre estaciones, e incrementar la producción diaria.

Objetivos Específicos

- Levantar los procesos involucrados en la fabricación de vigas y columnas en la empresa.
- Proponer la mejor distribución física de la planta utilizando la metodología Planeación Sistemática de Layout (SLP), para reducir tiempos de transporte de material.
- Realizar un estudio de tiempos y establecer tiempos estándares para cada sector de trabajo.
- Identificar los cuellos de botella del proceso de producción tanto de vigas como de columnas y determinar el porcentaje de utilización de las máquinas.
- Verificar la efectividad de la distribución física propuesta a través de un modelo de simulación.

Capítulo 1

1.1 Descripción de la empresa

Desde Octubre de 1978 Ospining S.A. ingresó en el exclusivo mercado del diseño estructural, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios multipisos, lo cual les convierte en los pioneros de esta industria en el área andina. Se han destacado por contar con un departamento de ingeniería especializado y capacitado en el campo del diseño estructural en acero. Para la fabricación de las estructuras cuentan con la colaboración de un total de 75 trabajadores fijos divididos de la siguiente forma: en oficina 15 personas incluidos ingenieros de proyectos y personal administrativo, 45 personas en montaje y transporte y 13 fijos en producción más 30 empleados eventuales de acuerdo al volumen de trabajo. El taller tiene un área de 4000m² equipado con maquinaria de alta tecnología creada para la fabricación de las mismas. Debido al gran desempeño en el área de la construcción esta empresa ha llegado a ser reconocida no sólo en el Ecuador, donde ha construido más de 85 edificios sino también en Colombia a donde ha exportado estructuras de acero para más de 20 edificios multipisos, incluyendo el edificio más alto de Colombia: la Torre de la Escollera en Cartagena de Indias.

En la actualidad el sector de la construcción ha dado mayor importancia a la construcción de edificios utilizando estructuras de acero, esto se debe a que el acero es el más versátil de los materiales estructurales modernos por su poco peso, su gran resistencia, su confiabilidad, su ductibilidad y su bajo costo.

Misión

“Brindar soluciones de ingeniería, fabricación, transporte y montaje de estructuras de acero para la construcción de edificios multipisos.”

Visión

“Para el año 2008 seremos líderes del área andina en la industrialización en acero mediante la aplicación de tecnología de punta a la ingeniería, a la fabricación y al montaje de estructuras metálicas para edificios multipisos.”²

Ospining inició su trayectoria en el sector de la construcción en el año de 1981, a partir de ese año la empresa ha ido creciendo exitosamente. Sus estructuras se venden inclusive en países vecinos como Colombia. Ver Anexo 1 para información adicional.

La empresa está conformada por 3 grandes áreas que son: Ospining, Fabsteel y Makemaq. Cada área realiza una función específica, Ospining se encarga del diseño e ingeniería, Fabsteel tiene a cargo la producción de vigas y columnas y por último Makemaq se encarga de la fabricación de accesorios, transporte y montaje.

El proceso de manera general se detalla a continuación: empieza cuando el cliente se contacta con ventas y le proporciona los planos arquitectónicos y el estudio de suelos para que los ingenieros de proyecto lo analicen y determinen la cantidad de material a utilizar. Esta información es enviada a ventas en donde se elabora la cotización para ser enviada al cliente. Una vez aceptada la cotización se hace un estudio detallado de la estructura y se realizan reuniones de las partes involucradas (dueños del proyecto y representantes de Ospining) para definir los plazos de entrega, sugerir cambios en el diseño y firmar el contrato. Una vez aceptados los cambios y los plazos de entrega se asigna el proyecto a un ingeniero de proyectos y su ayudante los cuales serán responsables de proporcionar la lista de materiales previa y los planos estructurales a producción.

² “Ospining S.A.”, 20 de Marzo 2007 <<http://www.ospining.com>>.

El jefe de producción de acuerdo a la lista de materiales y revisando el inventario de materia prima se pondrá en contacto con los proveedores de acero los cuales son Ipac y Novacero y se empezará el proceso de producción de vigas y columnas.

1.2 Levantamiento del proceso general de ventas de las estructuras de acero

En la Figura 1 se presentan los datos informativos de los diagramas de flujo correspondientes a las Figuras 2, 3 y 4.

En la Figura 2, Proceso General de Ventas, se detalla las actividades que se llevan a cabo desde el momento en que el cliente pone la orden hasta que recibe las estructuras metálicas.

En la Figura 3, Proceso de producción de vigas, se enumeran los pasos necesarios para ensamblar una viga, empezando por la recepción de la materia prima y su paso a través de los distintos sectores de la planta de producción.

En la Figura 4, Proceso de producción de columnas, se listan las actividades necesarias para la producción de las columnas, empieza por la recepción de la materia prima, y continúa a través de la línea de producción de columnas terminando con la pintura.

Datos Informativos
EMPRESA: OSPINING S.A. MACROPROCESO: Operación de la empresa PROCESO: Proceso de Producción de Columnas-Vigas
LÍMITES DEL PROCESO INICIO: Recepción de los planos arquitectónicos del cliente FINAL: Montaje de la estructura
OBJETIVOS DEL PROCESO: Producir Columnas y Vigas de Acero de manera eficiente y de la mejor calidad.
PARTICIPANTES DEL PROCESO: Cliente, Departamento de Ventas, Ingenieros de Proyectos, Gerencia General, Producción, Proveedores, Personal Administrativo.
FECHA DE ELABORACIÓN: 26-02-2007 ELABORADO POR: Paola Durán y Lucía León REVISADO POR: María Clara Ospina y María Gabriela Ospina AUTORIZADO POR: Ing. Pedro Ospina

Figura 1: Datos Informativos de los diagramas de flujo

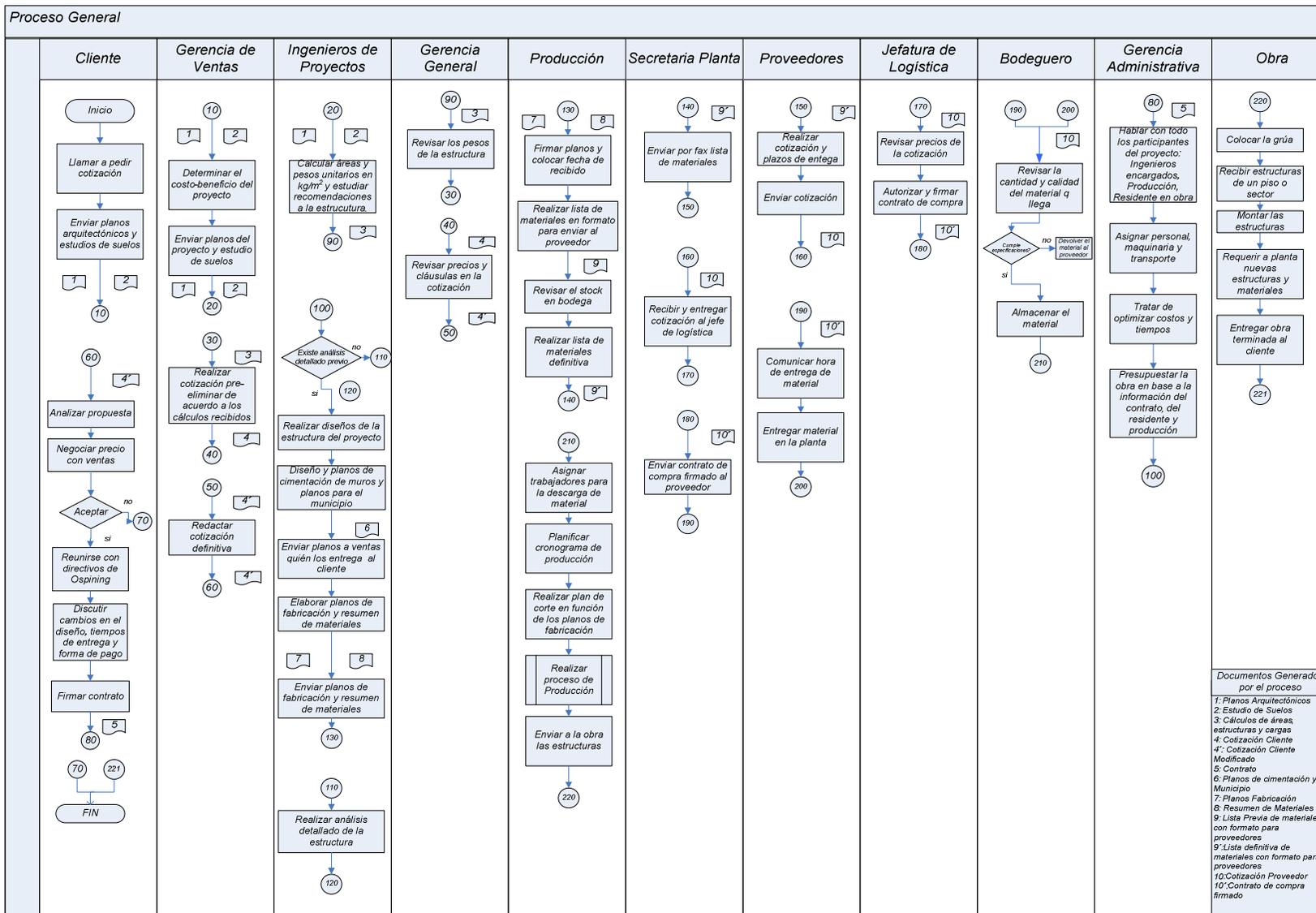


Figura 2: Proceso General de Ventas

1.2.1 Levantamiento del proceso de producción de vigas

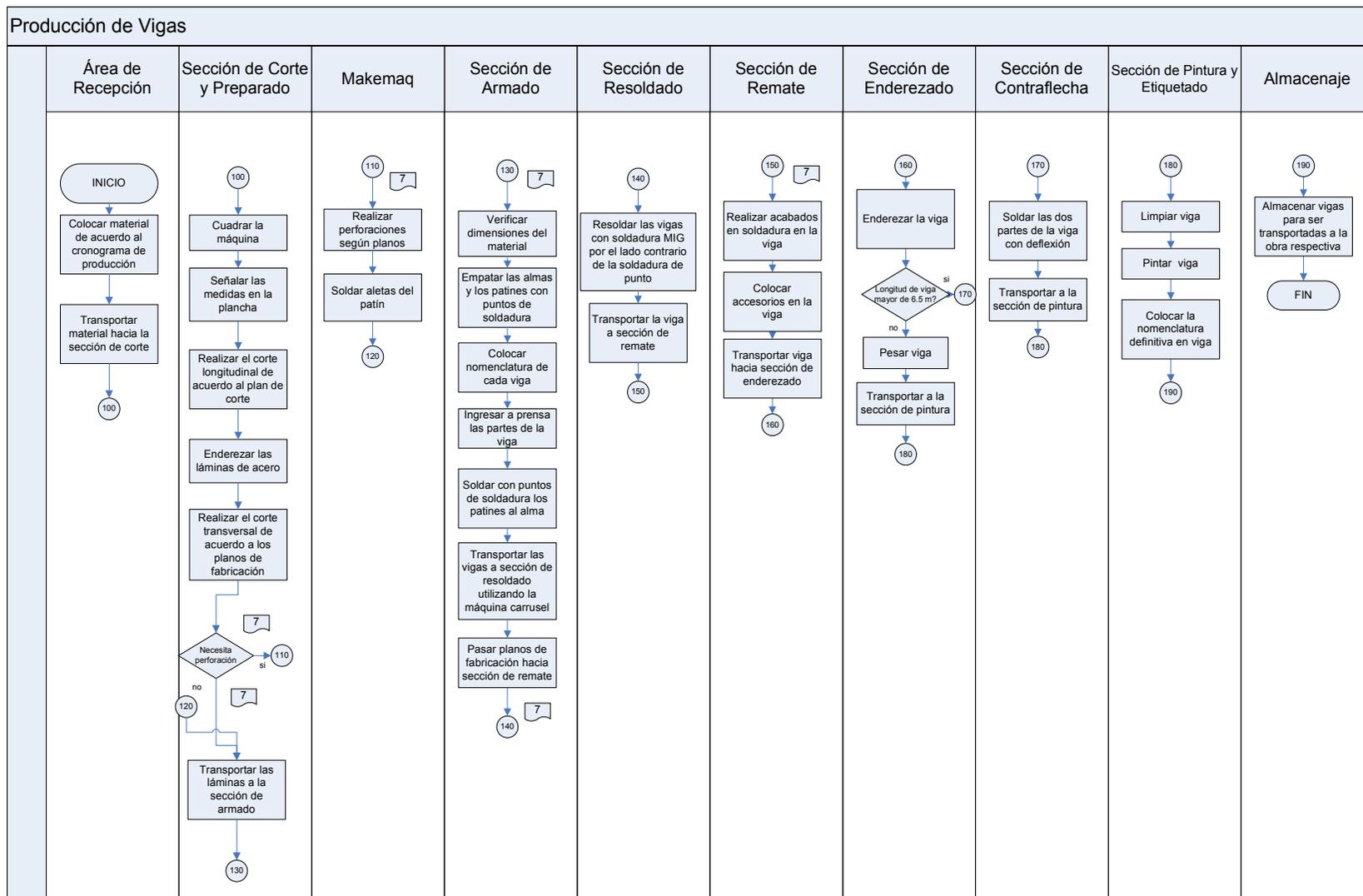


Figura 3: Proceso de Producción de Vigas

1.2.2 Levantamiento del proceso de producción de Columnas

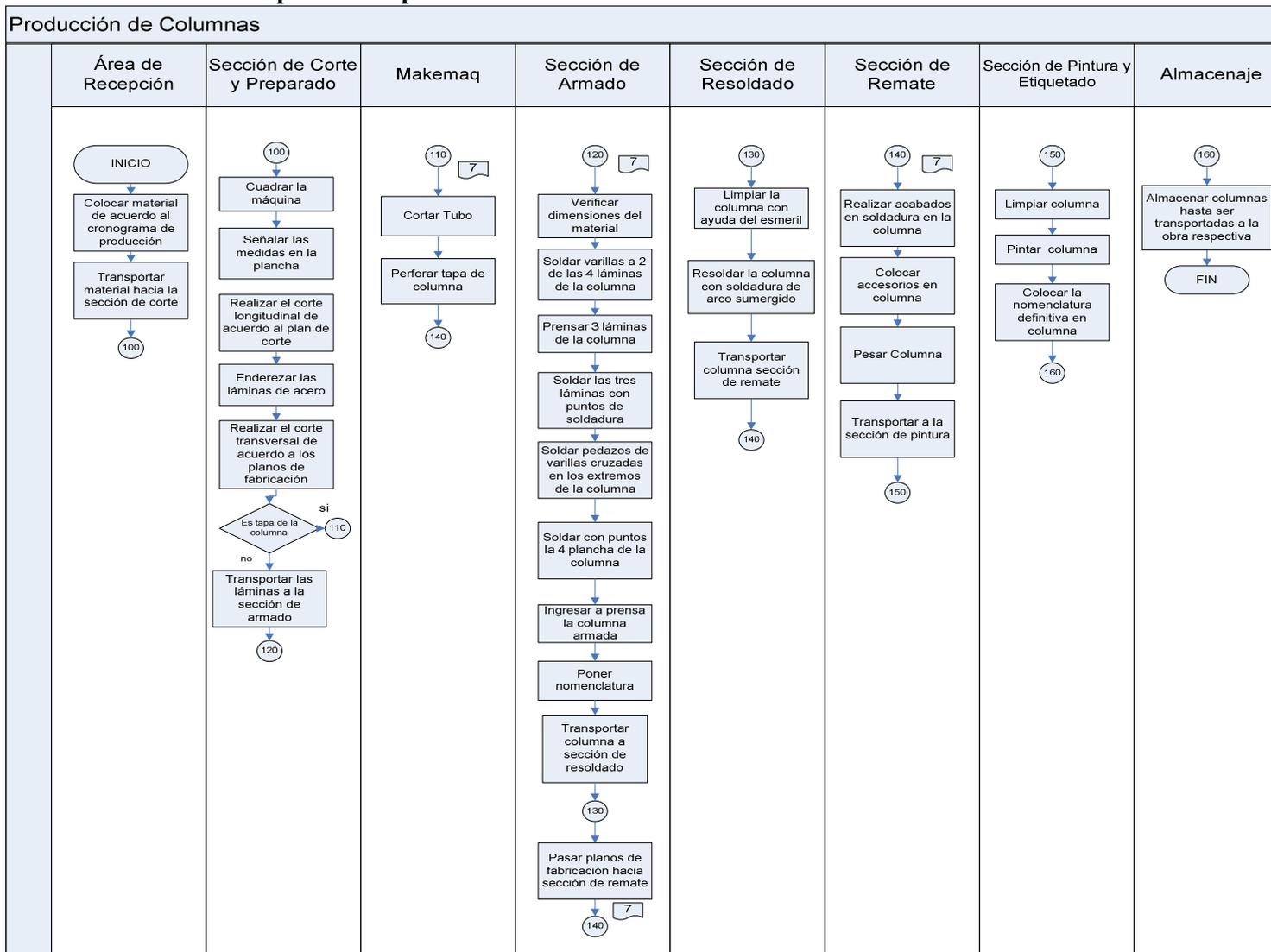


Figura 4: Proceso de Producción de Columnas

1.3 Información y análisis de las ventas de productos por especificaciones para el Año 2007

En la empresa se empezó a registrar la producción desde el mes de enero del 2007, a continuación en la Figura 5 se presenta el porcentaje de ventas por producto.

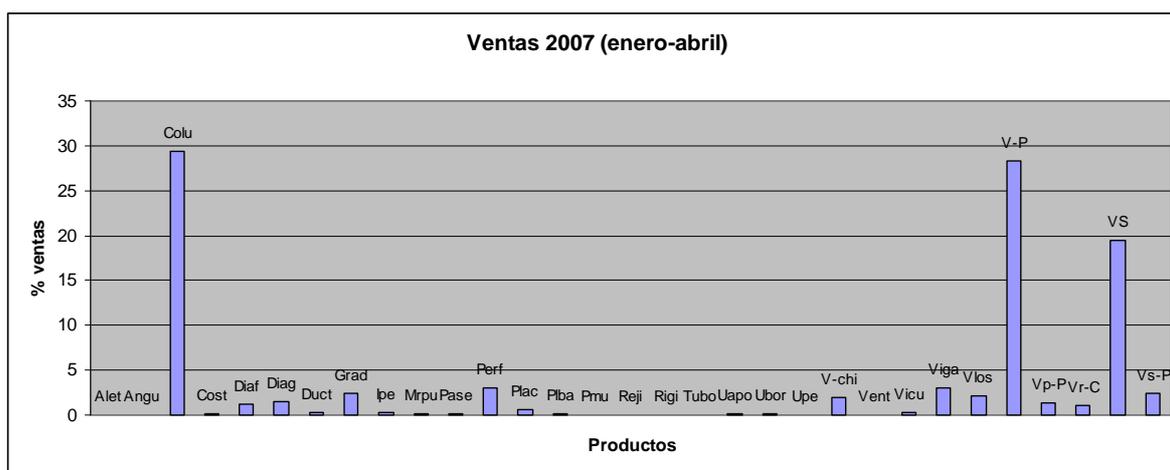


Figura 5: Porcentaje Ventas Totales Enero-Abril 2007

En la Figura 5 se puede observar que los principales productos son Columnas, Vigas Principales y Vigas Secundarias pues representan el mayor volumen de ventas, además se mostraron estos resultados al jefe de producción, el mismo que coincidió con los resultados obtenidos. El ingeniero Ospina, dueño de la empresa, informó que a pesar de que los datos analizados responden a cuatro meses del año 2007 representan la tendencia de ventas de la empresa en años anteriores. Por esta razón se decidió utilizar únicamente estos productos para todos los futuros análisis. En el Anexo 2 se presentan figuras similares con información del volumen de ventas por mes, las mismas que son útiles para corroborar esta información.

1.3.1 Clasificación de productos según sus especificaciones y selección de los más importantes para su análisis

Con ayuda del punto 1.3 se observa que los productos que tienen mayor volumen de ventas y por lo tanto afectan de mayor manera el desempeño y rentabilidad de la empresa son las columnas y vigas tanto principales como secundarias.

Para motivos de análisis a estos productos se los clasificará según su espesor, seleccionando el espesor que se fabrica con mayor frecuencia. Estos datos son obtenidos haciendo un cruce de información según el criterio del jefe de producción, ingenieros de proyectos y obreros.

A continuación se presenta una Tabla con información del espesor más significativo para cada producto.

PRODUCTO	ESPESOR (mm)
Columnas	6
Vigas	4
Patines	8

Tabla 1: Espesores significativos

A continuación en la Figura 6 y 7 se presentan los gráficos del diseño correspondientes a una columna y viga que se fabrican en la empresa. Estos gráficos ayudan a tener mayor claridad de los componentes de las estructuras metálicas.

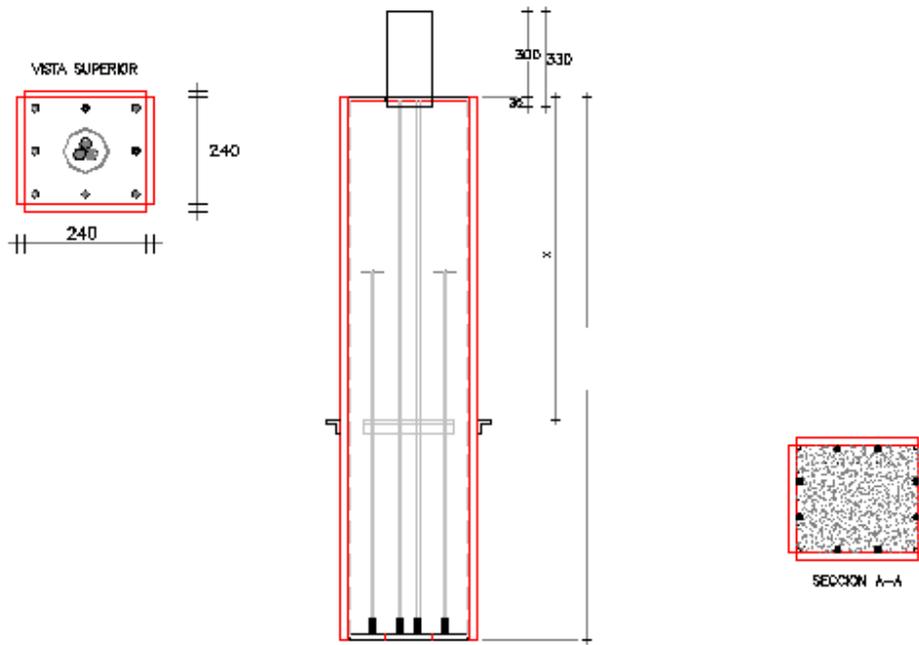


Figura 6: Columna

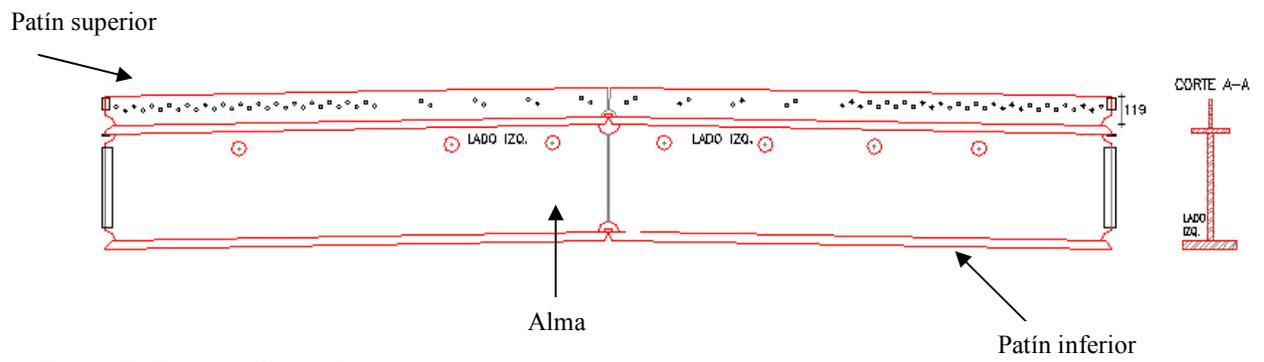


Figura 7: Viga con Contrafecha

Capítulo 2

2.1 Marco Teórico de los modelos de producción a los que se podría ajustar la planta de producción.

A continuación se presentan modelos de producción cada uno con sus características. El objetivo es ver a cual de estos se ajusta el sistema de producción de la empresa.

2.1.1 Disposiciones físicas por Procesos

Las disposiciones físicas por procesos, funcionales o tipo taller de tareas como a veces se conocen, son las que están diseñadas para fabricar diversos tipos de productos y pasos en el proceso. Es común que en este tipo de instalaciones de manufactura se fabriquen productos sobre pedido en lotes relativamente pequeños.

Generalmente se usan máquinas de uso general, las mismas que se pueden cambiar con rapidez a nuevas operaciones con diferentes diseños de productos. Por lo general estas máquinas se organizan según el tipo de proceso que ejecutan. Por ejemplo todo el maquinado se realizaría en un solo departamento, todo el ensamble en otro y toda la pintura en otro más. Los trabajadores deben estar preparados para cambiar y adaptarse con rapidez a una diversidad de operaciones y tareas a realizarse en la producción.

El nivel de capacitación que estos trabajadores deben tener es alto y se requiere dar gran cantidad de instrucciones de trabajo con constante supervisión técnica. Además en este tipo de disposiciones físicas se requiere planeación, programación y funciones de control continuas para asegurar una cantidad óptima de trabajo en cada departamento y en cada estación de trabajo. Los

productos se quedan en el sistema de producción durante períodos relativamente largos y en general hay grandes inventarios de proceso presentes³.

2.1.2 Disposiciones físicas por Productos

Las disposiciones físicas por productos están diseñadas para fabricar pocos diseños de productos. Estos diseños permiten un flujo directo de materiales a través de la instalación para los diferentes procesos involucrados en la producción. Por lo general se utilizan máquinas especializadas, que se ajustan una sola vez, para efectuar una operación específica sobre un producto durante un largo período. El ajustar nuevamente las máquinas para al realizar un cambio de diseño de producto implica largas pérdidas de tiempo y costos elevados. Generalmente las máquinas se organizan en departamentos de producto, dentro de cada departamento se pueden realizar varios procesos, como conformado, maquinado y ensamble.

Las actividades que los obreros deben realizar son repetitivas y limitadas pues en general se trabaja sobre sólo unos cuantos diseños de productos. Por esta razón, el nivel de capacitación y habilidades es reducido, al igual que la supervisión que se necesita. Aunque las actividades de programación y planeación asociadas con estas disposiciones físicas son complejas, no son permanentes: más bien, la planeación y programación tiende a efectuarse intermitentemente conforme ocurren cambios de productos⁴.

2.1.3 Disposiciones físicas para la manufactura celular

La manufactura en celdas o celular (MC), se caracteriza porque las máquinas se agrupan en celdas, que funcionan de manera similar a una isla con disposición física por producto, dentro de una disposición física tipo taller de tareas o para procesos más amplia. Cada celda en una

³ Gaither Norman y Frazier Greg, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) 270.

⁴ --- . Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) 270.

disposición física MC, está formada con el fin de producir una única familia de componentes: unas cuantas piezas, todas ellas con características comunes, lo que generalmente implica que requieren de las mismas máquinas y los mismos o similares ajustes de máquinas.

La disposición física de una celda puede tomar muchas formas diferentes, sin embargo el flujo de componentes tiende a ser más parecido al de una disposición física por producto que al de una tipo taller de tareas⁵.

2.2 Descripción del modelo de producción de la empresa

En función del marco teórico presentado en el punto 2.1 se determina que el modelo de producción que se ajusta de mejor manera a la forma de trabajar en Ospining es disposiciones físicas por procesos (disposiciones físicas funcionales o tipo taller de tareas), pues son diversos los diseños de productos que se fabrican, además estos se producen bajo pedido y en lotes pequeños. Las máquinas utilizadas se pueden cambiar con rapidez según las especificaciones de cada producto (largo, ancho, espesor y accesorios). El entrenamiento de los trabajadores permite que se adapten fácilmente al cambio de tareas y a la diversidad de operaciones que se realizan. La capacitación depende del tipo de tarea que realicen, soldadura requiere un alto nivel de capacitación para lo cual el operador debe tener una certificación de la AWS (American Welding Society) para ser contratado. Si son actividades manuales en las que lo más importante es el esfuerzo físico el nivel de preparación y supervisión que se requiere es menor.

Este tipo de modelo de producción requiere planeación, programación y funciones de control continuas para asegurar una cantidad óptima de trabajo en cada departamento y en cada estación de trabajo, sin embargo esta es una de las falencias críticas en la empresa.

⁵ Gaither Norman y Frazier Greg, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) 270.

Capítulo 3

3.1 Marco Teórico de los modelos de distribución de plantas

La planificación del modelo de distribución física de instalaciones implica en el caso de manufactura, planear la ubicación de máquinas, estaciones de trabajo de los empleados, áreas de almacenamiento fijo y temporal de materiales, pasillos, servicios sanitarios, comedores, bebederos, paredes internas, patrones de flujo de materiales y personas alrededor; y para servicios se incluye áreas de servicio de los clientes, oficinas, salas de computadoras, etc.

La óptima planificación de los aspectos mencionados anteriormente ayudarán a la empresa a cumplir sus prioridades competitivas, tales como: bajos costos de producción, entregas rápidas y a tiempo, productos y servicios de alta calidad y flexibilidad en el producto y en los volúmenes.

Los objetivos que la empresa Ospining busca cumplir con la correcta distribución de sus instalaciones son:

1. Proporcionar suficiente capacidad de producción.
2. Reducir los costos de manejo de materiales.
3. Ceñirse a las restricciones existentes del sitio y de los edificios.
4. Permitir el uso y productividad elevados de mano de obra, máquinas y espacios.
5. Permitir facilidad en la supervisión.
6. Lograr los objetivos con una mínima inversión en capital.⁶

Además la distribución física propuesta en la empresa busca cumplir con los principios de manejo de materiales, que son:

⁶ Gaither Norman y Frazier Greg, *Administración de Producción y Operaciones*, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) 268:269.

1. Los materiales deben pasar a través de la instalación en patrones de flujo directos, minimizando los zigzag o los regresos.
2. Los procesos de producción relacionados deben organizarse para conseguir flujos directos de los materiales.
3. Los materiales pesados o voluminosos deben moverse la menor distancia posible, por medio de procesos de ubicación que permitan que se utilicen cerca de las áreas de recepción y embarque.
4. Debe minimizarse la cantidad de veces que tenga que moverse un material⁷.

3.1.1 Procedimiento General del SLP (Planeación Sistemática para Distribución Física)

Para determinar la distribución física óptima en la empresa se utilizará el procedimiento general SLP, cuyo marco teórico se describe a continuación en la Figura 8:

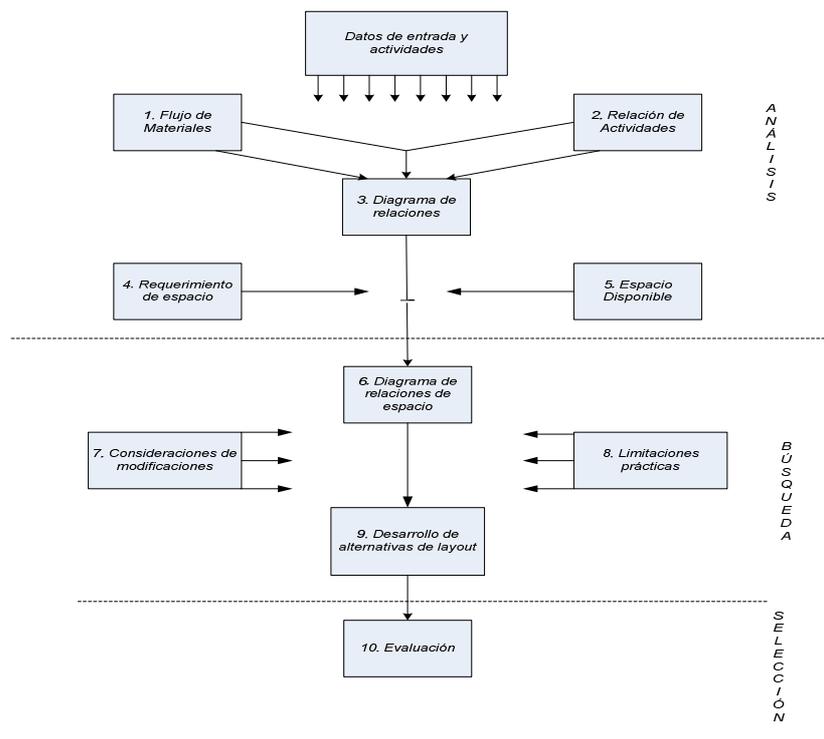


Figura 8: Proceso de Planteamiento SLP

⁷Gaither Norman y Frazier Greg, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) 268:269.

⁸ “Planeación Sistemática de Layout (SLP) ”, 23 de Marzo 2007 <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/rodriguez_1_mm/capitulo3.pdf>.

Este procedimiento se divide en tres etapas: análisis, búsqueda y selección.

- **Análisis**

Se basa en dos elementos fundamentales: El producto a fabricar y la cantidad de productos a fabricar.

Basándose en los datos anteriores se realiza una clasificación de los distintos productos, considerando las cantidades producidas de cada clase de producto para obtener un gráfico de Producto versus Cantidades conocido como *gráfico P-Q*.

A continuación se debe realizar un análisis, el mismo que es uno de los más significativos conocido como *Recorrido de los Productos*, pues permite visualizar los desplazamientos de los productos dentro de los sectores involucrados. Se utilizan diagramas de flujos del proceso en donde se especifica la ruta del material a lo largo del proceso y un diagrama desde-hasta para saber la distancia entre sectores.

El siguiente procedimiento a realizar es *relacionar entre sí las actividades* e integrar los servicios auxiliares al recorrido de los productos, para lo cual será necesario realizar una Tabla de Relaciones. El objetivo de realizar esta Tabla es medir la importancia de proximidad entre departamentos o procesos, para elaborarla se debe llevar a cabo los siguientes pasos:

- Hacer una lista de todos los departamentos.
- Preguntar a los responsables de cada departamento la importancia de relación entre éstos.
- Definir un criterio para asignar la importancia de proximidad entre departamentos.
- Establecer el valor de la relación y la justificación para su asignación. El valor de la relación se expresa generalmente de la siguiente manera:

A: Absolutamente necesario

E: Especialmente necesario

I: Importante

O: Proximidad Ordinaria

U: No importante

X: No deseable

- Discutir posibles cambios en la Tabla.

En la Tabla de Relaciones se puede ver cuales departamentos deben estar juntos para que el manejo de materiales sea eficiente y cuáles no deberían estarlo por ejemplo debidos a temas de seguridad.

Los dos análisis descritos anteriormente se combinan en un *Diagrama Relacional de Recorridos y/o Actividades*, en el cual las distintas actividades, servicios y zonas se orientan geográficamente los unos respecto a los otros, sin tener en cuenta el espacio que cada uno realmente requiere. Adicionalmente, este diagrama muestra si existe flujo de materiales entre los departamentos y la relación entre los mismos.

A continuación se consideran las *necesidades de espacio* a partir del análisis de las máquinas y de los equipos necesarios para la fabricación de los productos y de las actividades auxiliares, comparando con el espacio total disponible⁹.

- **Búsqueda**

El objetivo de esta etapa es desarrollar algunas alternativas de layout tomando en cuenta restricciones y modificaciones.

Se fija sobre el Diagrama Relacional de Actividades el sector destinado a cada actividad, con lo cual se construye el *Diagrama Relacional de Espacios*. Este diagrama es un primer planteamiento del layout sin embargo, no es un planteamiento definitivo puesto que habrá que

⁹ Muther, Richard. Planificación y proyección de la empresa Industrial Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1968

adaptarlo al incluir los factores que puedan modificarlo, estos factores pueden ser: sistemas de mantenimiento, prácticas operativas, consideraciones de seguridad, etc. A medida que estos factores son introducidos en el planteamiento será necesario ir confrontando las ideas con las limitaciones prácticas, que pueden ser de espacio si la planta ya está construida, recursos entre otras.

Aquellas ideas que tengan valor práctico se las tendrá en cuenta mientras que las otras deberán ser descartadas para finalmente obtener uno, dos o tres planteamiento de layout que sean viables¹⁰.

- **Selección**

Por último, se deberá escoger uno de los planteamientos para lo cual se realizará un análisis de criterios de adyacencia entre departamentos, forma de los departamentos, el costo de manejo de materiales, entre otros.

a. *Adyacencia entre departamentos:* Se revisa el diagrama de relación de actividades, para verificar si la propuesta cumple el tipo de adyacencia deseada entre departamentos, si la cumple se asigna un valor en la propuesta. Luego de verificarse la adyacencia entre todos los departamentos se suma el puntaje y se asigna la mejor calificación a la propuesta de mayor puntaje.

b. *Forma de los departamentos:* Para este análisis se debe calcular el área y el perímetro de cada departamento, y con estos datos se aplica la fórmula del coeficiente de forma del departamento:

$$F = \frac{P}{4\sqrt{A}} \quad (3.1)$$

¹⁰ Muther Richard, Planificación y proyección de la empresa Industrial (Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1968).

Donde:

F= Coeficiente de forma

P = Perímetro

A= Área

La forma de los departamentos determina una mejor funcionalidad de los mismos. La forma perfecta de un departamento es aquella que más se asemeje a un cuadrado perfecto, o si es un rectángulo que este no sea delgado.

Si $1 \leq F \leq 1.4$, la forma del departamento es aceptable¹¹.

3.2 Distribución actual de la planta

No se planificó desde un inicio el crecimiento de la empresa sino que los cambios y adecuaciones se fueron haciendo en función de las nuevas necesidades por esta razón la ubicación de cada sector no es el mejor. En la Figura 9 se observan todos los sectores involucrados en el proceso de producción tanto de vigas como de columnas. También se nota que se utiliza al 100% el espacio físico disponible, pero no de la mejor manera.

El tiempo utilizado para transportar producto en proceso desde corte hasta armado en la línea de producción de vigas es alto por la ubicación de la maquinaria. Algunas máquinas son muy pesadas y tienen instalaciones difíciles de cambiar de posición. El excesivo peso de las estructuras dificulta el transporte y obliga a máquinas a estar juntas, por esta razón algunas estaciones de trabajo necesariamente serán continuas.

¹¹ Muther Richard, Planificación y proyección de la empresa Industrial (Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1968).

Figura 9: Distribución Actual de la empresa

3.3 Mejor Modelo de distribución

Para determinar el mejor modelo de distribución se sigue la metodología SLP planteada en el punto 3.1.

El primer paso de este procedimiento es realizar el análisis para lo cual se utiliza un gráfico de productos vs. Cantidades (P-Q) que se presenta en la Figura 10, para determinar los productos más representativos para la empresa.

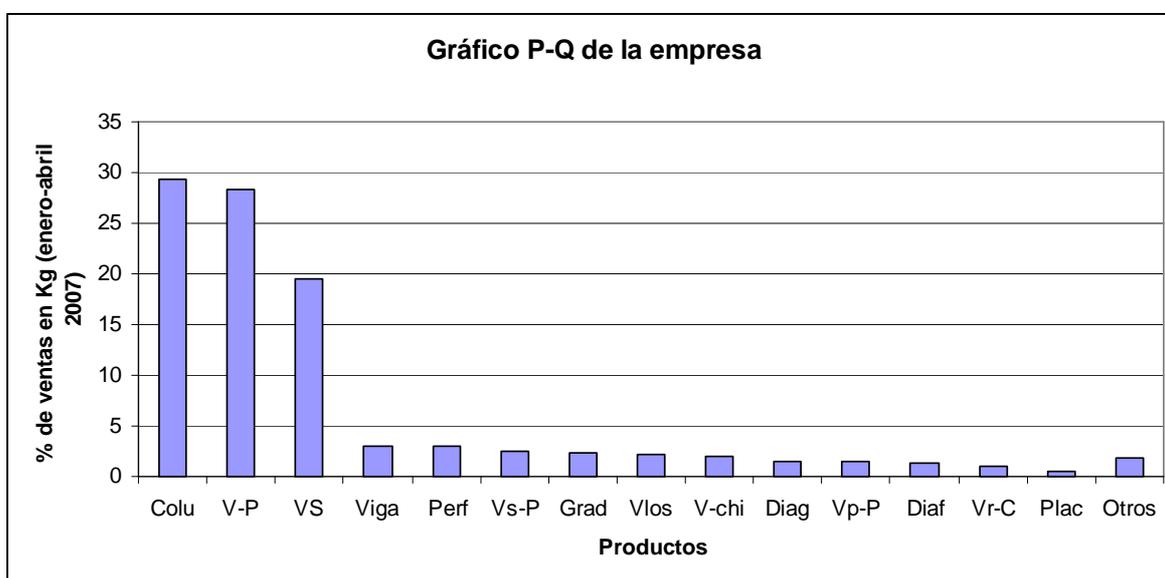


Figura 10: Gráfico P-Q de la empresa

Los productos producidos en mayor volumen son: columnas, vigas principales y vigas secundarias. Los procedimientos siguientes y su análisis estarán basados en estos resultados.

El siguiente paso es realizar un análisis del recorrido de los productos, tal como se muestra en la Tabla 2.

Sectores Afectados	Productos				
	Columnas Q=432.492,56	Vigas Principales Q=418.353,16		Vigas Secundarias Q=287.075,4	
		Patín	Alma	Patín	Alma
Almacenaje materiales	1	1	1	1	1
Corte longitudinal	2	2		2	
Barolado patín-columna	3	3		3	
Corte transversal	4	4	2	4	2
Troquelado			3		3
Barolado alma			4		4
Armado Previo	5	5		5	
Suelda con puntos	6	6		6	
Soldadura Longitudinal	7	7		7	
Acabados	8	8		8	
Enderezado		9		9	
Contrafecha		10		10	
Pesado	9	11		11	
Pintura	10	12		12	
Almacenaje producto terminado	11	13		13	

Nota: Q= cantidad. Esta multiplicado por un factor X y representa las ventas en Kg de enero-abril 2007

Tabla 2: Diagrama de Recorrido de productos

La cantidad producida Q de kilogramos de columnas de enero a abril del 2007 es Q=432.492,56 kg. Como se puede observar en el diagrama de recorrido se sigue el mismo proceso para fabricar vigas principales como secundarias por lo tanto las cantidades producidas de cada una se las puede sumar. $Q_{\text{total vigas}} = Q_{\text{vigas principales}} + Q_{\text{vigas secundarias}} = 418.353,16 + 287.075,4 = 705.428,56$ kg. A partir de esto se concluye que la distribución física de la planta debe estar ajustada principalmente a facilitar la producción de vigas seguida de la producción de columnas.

La cantidad en kilogramos que pasan por los sectores de producción es la misma desde que inicia la línea de producción hasta el final por lo tanto no es útil hacer un diagrama de relación con kg. desplazados sino con distancias entre estaciones. La matriz presentada a continuación se realiza con ayuda de la Tabla 2, observando que sectores están directamente relacionados.

Sectores Afectados	Corte longitudinal	Barolado patin-columna	Barolado alma	Corte transversal patin-columna	Corte transversal alma	Troquelado	Armado Previo	Suelda con puntos	Soldadura Longitudinal	Acabados	Enderezado	Contraflecha	Pesado
Almacenaje materiales	6 m	x	x	x	9.6 m	x	x	x	x	x	x	x	x
Corte longitudinal	x	7.58 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Barolado patin-columna	x	x	x	6 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Barolado alma	x	x	x	x	x	x	18 m	x	x	x	x	x	x
Corte transversal patin-columna	x	x	x	x	x	x	42.40 m	x	x	x	x	x	x
Corte transversal alma	x	x	x	x	x	1 m	x	x	x	x	x	x	x
Troquelado	x	x	4.74 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Armado Previo	x	x	x	x	x	x	x	16 m	x	x	x	x	x
Suelda con puntos Longitudinal	x	x	x	x	x	x	x	x	28 m	x	x	x	x
Acabados	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.5 m	x	x	x
Enderezado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	8 m	x	x
Contraflecha	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.5 m	5.5 m
Pesado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pintura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Almacenaje producto terminado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 3: Matriz de distancia (desde-hasta) entre sectores

El siguiente paso a realizar es el Diagrama Relacional que permite apreciar las relaciones entre los departamentos de la empresa y medir la importancia de la cercanía entre sectores. Para esto es necesario crear una Tabla con la respectiva calificación de las relaciones, la misma que se presenta a continuación en la Tabla 4:

CALIFICACIÓN	PROXIMIDAD	LÍNEAS DE DIAGRAMA	COLOR
A	Absolutamente importante		ROJO
E	Especialmente importante		AMARILLO
I	Importante		VERDE
O	Ordinaria		AZUL
U	Sin importancia		
X	No recomendada		CAFÉ

Tabla 4: Tabla de Calificación de las Relaciones

Se realiza el diagrama relacional presentado a continuación en la Figura 11 en base a la observación diaria, el criterio de los operadores responsables de cada sector en la planta y la

Tabla 4 para después valorarlo con ayuda del criterio del jefe de producción. En la Figura 11 se consideran únicamente los sectores involucrados en la producción, es decir, las bodegas y oficinas serán tomadas en cuenta únicamente en la distribución de la planta definitiva y factible.

Si se decide construir una nueva planta habrá que considerar el crecimiento promedio del sector de la construcción, el mismo que ha sido 14 % en los últimos 10 años¹².

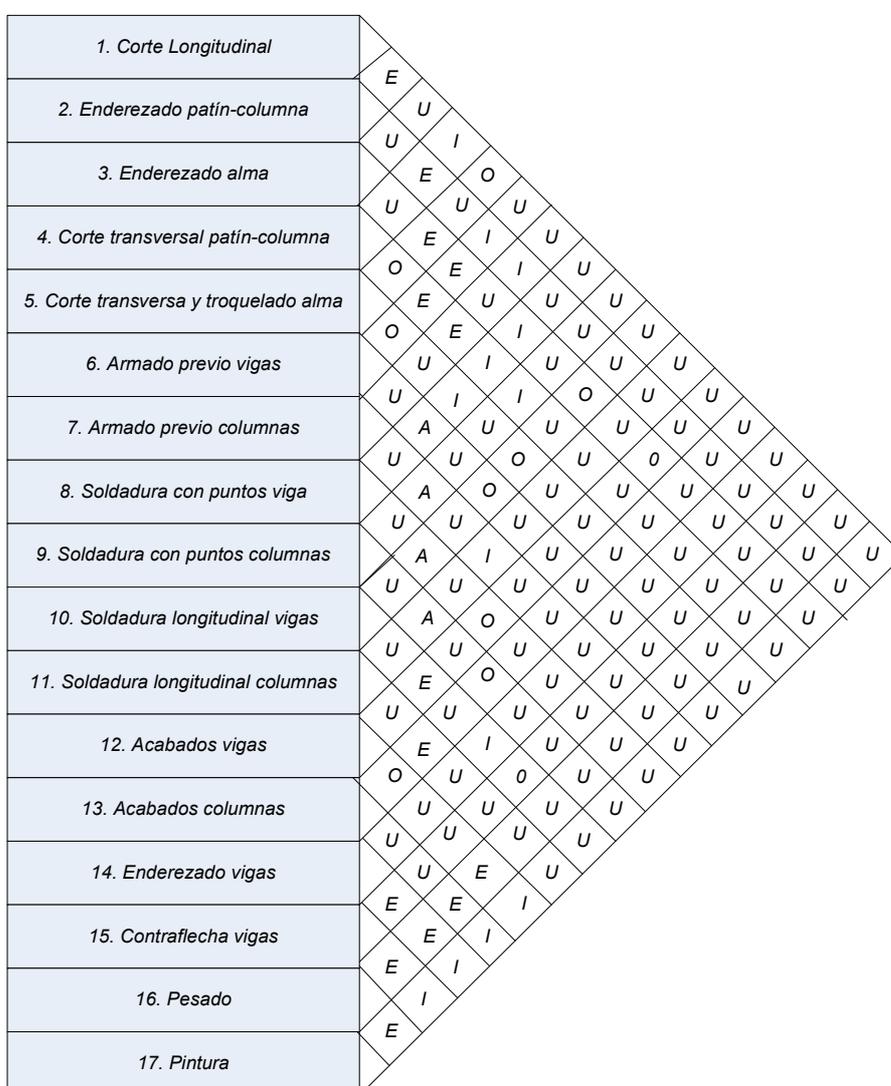


Figura 11: Diagrama Relacional

¹² “Vivienda y Construcción”, 22 de Mayo 2007 <http://www.expreso.ec/especial_economia/construccion.asp>.

Los análisis anteriores permiten realizar el Diagrama Relacional de Recorridos y/o Actividades, Figura 12, en el cual se visualiza geográficamente la relación entre los departamentos de la planta de producción de la empresa. Los números de los círculos corresponden a los sectores descritos en la Figura 11 y se utiliza la nomenclatura de la Tabla 4.

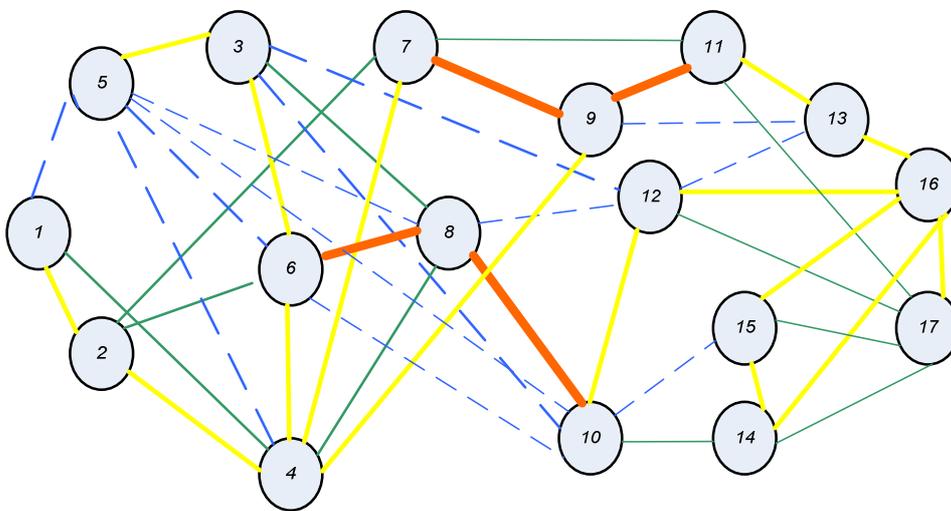


Figura 12: Diagrama Relacional de Recorridos y/o Actividades

Una vez terminado este diagrama hay que realizar uno similar, que incluya las necesidades de espacio. Para realizar este diagrama es necesario determinar las áreas que se requieren en cada sector tomando en cuenta el tamaño de las máquinas y equipos que intervienen en cada operación. También el tipo de productos que se están fabricando (tamaño), las actividades auxiliares involucradas en el proceso, tipo y tamaño de maquinaria que se utiliza para transportar el producto en proceso de un sector a otro y tamaño de pasillos. Además es importante dejar suficiente espacio para que el trabajador pueda moverse con comodidad mientras realiza su tarea. La suma total de estas áreas no deberá exceder la capacidad física actual de la planta para el

área de producción. En este caso el área total es de 1650m² (forma rectangular de 66m de largo por 25m de ancho).

Los pasillos principales deberán ser anchos, por lo general de 3m a 3,6m y los pasillos secundarios angostos desde 60cm hasta 2,7m.¹³ Aunque en general el ancho de los mismos será proporcional al número de personas que los transiten y se ajustarán a las necesidades de los trabajos. En ningún caso se deberán emplear como zonas de almacenamiento, pues los obstáculos en la circulación son fuentes potenciales para accidentes tanto del producto como para las personas y los equipos que se necesite mover por dichos sitios¹⁴.

En general se recomienda que los sectores tengan una forma cuadrada, una estación de trabajo mínima deberá ser de 4,5m².¹⁵

En la empresa lo mejor es que las estaciones de trabajo adopten formas rectangulares, pues las estructuras (vigas y columnas) son alargadas y si su forma fuera cuadrada sólo se estaría desperdiciando espacio. En los sectores continuos se necesita tener mesas de espera previas a la siguiente estación, este es el caso de sectores como prensa de vigas, soldadura continua de vigas y columnas y acabados de columnas. Estas mesas también deberán ser alargadas pues están formadas de rodillos que se utilizan también para transportar vigas y columnas.

La principal forma de transporte utilizada es la grúa de puente en alto. Esta va montada sobre un par de vías, y proporciona una cobertura de movimiento tridimensional pues puede desplazarse arriba, abajo, lateralmente y a lo largo. Sin embargo como va montada en alto no ocupa espacio en la distribución física de la planta.

¹³ Sule Dileep, Instalaciones de manufactura, ubicación, planeación y diseño, 2 da ed. (México Ed. Thomson, 2001) 388 – 389.

¹⁴“Layout”, 22 de mayo 2007 <<http://www.galeon.com/guadalupeleonardo/aficiones759419.html>>.

¹⁵ --- . Instalaciones de manufactura, ubicación, planeación y diseño, 2 da ed. (México Ed. Thomson, 2001) 388 – 389.

Sector	Dimensiones Maquinaria		Área maquinaria (m ²)	Área Pasillos (m ²)	Área total (m ²)
	Largo (m)	Ancho (m)			
Corte longitudinal	6	3,7	22,2	14,04	36,24
Enderezado patín-columna	6	3	18	30,6	48,6
Enderezado alma	5	1,3	6,5	9,12	15,62
Corte transversal patín-columna	13,6	3	40,8	22,32	63,12
Corte transversal alma	14	1,73	24,22	32,8	57,02
Troquelado alma	0,78	1	0,78	2,136	2,916
Armado previo viga	6	1,2	7,2	14	21,2
Armado previo columna	6	2	12	15	27
MESA Previa a soldadura con puntos viga (prensa)	7	1,2	8,4	20	28,4
Soldadura con puntos viga (prensa)	7	1,2	8,4	22	30,4
MESA Previa a soldadura con puntos columna (prensa)	6	2	12	21	33
Soldadura con puntos columna (prensa)	7	2	14	23	37
MESA Previa a soldadura longitudinal vigas	7	1,2	8,4	22	30,4
Soldadura longitudinal vigas	12	3	36	21	57
Soldadura longitudinal columnas	21	2,5	52,5	28	80,5
Acabados vigas	6	3	18	18	36
Acabados columnas	7	3	21	20	41
Enderezado vigas	3,1	1,3	4,03	31,4	35,43
Contraflecha vigas	4	1,3	5,2	27,3	32,5
Pesado	2,5	3	7,5	30	37,5
Pintura	12	7,3	87,6	30	117,6
Pasillo Principal	3	66		198	198

Tabla 5: Área de los sectores de producción de la empresa

En la Tabla 5 se presentan los requerimientos de espacio. El área total requerida en cada sector esta dividida en dos; área de maquinaria (estas medidas corresponden a las dimensiones reales de las máquinas en la empresa actualmente), y área de pasillos (esta es proporcional al área de la máquina, se calcula con ayuda de los estándares descritos previamente y considerando la libertad de movimiento que requiere el operador según el tipo

de tarea que desempeña). Para análisis posteriores tres mesas de trabajo se considerarán como estaciones de trabajo independientes pues se las puede mover o eliminar a conveniencia dependiendo de la distribución física de la planta propuesta.

Después que se tienen definidas claramente las necesidades de espacios, se continúa a la siguiente etapa del método SLP, que es búsqueda. Para esto se realiza el diagrama relacional de espacios presentado a continuación en la Figura 13:

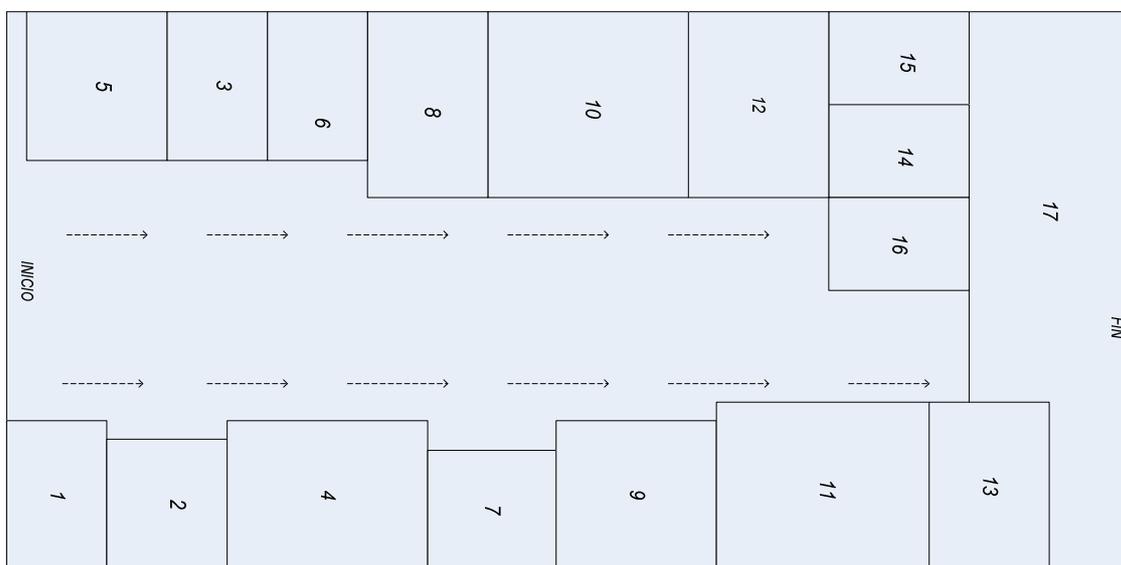


Figura 13: Diagrama Relacional de Espacios

En la Figura 13 se ubican los sectores de la planta de producción de la empresa que deben estar juntos para facilitar el flujo de materiales entre ellos, este gráfico se lo lleva a cabo en base a los resultados obtenidos en las Figuras 11 y 12.

Terminado este diagrama se desarrollan dos posibles alternativas finales de distribución física de la planta, incluyendo en las mismas factores que puedan modificar el diagrama relacional de espacios anterior, como son: espacio si la planta ya está construida, sistemas de mantenimiento, prácticas operativas, consideraciones de seguridad, recursos, etc. Para el caso específico de la empresa, la principal limitación es el espacio, pues la planta ya está construida y

al momento se está utilizando toda el área disponible en el galpón. También el tamaño y peso de máquinas como por ejemplo, la cizalla y la máquina carrusel dificultan su reubicación. Se tiene que compartir el mismo espacio tanto para la entrada de material como para la salida de producto terminado por esta razón la planta tendrá un flujo en forma de U.

Para todos los análisis posteriores se consideró únicamente los sectores por los que pasa el producto desde que entra a la línea de producción hasta que sale como producto terminado. Para generar estas dos alternativas se incluirán otros sectores involucrados en el proceso como son: sector de almacenamiento de materia prima, bodega, oficinas, servicios sanitarios y vestidores. Por lo tanto es necesario incluir el área de estos sectores:

- Sector de almacenamiento de materia prima (120 m²)

En la actualidad este sector está ubicado en la parte interior del galpón antes del área de corte longitudinal, con esta reubicación la mayor parte de materia prima se almacenará en el exterior dejando sólo un pequeño espacio en el interior que servirá para almacenar las planchas que se cortarán ese día. El objetivo de esto es utilizar este espacio para reubicar los sectores siguientes.

- Bodega (57 m²)

No existe una bodega de producto terminado. En general una vez que se termina el lote de producción este es enviado directamente a la obra. En caso de que no se pueda hacer una entrega directa el producto terminado es almacenado temporalmente en la parte exterior del galpón, pues los cambios climáticos no afectan la calidad del producto final.

La bodega que se menciona es donde se almacenan los suministros, como por ejemplo: equipo de seguridad y protección, repuestos, escuadras, reglas y electrodos.

- Oficinas (51 m²)

Junto al galpón se ubican las oficinas del jefe de producción, ayudante, encargado de compras y secretaria. El jefe de producción controla continuamente el avance de la producción y soluciona los inconvenientes que se les presenta a los obreros, por esta razón estas oficinas necesariamente están cerca de la línea de producción.

En general las oficinas para mando medio serán de 7,5 m² a 14 m², si es para una oficinista es de 4 m² a 4,5 m².¹⁶

- Servicios sanitarios (18 m²)

Se deberá separar los servicios sanitarios por género. Estos deberán tener directa ventilación. El número de inodoros depende de la jornada de trabajo, se recomienda un inodoro por cada 25 hombres o cada 20 mujeres, un orinal por 30 hombres y un lavamanos por cada 15 personas¹⁷. Los baños y bebederos deben estar a 18m de distancia de cualquier persona que trabaje en la planta¹⁸.

- Vestidores (36 m²)

Debido a que el personal debe usar ropa de trabajo diferente a la que emplea fuera de la planta y equipo de protección personal es importante tener vestidores, además se debe incluir un casillero por cada operario, donde pueda guardar sus objetos personales, para evitar que estos sean depositados en sitios de producción¹⁹. A continuación se presentan las alternativas A (Figura 14) y B (Figura 15) de distribución de la planta de producción de la empresa.

¹⁶ Sule Dileep, Instalaciones de manufactura, ubicación, planeación y diseño, 2 da ed. (México Ed. Thomson, 2001) 388 – 389.

¹⁷ Tompkins, White, Bozer y Tanchoco, (2006). Planeación de Instalaciones, 3ra ed. Thomson.

¹⁸ ---. Planeación de Instalaciones, 3ra ed. (México Ed. Thomson).

¹⁹ ---. Planeación de Instalaciones, 3ra ed. (México Ed. Thomson).

Figura 14: Alternativa A

La primera alternativa (Alternativa A) que se propone no mantiene la ubicación de los sectores de producción en el mismo lugar que los establecidos en el diagrama relacional de espacios, sin embargo, se conserva la cercanía entre sectores para que el manejo y flujo de materiales sea el mejor. Como se mencionó en párrafos anteriores el sector de almacenamiento de materia prima se redujo con respecto al espacio actual, esto se lo hizo con el propósito de almacenar el material que se utilizará en el transcurso del día únicamente. El resto del material que se utilizará para días posteriores se almacenará en la parte de afuera de la planta de producción ya que las planchas de acero no sufren daños al estar al aire libre. Esta propuesta consta de un pasillo central de 3 m de ancho el cual se extiende a lo largo de todo el galpón, el mismo que será utilizado para circular y no para almacenar material en proceso como se lo hace actualmente.

El espacio para circulación del operador alrededor de la máquina en los sectores de la empresa está entre 50 o 60 cm., dependiendo de la tarea que se deba realizar. Al recortar el área de almacenamiento los sectores se mueven proporcionalmente hacia la entrada de la planta, lo cual permite ubicar en la parte izquierda de esta todos los sectores que intervienen hasta el armado previo de vigas y columnas. Adicionalmente, en esta sección del galpón se ubicarán después de las máquinas de corte transversal y de enderezado de almas dos estanterías: una para partes de columnas, otra para almas y patines (vigas). Esto se lo hará con el objetivo de almacenar ordenadamente los flejes que se necesitan para armar las distintas vigas y columnas, de esta forma se disminuirá el tiempo de búsqueda de cada parte. En la actualidad las partes no se encuentran almacenadas de acuerdo a la orden de producción para armar la viga o columna que se requiere, razón por la cual los operadores tienen que buscar las distintas partes en el suelo. En la sección derecha de la planta se ubicarán los sectores de

terminado de vigas y columnas, empezado las líneas de producción en la parte final del galpón y terminando en el sector de pintura ubicado junto a la puerta de entrada y salida del producto final, esta es una modificación de la distribución actual especialmente para la línea de producción de vigas. Para lograr estos cambios es necesario prescindir de la máquina carrusel, puesto que con la configuración que se propone, no se requeriría y su espacio sería ocupado por otras máquinas. Además esta máquina tiene algunos problemas técnicos, razón por la cual la máquina pasa parada la mayor parte del tiempo.

La implementación de esta nueva distribución de la planta de producción de la empresa, permitiría que el flujo de materiales entre estaciones mejore, ya que las máquinas de cada línea adoptarían una configuración en forma de U, con lo cual el tiempo de transporte de una estación a otra se reduciría con respecto al actual.

Los medios de transporte que se utilizarían entre sectores serían los mismos que se utilizan actualmente como son: puente grúa, mesas con rodillos y canastillas. Un plano de la alternativa descrita se presenta en la Figura 14, las áreas administrativas, bodega, vestidores y baños se conservan con las dimensiones actuales.

Figura 15: Alternativa B

Al igual que la Alternativa A, la segunda opción (Alternativa B) surge de modificaciones realizadas al diagrama relacional de espacios, sin embargo, los departamentos que tienen una alta calificación en proximidad se mantienen juntos. El pasillo principal y el área de circulación alrededor de las máquinas tienen las mismas dimensiones que la alternativa A. El área de almacenamiento también fue reducida en la misma proporción que para la primera alternativa.

La diferencia entre estas alternativas es que para la opción B, las líneas de producción se encuentran separadas, es decir, la sección derecha de la planta está ocupada por la producción de columnas y la sección izquierda de la misma por la producción de vigas. Cada línea tiene una configuración en U respectivamente, estas dos líneas tienen en común el área de pesado y de pintura que se encuentran en la sección derecha de la planta por lo que las columnas terminadas deberán ser transportadas hacia esos sectores. Esto presentaría una dificultad, puesto que el peso de cada estructura es considerable y lo deberían realizar con ayuda de los puentes grúa. Esto sería algo dificultoso, puesto que los puentes se desplazan únicamente hasta el pasillo principal (mitad de la planta) y se necesitaría pasar las columnas de la parte derecha de la nave de producción hacia la izquierda para lo cual se requeriría el uso de ambos puentes.

En esta alternativa se conserva la máquina carrusel la misma que se encuentra ubicada en el mismo lugar actual, la diferencia es que algunas de las máquinas correspondientes al armado y acabado de columnas y vigas fueron reubicadas. Otra máquina que no fue movida es la cizalla, ya que la cercanía entre esta máquina y el corte de almas no es necesaria, debido a que el flujo de material entre estas no es continuo.

Si se observa la parte izquierda de la planta (Figura 15), se puede notar que existe un espacio considerable entre la línea de producción de vigas y la pared, sin embargo, esta línea de producción no puede ser movida hacia la pared puesto que eso implicaría la reubicación de la máquina carrusel, lo cual no se quiere hacer en esta alternativa. En ese espacio se reubican los sectores finales como son: remate de vigas, contraflecha y enderezado de vigas, ya que no pueden conservarse en el lugar actual puesto que el espacio físico de la planta no lo permite. Las áreas administrativas, bodegas, servicios sanitarios y vestidores son de las mismas dimensiones que los actuales.

Se concluye el procedimiento SLP con la selección de la mejor alternativa. El criterio que se utiliza para escoger la opción final es un análisis de carga-distancia, consiste en determinar cuál alternativa tiene el mínimo recorrido de materiales o productos por periodo. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Determinar la distancia entre departamentos.
2. Calcular el recorrido total de cada producto a través de cada alternativa de distribución de la planta.
3. Calcular la distancia total recorrida en un periodo de tiempo para cada producto en cada alternativa.
4. Escoger la disposición física que de como resultado la menor distancia total recorrida por los productos a través de la instalación. ²⁰

²⁰ Gaither Norman y Frazier Greg, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (México: Ed. Thomson, 2000) .

- **Paso 1:** Calcular la distancia entre departamentos

En la Tabla 6 se presenta la distancia total entre sectores consecutivos, tanto de la alternativa A como de la B.

Combinación de movimientos de departamentos	Distancia entre departamentos (m)	
	Disposición física A	Disposición física B
1 - 2	6	6
2 - 4	12	12
3 - 6	16	5
4 - 7	22	22
4 - 9	44	28
5 - 3	10	10
6 - 4	22	18
6 - 8	16	11
7 - 9	28	12
8 - 10	16	36
9 - 11	10	10
10 - 12	10	16
11 - 13	20	20
12 - 16	20	32
12 - 15	11	9
13 - 16	28	27
14 - 15	8	9
14 - 16	7	15
15 - 16	14	23
16 - 17	6	6

Tabla 6: Distancia entre departamentos

- **Paso 2:** Determinar la secuencia por departamento y la cantidad mensual que se procesa de cada producto.

En la Tabla 7 se establece la secuencia entre los departamentos involucrados en la producción de vigas y columnas para obtener la cantidad de estructuras que se procesa mensualmente en la empresa.

Producto	Secuencia de proceso por departamento	Cantidad de productos procesados mensualmente (kg)
Columnas	1-2-4-7-9-11-13-16-17	72.000
Vigas	5-3-6-8-10-12-14-15-16-17	96.000

Tabla 7 : Secuencia y cantidad de proceso por departamento

- **Paso 3:** Calcular la distancia total que recorre cada producto

En la Tabla 8 se calcula la distancia total que recorre cada producto (vigas, columnas) al pasar de un sector a otro tanto en la configuración A como la B de la planta de producción.

Producto	Secuencia de proceso por departamento	Distancia por producto (m)	
		Disposición física A	Disposición física B
Columnas	1-2-4-7-9-11-13-16-17	$6 + 12 + 22 + 28 + 10 + 20 + 28 + 6 = 132$	$6 + 12 + 22 + 12 + 10 + 20 + 27 + 6 = 115$
Vigas	5-3-6-8-10-12-15-14-16-17	$10 + 16 + 16 + 16 + 10 + 11 + 8 + 7 + 6 = 100$	$10 + 5 + 11 + 36 + 16 + 9 + 9 + 15 + 6 = 117$

Tabla 8: Distancia de recorrido de cada producto

- **Paso 4:** Finalmente se calcula la distancia total por mes que recorre cada producto en función de todos los pasos anteriores

Como se observa en la Tabla 9 la disposición física A (Alternativa A) da como resultado la menor distancia total recorrida mensualmente por los productos a través de la instalación, por lo tanto es la alternativa seleccionada.

Producto	Cantidad de productos procesados mensualmente (kg)	Distancia por producto (m)		Distancia por mes (m)	
		Disposición física A	Disposición física B	Disposición física A	Disposición física B
Columnas	72.000	132	115	9.504.000	8.280.000
Vigas	96.000	100	117	9.600.000	11.232.000
		Total		19.104.000	19.512.000

Tabla 9: Análisis Carga-Distancia

A continuación también se realiza un análisis de Costos para cada alternativa, de esta forma se determinará cuál de las dos opciones (A o B) es más económica de llevar a cabo.

Para realizar el análisis de costos de ambas alternativas primero se consideró el *costo de mano de obra*, en el que se incluye el costo de modificar las instalaciones o implementar una nueva de ser necesario, el costo de transportar cada máquina o mesa de espera a la nueva ubicación tomando en cuenta la distancia que se va a mover, el tiempo que se va a demorar en función del peso de la estructura y el número de trabajadores que se requieren. En la empresa se les paga a los obreros 3 \$/hora trabajada. El puente grúa se puede utilizar para mover estructuras con un peso hasta de dos toneladas.

El siguiente factor a considerar es el costo por *parar la producción mientras se mueven las máquinas y/o mesa*. Para calcular este costo se utilizó la información de ventas mensuales en kg. tanto de vigas como de columnas transformada en kg. que se dejan de producir por hora, esto multiplicado por el tiempo que toma mover la estructura y la ganancia por kg. A continuación se detalla un ejemplo del cálculo:

Al día se produce un promedio de 3000 kg de columnas / 12 horas al día = 250 kg/hora.

Al día se produce un promedio de 4000 kg de vigas / 12 horas al día = 333,33 kg/hora.

- Si toma 8 horas mover una máquina que interviene en la producción de *columna* se realiza el siguiente cálculo:

8 horas que no se produce * 250 kg/hora que se podría producir * (1,80 \$/kg. precio de venta al público – 0,90 \$/kg precio de compra) = 1800 \$ que se pierden.

- Si toma 0,25 horas mover una máquina que interviene en la producción de *vigas* se realiza el siguiente cálculo:

0,25 horas que no se produce * 333,33 kg/hora que se podría producir * (1,80 \$/kg. precio de venta al público – 0,90 \$/kg precio de compra) = 75 \$ que se pierden.

El último costo a considerar es el de materiales dependiendo el tipo de obra que se requiere.

El resumen de estos costos se presenta en la Tabla 10 para la alternativa A y en la Tabla 11 para la alternativa B.

Cambios Propuestos para la Alternativa A:	distancia en desplazamientos (m)	COSTOS (\$)			TOTAL (\$)
		mano de obra	dejar de producir mientras se mueven las máquinas y/o mesas	materiales	
1 Mover mesa de corte 2 junto a mesa 1 e instalaciones	15	48	N/A	95	143
2 Desplazar enderezadoras columnas	18	12	450	N/A	462
3 mover mesa de corte transversar e instalaciones	15	60	1.125	200	1.385
4 construcción de estanterías clasificadoras (2 unid.)	N/A	192	N/A	5.200	5.392
5 desplazar mesas de armado de columnas	200	27	675	N/A	702
6 desplazar mesas de armado de vigas	40	27	899,991	N/A	926,99
7 construcción de mesa de espera de (6,5 m) para flejes	N/A	96	N/A	1.400	1.496
8 relleno hueco de instalación máquina carrusel	N/A	96	N/A	300	396
9 desplazamiento de prensa de vigas	6	6	299,997	N/A	306
10 desplazamiento de suelda unión patín-alma	5	96	2.399,98	N/A	2.495,98
11 desplazamiento remate de vigas	8	3	149,99	N/A	152,99
12 desplazamiento balanza	2	3	74,99	N/A	77,99
13 desplazamiento prensa de columnas	6	72	1.350	N/A	1.422
14 desplazamiento arco sumergido	8	60	1.125	N/A	1.185
15 desplazamiento mesas de transporte columnas (3 mesas)	6	12	450	N/A	462
16 desplazamiento remate MIG	6	60	1.125	N/A	1.185
17 incrementar 1 baño y 2 orinales	N/A	20	N/A	130	150
18 incrementar 10 lockers	N/A	N/A	N/A	60	60
					18.399,94

Tabla 10: Análisis Costo Alternativa A

Cambios Propuestos para la Alternativa B:	distancia en desplazamientos (m)	COSTOS (\$)			TOTAL (\$)
		mano de obra	dejar de producir mientras se mueven las máquinas y/o mesas	materiales	
1 Mover mesa de corte 2 junto a mesa 1 e instalaciones	15	48	N/A	95	143
2 Desplazar enderezadoras columnas	18	12	450	N/A	462
3 mover mesa de corte transversar e instalaciones	15	60	1.125	200	1.385
4 construcción de estantería clasificadora (1 unid.)	N/A	96	N/A	2600	2.696
5 desplazar mesas de armado de columnas	200	27	675	N/A	702
6 desplazamiento prensa de columnas	32	72	1.350	N/A	1.422
7 desplazamiento arco sumergido	20	246	1.800	N/A	2.046
8 desplazamiento mesas de transporte columnas (3 mesas)	38	18	675	N/A	693
9 desplazamiento remate MIG	26	296	1.800	N/A	2096
10 desplazamiento mesas de acopio flejes	19	12	599,994	N/A	611,994
11 desplazamiento mesa de preparado vigas	19	12	599,994	N/A	611,994
12 desplazamiento troquel	20	12	599,994	N/A	611,994
13 desplazamiento mesas de espera	21	12	599,994	N/A	611,994
14 desplazamiento enderezadora almas	19	18	899,991	N/A	917,991
15 desplazamiento remate de vigas	8	18	899,991	N/A	917,991
16 desplazamiento contrafecha	2	9	449,995	N/A	458,995
17 desplazamiento enderezada de vigas	4	6	299,997	N/A	305,997
18 desplazamiento balanza	2	3	74,999	N/A	77,999
19 incrementar 1 baño y 2 orinales	N/A	20	N/A	130	150
20 incrementar 10 lockers	N/A	N/A	N/A	60	60
					16.981,95

Tabla 11: Análisis Costo Alternativa B

Para el desarrollo de la Tabla 10 y la Tabla 11 se utilizó la siguiente información proporcionada por el jefe de logística de la empresa:

- Al cambiar la ubicación de la mesa de corte es necesario cambiar la instalación del extractor y por su ubicación realizar un túnel subterráneo.
- Para la fabricación de nuevas mesas de espera es necesario mandar a hacer rodillos, cuyo costo varía entre \$50 y \$75 dependiendo su tamaño. Para los cálculos se utilizó un promedio de \$60 por unidad. Una mesa de 6.5 m lleva un promedio de 20 rodillos de diferentes tamaños. Una persona se demora aproximadamente 2 días en hacer la estructura metálica de la mesa y cada kg. del acero utilizado en las mesas tiene un costo de \$ 0.84 + IVA.
- Hacer un carro de 2 metros de largo que se utiliza para transportar el material tiene un costo de \$ 300.
- Para instalar una máquina de soldadura MIG es necesario llevar cuatro cables al sitio y colocar un braker que resista hasta 50 Amperios. El costo de ese transporte es de \$ 150. En el caso del Plasma se necesita aire y una tubería de cobre. En soldadura MIG se necesita la entrada del gas en tubería de cobre y eso tiene un costo de instalación de \$ 200 ya que se necesita que la soldadura se la realice en plata.
- Construir la máquina carrusel tomó 1.5 meses y se lo realizó en tres etapas, cada etapa con una capacidad de mover 4 vigas. En cada etapa se utilizaron 160 rodillos, 80 grandes, 40 medianos y 40 pequeños dando un total de 480 rodillos utilizados. El peso total de la estructura metálica del puente grúa es de 6000 kg. Y el costo del engranaje de repuesto tiene un costo de \$1700 pues se lo tiene que mandar a hacer bajo pedido.

Si el análisis se lo realiza sólo en función de costo es más económico optar por la alternativa B, sin embargo *la ventaja es mayor si se escoge la alternativa A* pues con esta se evita utilizar un nuevo sistema de transporte de las columnas terminadas hacia el sector de pintura.

Además la alternativa A es ligeramente más costosa que la B pues se propone tener 2 estanterías para organizar el material después de corte tanto de vigas como de columnas de acuerdo a las órdenes de producción, sin embargo el beneficio que se obtiene con esto es mayor ya que mejora la organización del material y reduce tiempos significativos en la producción no sólo de ese sector sino de todos los siguientes.

3.4 Mejor Modelo de Distribución Factible

Para lograr una reducción en el tiempo de manejo de materiales es necesario considerar los cinco puntos siguientes: reducir el tiempo dedicado a recoger el material, usar equipo mecanizado o automático, utilizar mejor las instalaciones de manejo existentes, manejar los materiales con más cuidado y considerar la aplicación de códigos de barras para los inventarios y actividades relacionadas.²¹

En la Figura 16 se presenta un plano con la mejor distribución física final para la empresa en la cual se incluyen los servicios auxiliares y administrativos.

²¹ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 100.

Figura 16: Distribución Física óptima-factible de la empresa

Al comparar la Figura 14 (Mejor Modelo de Distribución Factible) que es la alternativa A escogida después del análisis carga-distancia y evaluación económica con la Figura 9 (Modelo de distribución actual), se observa que la mayoría de máquinas fueron reubicadas para obtener un mejor modelo. Una buena disposición de las máquinas y equipos facilita la producción y las actividades de los trabajadores aislando los lugares de trabajo peligrosos, de modo que no se exponga innecesariamente a otros empleados.²² A pesar del peso de algunas de las máquinas y de las instalaciones de las mismas es más conveniente moverlas que conservarlas en el mismo lugar actual, ya que esto permitirá un mejor flujo de materiales entre estaciones y aumentará la eficiencia de la empresa. Como ya se mencionó anteriormente en la mejor configuración factible, se prescinde del uso de la máquina carrusel ya que, debido a la disposición de las máquinas en la nueva distribución no sería necesario utilizarla, esto ayuda a tener más espacio para la reubicación de los sectores de producción. Las actividades que se llevan a cabo en la máquina carrusel, girar la viga del lado contrario a los puntos de suelda antes de pasar a la soldadura MIG y almacenar temporalmente las vigas, serían realizadas de la siguiente manera: la girada de las estructuras se la llevará a cabo con ayuda del puente grúa y para el almacenamiento temporal se utilizará una mesa con rodillos, la misma que serviría de almacenamiento y transporte.

Uno de los mayores beneficios de esta configuración es la implementación de las estanterías para partes de vigas y columnas, puesto que esto significa un ahorro de tiempo en la búsqueda de las partes, ya que cada parte estaría ordenada y lista para ser armada de acuerdo a la orden de producción. La implementación de estas estanterías significa que se requiere de dos trabajadores que se encarguen de ordenar las partes, pero estos empleados no deberían ser los mismos que arman como es en la actualidad sino más bien se puede utilizar a los empleados que

²² Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 100.

en ese momento no estén trabajando en sus sectores. Llevar a cabo este ordenamiento ayudaría a que el flujo entre estaciones sea más continuo, ya que actualmente el tiempo que los armadores se demoran en buscar las partes implica falta de trabajo para las etapas siguientes.

Al contrario de los sectores de producción, las oficinas, bodega y vestidores conservan la misma área y ubicación en ambos planos de distribución de la planta. Los vestidores y servicios higiénicos fueron cambiados ligeramente, es así como el baño tiene un área mayor en la distribución propuesta que en la actual, esto se hizo con el fin de aumentar y reubicar los orinales de tal manera que se de mayor comodidad a los trabajadores. Para lograr este aumento es necesario recortar el área de cuarto de compresores lo cual no afecta el desempeño de las máquinas que ahí se encuentran. En los vestidores actuales se disponen de lockers pero no en la cantidad suficiente como para que cada trabajador guarde sus pertenencias, además se propone mejorar las mesas que ahí se encuentran ya que aunque no permitiría que todos los trabajadores se sienten durante los descansos o en el almuerzo al menos más de ellos podrían hacer uso de las mismas. Lo ideal es que se disponga de un comedor ya que por motivos de higiene y de seguridad la comida debe ser consumida en lugares específicos, separados de los lugares de trabajo. Los comedores deben tener el tamaño necesario de acuerdo a la cantidad de usuarios, deben estar limpios y contar con lavamanos cercanos.²³ Junto a los vestidores se encuentra un cuarto de duchas las cuales no son usadas por los trabajadores actualmente debido al diseño e higiene que estas tienen, pues no poseen separaciones entre duchas ni cortinas o algún otro dispositivo que las conviertan en privadas. Sería conveniente que se mejoren las duchas tanto en diseño como en el aseo de las mismas para que los empleados puedan usarlas.

²³ Tompkins, White, Bozer y Tanchoco, (2006). Planeación de Instalaciones, 3ra ed. (Ed. Thomson).

Reubicando las máquinas de la empresa como se indica en la Figura 16, se conseguirá un mejor manejo de los materiales a través de los sectores involucrados en la producción de vigas y columnas. El manejo de materiales debe garantizar que las partes, materia prima, los materiales en proceso, los productos terminados y los suministros se muevan regularmente de un lugar a otro. Toda operación requiere materiales y suministros en un tiempo específico, el tener un buen manejo de materiales asegura que ningún proceso de producción o cliente se detenga si un material llega antes o tarde. Otra ventaja, es que los productos y materiales se entreguen a la estación o persona correcta. Además, asegura que los materiales y productos se entreguen sin daños, en la cantidad adecuada y con las especificaciones correctas para evitar reprocesos. Por último, el manejo de materiales debe tomar en cuenta espacios de almacén tanto temporales como permanentes.²⁴

En el caso específico de la empresa la reducción en el tiempo dedicado a recoger material se visualiza al reducir e incluso en algunos sectores eliminar el material regado en el suelo al colocarlo de manera ordenada en las estanterías propuestas lo cual puede significar una reducción sustancial en el tiempo de transporte; despejando los pasillos de materiales en proceso y evitando el levantamiento continuo de partes desde el suelo se podría reducir la fatiga y accidentes de los trabajadores, logrando una fábrica segura la cual sería también más eficiente. Protecciones de seguridad, prácticas operativas seguras, buena iluminación y limpieza adecuada son necesarias para que el manejo de materiales sea seguro.²⁵ En el futuro se debería mecanizar y automatizar el manejo de materiales de las actividades manuales que sean factibles ya que esto reduciría costos de mano de obra, mejoraría la seguridad, aliviaría la fatiga y aumentaría la producción;

²⁴ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 100.

²⁵ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 100.

actualmente la mayoría de las actividades que se realizan son manuales y requieren de grandes esfuerzos físicos por parte de los trabajadores para movilizar las estructuras de acero de una máquina a otra incrementado la fatiga y disminuyendo el rendimiento durante el transcurso del día.

Capítulo 4

4.1 Marco teórico de Estudios de Tiempos

El estudio de tiempos es un método que permite determinar “un día de trabajo justo”. Un día de trabajo justo según Niebel es: “la cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando trabaja a paso normal y usando de manera efectiva su tiempo si el trabajo no está restringido por limitaciones del proceso”.²⁶ Un empleado calificado es aquel que representa al promedio de los empleados que están totalmente capacitados y pueden realizar de manera satisfactoria cualquiera o todas las etapas involucradas en el trabajo cumpliendo los requerimientos del mismo. Además, es necesario describir lo que significa a paso normal. Paso normal es: “la tasa efectiva de desempeño de un empleado calificado, consciente, a su paso, cuando trabaja ni aprisa ni despacio y tiene el debido cuidado con los requerimientos físicos, mentales o visuales del trabajo específico”.²⁷ Otra palabra que causa incertidumbre en la definición de trabajo justo es utilización efectiva la misma que se define como: “el mantenimiento de un paso normal al realizar los elementos esenciales de la tarea durante todas las porciones del día excepto las que se requieren para descansos razonables y necesidades personales, en circunstancias en las que el trabajo no está sujeto a un proceso, equipo u otras limitaciones operativas”.²⁸

En conclusión, un día de trabajo justo es aquel que es equitativo para la empresa y para el trabajador. Es decir, el trabajador debe laborar un día de trabajo justo por el salario que percibe considerando los retrasos personales, inevitables y por fatiga. Es de esperarse que el empleado

²⁶Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 374.

²⁷ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 374.

²⁸ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 374.

opere con el método establecido a un paso que no sea ni lento ni rápido sino mas bien con que el sea representativo del desempeño diario realizado por el empleado experimentado y colaborador.

Se deben cumplir algunos requerimientos antes de iniciar con la toma de tiempos. Si se requiere un estándar de una tarea nueva o anterior en la que el método o parte de él ha sido alterado, el operario deberá estar familiarizado con la nueva técnica antes de iniciar el estudio. De esta manera los estándares de tiempo serán confiables y se convertirán en una fuente de información de mucho valor. Así mismo, los analistas deben comunicar al supervisor del departamento y a los trabajadores que se llevará a cabo este estudio de tal manera que se realice un estudio coordinado y adecuado aplicando el método correcto. Debido a las posibles reacciones que puede ocasionar un estudio de tiempos, es primordial que haya un buen entendimiento entre todas la partes involucradas para que las actividades sean llevadas a cabo con el método correcto, registrando con precisión los tiempos tomados, evaluando con honestidad el desempeño de los operadores y evitar críticas.²⁹

El equipo mínimo que se requiere para llevar a cabo el estudio de tiempos es: un cronómetro, una tabla y las formas para el estudio. El cronómetro puede ser tradicional (con décimas de minuto) o el electrónico que es el más práctico. Los detalles del estudio deben registrarse en una forma de estudios de tiempos, esta contiene casillas para registrar información sobre el método, las herramientas utilizadas, nombre y número del operario, descripción de la actividad, departamento dónde se lleva a cabo y otros detalles que sean importantes.

Antes de dar inicio al estudio de tiempos se debe seleccionar al operario, analizar el trabajo y dividirlo en sus elementos, registrar los valores elementales de tiempos transcurridos, calcular la calificación del operario y por último, asignar los suplementos adecuados. La

²⁹ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 377.

operación se divide en grupos de movimientos conocidos como elementos. Para llevar a cabo esta división es necesario que el analista observe al trabajador durante varios ciclos y se determine los elementos de la operación lo más detallado posible pero no tan pequeños ya que esto dificultaría su medición.³⁰ El tiempo de ciclo se define como el tiempo que el producto en proceso pasa en un sector de trabajo, es decir desde que entra hasta que sale del mismo.³¹

Al iniciar el estudio se debe registrar la hora que marque un reloj maestro y en ese momento se inicia el cronometraje. Se pueden utilizar dos técnicas para registrar los tiempos elementales: método de tiempos continuos y método de regresos a cero. La primera, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio y el analista lee el cronómetro en el punto terminal de cada elemento y el tiempo sigue corriendo. En la segunda técnica en cambio el cronómetro se para al finalizar la actividad y se restablece a cero de tal manera que el siguiente elemento empieza con un tiempo en cero.

Los pasos generales para realizar un estudio de tiempos: calificación del desempeño del operador, cálculos del estudio y tiempo estándar.

- Calificación del desempeño del operador: El observador evalúa la efectividad del trabajador en términos del desempeño de un trabajador calificado que ejecuta la misma tarea. Un operador calificado es aquel que tiene experiencia y trabaja en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un ritmo no tan lento ni muy rápido, sino a un paso el cual se puede mantener el resto del día.³²
- Cálculos del estudio: Luego de registrar la información necesaria para el estudio de tiempos de manera adecuada, determinar el número de ciclos apropiados, se debe registrar

³⁰ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 377.

³¹ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 377.

³²--- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 394.

el tiempo de terminación marcado por el reloj maestro usado para el inicio del estudio. Una vez calculados y registrados los tiempos transcurridos, las personas a cargo del estudio deben analizarlos con cuidado para encontrar anomalías. No existe una regla que indique el grado de variación. Los elementos de las máquinas tienen poca variación de un ciclo a otro, sin embargo en las actividades manuales se puede esperar una variación mucho mayor.³³

- Tiempo estándar: Se determina al agregar al tiempo normal reservas para las necesidades personales, demoras inevitables en el trabajo y fatiga del trabajador.³⁴

Definición del tamaño de muestra y formato para la recolección de los datos

El estudio de tiempos realizado en la empresa tiene como finalidad establecer un día de trabajo justo, de tal manera que las jornadas de trabajo sean equitativas tanto para la empresa como para el trabajador. Antes de iniciar el estudio de tiempos se comunicó al jefe de producción y a los trabajadores de que este se iba a llevar a cabo, de esta manera tanto los operadores como los analistas de tiempo trabajarán de forma coordinada apoyándose entre ellos. Así se consigue que los trabajadores utilicen el método más adecuado y que proporcionen la información necesaria de tal forma que los datos que se registren sean confiables.

En cuanto al equipo para ejecución del estudio de tiempos, se utilizará un cronómetro tradicional y una forma de estudios previamente elaborada, la cual contiene datos informativos y las actividades involucradas en cada sector de la planta.

Un ejemplo de la forma de estudios con los datos informativos que se deben registrar se presenta a continuación en la Tabla 12:

³³ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 396.

³⁴ Chase Aquilano Jacobs, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (Bogotá: McGrawHill, 2000) 425.

FECHA :
HORA:
SECTOR:
OPERADOR:
LARGO VIGA O COLUMNA (mm):
ESPELOR VIGA O COLUMNA (mm): 6
Comenzó cronometraje:
Terminó cronometraje:
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
1
2
3

Tabla 12: Forma de Estudio de Tiempos Parcial

La Tabla 12 registra información complementaria al posterior estudio de tiempos en la empresa, estos van a ser de utilidad al momento de procesar la información recolectada.

Antes de comenzar el estudio de tiempos fue necesario observar durante varios días las tareas que debe realizar el operador en cada sector para entender y familiarizarse con las actividades diarias en cada sector de la planta, y diferenciar de esta manera las actividades productivas de las que no agregan valor.

Fue necesario dividir las actividades en partes que se puedan medir ya que cada una de ellas va a ser cronometrada de manera individual. Para realizar esta división se siguieron las siguientes reglas:

- Definir cada elemento de trabajo de modo que sea de corta duración, pero con tiempo suficiente para cronometrarlo y poder anotar los tiempos.
- Si el operador trabaja con equipos que funcionan sin ayuda del trabajador se separan las tareas.

- Definir cualquier demora del operador o del equipo en elementos separados.³⁵

Teniendo en cuenta las reglas descritas se realiza una descripción de las actividades que se hacen en cada sector de la planta de producción. El desglose de las actividades se lo lleva a cabo después de haber observado detenidamente por varias ocasiones cada paso necesario para realizar la operación. Este detalle de las actividades conocido como elementos es validado conjuntamente con el jefe de producción y posteriormente en cada puesto de trabajo con los operadores. Determinar el número de ciclos que se van estudiar para llegar a un estándar es un tema polémico entre los analistas de tiempos ya que este no puede sólo guiarse por la estadística puesto que el tamaño de la muestra influye en la parte económica.³⁶

Basándose en la Tabla de Benjamín Niebel citada por Chase Aquilano Jacobs, que se presenta a continuación, se determinó el número de ciclos necesarios.

Cuando el tiempo por ciclo es superior a	Número de ciclos de estudio (actividad)		
	Más de 10.000 por año	1.000 - 10.000	Menos de 1.000
8	2	1	1
3	3	2	1
2	4	2	1
1	5	3	2
48 minutos	6	3	2
30	8	4	3
20	10	5	4
12	12	6	5
8	15	8	6
5	20	10	8
3	25	12	10
2	30	15	12
1	40	20	15
0,7	50	25	20
0,5	60	30	25
0,3	80	40	30
0,2	100	50	40
0,1	120	60	50
Menos de 0,1	140	80	60

Tabla 13: Número de Ciclos de estudio³⁷

³⁵ Chase Aquilano Jacobs, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (Bogotá: McGrawHill, 2000) 424.

³⁶ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 377.

³⁷ Chase Aquilano Jacobs, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (Bogotá: McGrawHill, 2000) 427.

Con ayuda de la Tabla 13 se estableció el número mínimo de ciclos de estudio en función de la producción anual de la empresa que está entre 1000-10000 unidades al año, y también en función del tiempo que toma terminar un ciclo por cada sector. La empresa no dispone de registros de tiempos. Sin embargo, un tiempo promedio de ciclo por sector fue proporcionado por el jefe de producción. De esta manera se determina una Tabla con número de ciclos diferentes para cada sector la cual se encuentra en el Anexo 3.

A continuación en la Tabla 14 se presenta el formato que se utiliza para registrar los tiempos para cada sector:

FECHA :							
HORA:							
SECTOR: Acabados Vigas							
OPERADOR:							
LARGO VIGA:							
ESPESOR (mm): 4							
Comenzó cronometraje:							
Terminó cronometraje:							
					Ciclos (seg)		
	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	1	2	3	4	ΣT	T promedio
1	Colocar viga sobre mesa de trabajo						
2	Limpiar uniones para soldar						
3	Soldar totas las uniones						
4	Revisar visualmente si hay defectos en soldadura						
5	Colocar accesorios de viga de acuerdo al plano						
6	Transportar viga hasta enderezado						

Tabla 14: Ejemplo de Forma para recolección de tiempos para acabados de Vigas

Por ejemplo en la Tabla 14 fue necesario llenar la información correspondiente a 4 ciclos porque el tiempo promedio para la actividad observado y validado por el jefe de producción es de 30 minutos. Siguiendo el mismo criterio se elaboraron las Tablas del resto de sectores de la planta de la empresa.

El número de ciclos y la información como largos y anchos varían de una Tabla a otra dependiendo de su utilidad y del sector que se esté analizando. El espesor de las estructuras metálicas registrados en todas las Tablas corresponden a los escogidos en la Tabla 1. Los sectores donde se deben registrar únicamente el largo son: corte longitudinal, enderezado, suelda con

puntos, soldadura longitudinal tanto de vigas como de columnas. El ancho en estos sectores no influye en el tiempo que se demoran en realizar la actividad puesto que el corte o la suelda según sea el caso se lo hace en sentido longitudinal únicamente. Al contrario, el sector en el que afecta únicamente el ancho debido a que las actividades que se realizan se las hace en sentido transversal es: corte transversal. En los sectores restantes se deberán registrar tanto el largo como el ancho puesto que el tiempo que dura su ejecución depende de estas especificaciones.

4.3 Recolección de datos de tiempos de trabajo

Al iniciar el estudio de tiempos es necesario registrar la hora que marca el reloj maestro y a partir de ese momento iniciar el cronometraje. La técnica utilizada para registrar los tiempos elementales es la del método de regresos a cero, es decir, cada vez que se mida el tiempo de una actividad el cronómetro será llevado a cero antes de iniciar el registro de la siguiente.

La toma de tiempos en la empresa se realiza durante varias semanas. Cada analista de tiempos tiene a su cargo un sector de la empresa de tal manera que la toma de datos se realice en el menor tiempo posible.

Antes de iniciar con la toma de tiempos, se debe asegurar que las estructuras a fabricar en el sector escogido sean de las características deseadas.

A continuación, se procede a llenar la parte informativa del formato de recolección de datos y a ocupar un lugar cerca al sector en el cual se va trabajar, para poder verificar si el detalle de las actividades descrito en cada formato coincide con los pasos que realizan los operadores en la práctica. Al llevar a cabo este proceso en los sectores de la empresa se observó que en algunos no coincidían todas las actividades que se habían detallado, ya que algunas de ellas se las realizaba de forma simultánea. Luego de validar y corregir el detalle de las actividades, se

procede a tomar el tiempo que dura cada una de ellas, el número de repeticiones indicado en las hojas de registro de datos (Tabla 14).

Para establecer una frecuencia de muestro se necesita considerar lo siguiente:

- Naturaleza general de la estabilidad del proceso.
- Frecuencia de los eventos del proceso
- Costo del muestreo ³⁸

La toma de tiempos se lo realizó de forma consecutiva, se escogió esta frecuencia debido a que la repetición de ocurrencia de los eventos del proceso no es constante, puesto que no se fabrican productos en serie, por lo cual la elaboración de una estructura metálica con las características deseadas se llevará a cabo únicamente durante un período de tiempo de acuerdo a la orden de producción y en un número específico, razón por la cual no se puede tomar muestras randómicas las cuales tomarían mucho tiempo. En general, si el tamaño de muestra es pequeño la frecuencia debe realizarse en intervalos pequeños. ³⁹ En el caso de la empresa son pocos el número de ciclos (tamaño de la muestra) por lo tanto se justificaría la toma de datos de forma continua. La tabulación de los datos del estudio de tiempos se adjunta en el Anexo 4.

4.4 Análisis de los datos recolectados

Se fabrica el producto (vigas y columnas) con diferentes especificaciones (largo y ancho) debido a requerimientos del cliente, por esta razón fue necesario definir un estándar de medición en función de dos unidades de medida seg / mm. Se llenaron las Tablas con los tiempos reales correspondientes al desarrollo de esa actividad pero luego estos datos fueron transformados al tiempo que le tomaría realizar la actividad de la estructura de un largo estándar de 3000 mm

³⁸ Montgomery Douglas, Introduction to Statistical Quality Control, 5 ta ed. (United States: Wiley, 2005) 160.

³⁹ --- . Introduction to Statistical Quality Control, 5 ta ed. (United States: Wiley, 2005) 160.

fijado previamente. Se escogió esa longitud porque era el largo más comúnmente observado durante la toma de tiempos. Por lo tanto, la unidad de todas las actividades operativas es Xseg/3000 mm, es decir el tiempo que le toma a 3000 mm pasar por cada actividad. Un ejemplo de cómo se llevó a cabo esta transformación se presenta a continuación en las Tablas 15 y 16:

FECHA : 16-05-07								
HORA: 11:45								
SECTOR: Enderezado Alma Vigas								
OPERADOR: Victor San-Martín								
LARGO: 2000 mm								
ESPESOR(mm): 4								
Comenzó cronometraje: 11:45								
Terminó cronometraje:								
Ciclos (seg)								
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Transportar planchas cortada desde alm temp hasta mesa baroladora	180							
2 Acomodar plancha cortada en rodillos	10	9	5	3	8	5	3	8
3 Calibrar abertura de baroladora	120							
4 Actividades Simultáneas: Deslizar plancha por baroladora por ambos lados, revisar visualmente enderezado, ajustar abertura de baroladora	92	76	60	44	45	42	42	34
5 Almacenar flejes de acuerdo a la odp	7	7	3	4	3	3	4	4
6 Transportar planchas a preparado de flejes	180							

Tabla 15: Registro de tiempos original Enderezado de Almas

FECHA : 16-05-07								
HORA: 11:45								
SECTOR: Enderezado Alma Vigas								
OPERADOR: Victor San-Martín								
LARGO: 3000 mm								
ESPESOR(mm): 4								
Comenzó cronometraje: 11:45								
Terminó cronometraje: 14:30								
Ciclos (seg)								
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Transportar planchas cortada desde alm temp hasta mesa baroladora	270							
2 Acomodar plancha cortada en rodillos	15	14	8	5	12	8	5	12
3 Calibrar abertura de baroladora	180							
4 Actividades Simultáneas: Deslizar plancha por baroladora por ambos lados, revisar visualmente enderezado, ajustar abertura de baroladora	138	114	90	66	68	63	63	51
5 Almacenar flejes de acuerdo a la odp	11	11	5	6	5	5	6	6
6 Transportar planchas a preparado de flejes	270							

Tabla 16: Registro de tiempos adaptado al estándar de Enderezado de Almas

En la Tabla 15 se registra la toma de tiempos en campo, se puede notar que el largo de las almas es de 2000 mm. Sin embargo, en la Tabla 16 se transforman los tiempos originales a los que se hubieran obtenido si el largo de las almas fuera de 3000 mm. Esta transformación fue posible hacerla porque al seleccionar un solo espesor tanto en vigas como en columnas

para tomar los tiempos, tal como se muestra en la Tabla 1, la única variable que afecta la duración de la actividad es el largo, y el tiempo que se demora un fleje en una actividad es directamente proporcional a su largo. Se siguió el mismo procedimiento para todas las Tablas en las que el largo influye en el tiempo. Al realizar la transformación se obtuvieron cifras decimales en los tiempos, a pesar de introducir un error se decidió redondear estas cifras. Para atenuar este error el redondeo fue proporcional, las cifras ($\geq 0,5$) se redondearon al inmediato superior y las cifras ($<0,5$) se redondearon al inmediato inferior. Al tomar el tiempo manualmente inevitablemente se introduce un error, no tienen sentido registrar que el operador realiza una actividad en X,xxx segundos pues al tomar nuevamente el mismo dato va a variar (a diferencia de lo que pasaría con una máquina).

Teniendo las Tablas llenas con toda la información necesaria se procede al análisis de las mismas, calculando el tiempo que le toma a la actividad completar el total de ciclos y luego sacando un promedio para cada ciclo. Posterior a esto es necesario dividir el tiempo total en subpartes: set-up, transporte y desempeño (tiempo de operación), pues el objetivo de este análisis es reducir el tiempo de las actividades que no agregan valor.

A continuación se presenta este análisis en la Tabla 17:

FECHA : 16-05-07											
HORA: 11:45											
SECTOR: Enderezado Alma Vigas											
OPERADOR: Victor San-Martín											
LARGO: 3000 mm											
ESPESOR(mm): 4											
Comenzó cronometraje: 11:45											
Terminó cronometraje: 14:30											
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD											
Ciclos (seg)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣT	<i>T promedio</i>	
1	Transportar planchas cortada desde alm temp hasta mesa baroladora	270								270	34
2	Acomodar plancha cortada en rodillos	15	14	8	5	12	8	5	12	77	10
3	Calibrar abertura de baroladora	180								180	23
4	Actividades Simultáneas: Deslizar plancha por baroladora por ambos lados, revisar visualmente enderezado, ajustar abertura de baroladora	138	114	90	66	68	63	63	51	653	82
5	Almacenar flejes de acuerdo a la odp	11	11	5	6	5	5	6	6	53	7
6	Transportar planchas a preparado de flejes	270								270	34

Tabla 17: Ejemplo de cálculos de tiempos promedios

A diferencia de la Tabla 16 en esta se incluyó la sumatoria de tiempo para la actividad y el promedio para cada ciclo.

En la Tabla 18 el tiempo total de set up corresponde a la actividad 3. El tiempo de transporte se calculó al sumar los tiempos de las actividades 1,2 5 y 6 resultando un total de 84 segundos. Finalmente, el tiempo de desempeño corresponde a la actividad 4. En el Anexo 5 se adjuntan las Tablas con los tiempos promedios de cada sector de la empresa.

Tiempo Total (seg)		
Set up	Transporte	Desempeño
23	84	82

Tabla 18: Ejemplo de división del tiempo total

Teniendo el cálculo del tiempo total por sector es posible validar el tiempo por estación de trabajo que se utilizó para obtener el número de ciclos. Por ejemplo: para el sector de corte transversal se tomaron 18 ciclos puesto que el tiempo estimado por la empresa es de 1,5 minutos sin embargo, el tiempo real por ciclo del sector es de 0,66 minutos lo que significa que es necesario tomar 25 ciclos. La diferencia para este caso es de 5 ciclos pero esto se debe a que el tiempo por ciclo del sector es muy bajo. Cuando el tiempo por ciclo es superior a 8 minutos (que sucede en la mayoría de sectores) la variación del número de ciclos es insignificante.

Capítulo 5

5.1 Marco teórico de Tiempos estándares

Una vez determinado el tiempo de desempeño del operador en cada estación es necesario normalizar este tiempo, de tal manera que el tiempo de ese operador pueda ser utilizado por todos los trabajadores, lo que se necesita es añadir la medición de velocidad o clasificación de desempeño del operador.⁴⁰

La aplicación de un factor de clasificación da lo que se conoce como tiempo normal. El principio básico al calificar el desempeño es ajustar el tiempo medio observado para cada elemento ejecutado durante el estudio al tiempo normal (TN) que requeriría el operario calificado para realizar el mismo trabajo:

$$TN = TO \times \frac{C}{100} \quad (5.1)$$

Donde C es la calificación del desempeño del operador expresada como porcentaje, con el 100% correspondiente al desempeño estándar de un operador calificado.⁴¹

Tiempo estándar: “La suma de los tiempos elementales da el estándar en minutos por pieza con un cronómetro de décimas de minuto, o en horas por pieza con un cronómetro de décimas de hora.”⁴²

Ningún trabajador puede mantener un paso estándar todos los minutos del día de trabajo. Pueden tener lugar tres clases de interrupciones para las que se debe asignar tiempo adicional. La primera son las *interrupciones personales*, como son idas al baño y a los bebederos; la segunda es

⁴⁰ Chase Aquilano Jacobs, Administración de Producción y Operaciones, 8 va ed. (Bogotá: McGrawHill, 2000) 424.

⁴¹ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega, 2004) 395.

⁴² --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega, 2004) 397.

la *fatiga* que afecta a los trabajadores más fuertes aún cuando realicen trabajos ligeros; por último, existen *retrasos inevitables*, como herramientas que se rompen, interrupciones del supervisor, variaciones del material. Todas requieren la asignación de un suplemento. El suplemento debe añadirse al tiempo normal para llegar a un estándar justo que un trabajador pueda lograr de manera razonable.

Por lo general, el suplemento se da como un porcentaje o fracción del tiempo normal y se usa como multiplicador igual a $1 + \text{suplemento}$ ⁴³:

$$TS = TN + TN \times SUPLEMENTO = TN \times (1 + SUPLEMENTO) \quad (5.2)$$

Suplementos: Las lecturas del cronómetro en un estudio de tiempos se toman en un periodo relativamente corto. Por lo tanto, el tiempo normal no incluye las demoras inevitables. En consecuencia los analistas deben hacer algunos ajustes para compensar esas pérdidas. Los suplementos se aplican a tres partes del estudio: al tiempo del ciclo total, sólo al tiempo de la máquina y sólo al tiempo de esfuerzo manual. Los suplementos aplicables al tiempo de ciclo total se expresan como porcentaje del mismo y compensan demoras como necesidades personales, limpieza de la estación de trabajo y lubricación de la máquina. Con frecuencia, se usan dos métodos para desarrollar los datos de suplementos estándar. Uno es el estudio de la producción, requiere que los observadores estudien dos o tres operaciones durante un período largo y registren cada intervalo de ocio. La segunda técnica incluye estudios de muestreo de trabajo, requiere tomar un número grande de observaciones aleatorias al caminar el observador por el área de estudios para anotar lo que hace el operador.⁴⁴

⁴³ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 395.

⁴⁴ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 431-432.

Los suplementos por fatiga, proporcionan tiempo al trabajador para recuperarse de la fatiga causada por la tarea o por el entorno de trabajo; estos suplementos se dividen en suplementos por fatiga constante o variable. Los suplementos especiales incluyen muchos factores diferentes relacionados con el proceso, equipo, los materiales, etc.

- *Necesidades personales*: Incluyen suspensiones del trabajo para mantener el bienestar del empleado. Las condiciones generales de trabajo y el tipo de tarea influyen en el tiempo necesario para las demoras personales. No existe base científica para asignar un porcentaje numérico, sin embargo se ha demostrado que un 5% para tiempo personal es adecuado. ⁴⁵
- *Fatiga básica*: Es una constante que toma en cuenta la energía consumida para llevar a cabo el trabajo y aliviar la monotonía. Se considera adecuado asignar 4% del tiempo normal para un operador que hace trabajo ligero. ⁴⁶
- *Fatiga variable*: Ya sea física o mental, los resultados de la fatiga son similares; se experimenta una disminución en la voluntad para trabajar. Los factores más importantes que afectan la fatiga son: condiciones de trabajo, ruido, calor, humedad, postura, cansancio muscular y la salud general del trabajador. ⁴⁷
- *Demoras inevitables*: Este tipo de demoras se aplica a los elementos de esfuerzo e incluye: interrupciones del supervisor, despachador, irregularidades en los materiales, dificultad para cumplir con las especificaciones. ⁴⁸

⁴⁵ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 434.

⁴⁶ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 434.

⁴⁷ Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo. Niebel, Benjamín y Freivalds Andris. México: Alfaomega,2004. 11 ed. Pág. 435.

⁴⁸ --- . Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 447.

5.2 Determinación de tiempos estándares para cada área de trabajo

El objetivo de determinar el tiempo estándar mediante la toma de datos reales en la empresa para cada estación de trabajo es determinar un aproximado lo más cercano a la realidad de la producción tanto de vigas como de columnas al día, y con esta información implementar acciones para mejorar el desempeño de la empresa.

La Tabla 19 que se presenta a continuación se realizó con ayuda de las fórmulas 5.1 y 5.2, en esta se calculan los tiempos estándares para una unidad de 3000 mm de cada estación de trabajo. En el Anexo 4 se presentan las Tablas a partir de las cuales se calcularon los tiempos estándares dividiéndolas posteriormente en tiempos de set up, desempeño y transporte.

En los tiempos de la Tabla 19 no se aplican tolerancias para el set-up ni para el transporte. Esto se debe a que el transporte de material y producto en proceso a lo largo de la planta se lo hace de forma mecanizada utilizando el puente grúa por lo tanto, la fatiga del operador es insignificante ya que sólo implica aplastar los botones del control del puente grúa. En el caso del set-up, la frecuencia de realización durante el día es baja puesto que no se cambia de una línea de producción a otra totalmente diferente. Las actividades que involucran set-up tienen tiempos bajos y son sencillas de realizar (ajustar la salida de llama de las antorchas, cambiar de electrodo, regular la abertura de las baroladoras, entre otras) lo que significa que causan muy poca fatiga en el operador.

SECTORES	T observado	Tolerancias = Suplemento			C %	TN = Tmedio observado * C/100	TS = TN + Suplemento	Set up	Transporte	Tiempo total estándar = TS + Tsetup + Ttransporte
		Necesidades Personales (5%)	fatiga básica (8%)	demoras inevitables (1%)						
Corte Longitudinal Patín o Columna	222	11	18	2	100	222	254	138	40	432
Enderezado Patín o Columna	45	2	4	0	100	45	52	13	31	95
Corte transversal Patín o Columna	26	1	2	0	100	26	29	2	11	43
Corte transversal almas Vigas	234	12	19	2	100	234	266		5	271
Troquelado Vigas	37	2	3	0	100	37	42	1	40	83
Enderezado Alma Vigas	82	4	7	1	100	82	93	23	84	199
Armado Previo Vigas	112	6	9	1	100	112	128	0	29	157
Suelda con Puntos (Prensa) Vigas	160	8	13	2	100	160	182	13	60	255
Soldadura Longitudinal (union alma-patín) Vigas	208	10	17	2	100	208	237	48	64	350
Acabados Vigas	203	10	16	2	100	203	231	0	94	325
Enderezado y pesa Vigas	461	23	37	5	100	461	526	0	173	699
Pintura Vigas	621	31	50	6	100	621	708	0	151	859
Armado Previo Columnas	202	10	1	2	100	202	215	19	22	257
Suelda con Puntos Columnas	1906	95	8	19	100	1906	2028	0	347	2375
Soldadura proceso MIG (e<= 10mm) Columnas	832	42	3	8	100	832	885	10	146	1041
Acabados (remate) Columnas	2264	113	9	23	100	2264	2409	0	143	2551
Balanza Columnas	65	3	0	1	100	65	69	0	105	173
Pintura Columnas	333	17	1	3	100	333	354	375	182	911

T=Tiempo (Segundos)

C=Calificación de desempeño

TS = Tiempo estándar (Segundos)

Tabla 19: Tiempos Estándares por Estaciones

A continuación se presentan dos Tablas una para columnas (Tabla 20) y otra para vigas (Tabla 21), las mismas se realizaron en función del diagrama de recorrido y los tiempos estándares obtenidos en la Tabla 19 transformados a minutos. En estas Tablas se calculan las máximas unidades que cada estación estaría en capacidad de producir.

Secuencia	Estaciones Recorridas para producir Vigas	Segundos estándar	Minutos estándar	Unidades en capacidad de producir = Minutos disponibles para producir al día / minutos estándar
5	Corte transversal	271	4,52	139
3	Enderezado Alma y troquedado	199	3,32	190
6	Armado previo vigas	157	2,62	240
8	Soldadura con puntos viga	255	4,25	148
10	Soldadura longitudinal vigas	350	5,83	108
12	Acabados vigas	325	5,42	116
14-16	Enderezado vigas y pesado	699	11,65	54
17	Pintura	859	14,31	29
	Tiempo total recorrido	3115	51,92	

Tabla 20: Producción diaria para vigas de 3m

Secuencia	Estaciones Recorridas para producir Columnas	Segundos estándar	Minutos estándar	Unidades en capacidad de producir = Minutos disponibles para producir al día / minutos estándar
1	Corte Longitudinal	432	28,8	22
2	Enderezado patín-columna	95	6,36	99
4	Corte transversal patín-columna	43	2,87	220
7	Armado previo columnas	257	17,1	37
9	Soldadura con puntos columnas	2375	39,58	16
11	Soldadura longitudinal columnas	1041	17,35	36
13	Acabados columnas	2551	42,52	15
16	Pesado	173	2,89	218
17	Pintura	911	15,18	14
	Tiempo total recorrido	7878	172,65	

Tabla 21: Producción diaria para columnas de 3m

Tanto para vigas como para columnas la producción diaria se calcula dividiendo el número de minutos disponibles para producir al día para los minutos estándar calculados. Si al día se trabajan 12 horas, de las cuáles una hora corresponde al almuerzo, y treinta minutos

descansos, uno de quince minutos en la mañana y otro de 15 minutos en la tarde, quedan 10,5 horas o 630 minutos disponibles para trabajar.

5.3 Marco teórico Balanceo de Líneas

Si los tiempos productivos que se requieren en todas las estaciones de trabajo fuesen iguales no existirían tiempos muertos, y la línea estaría perfectamente equilibrada. El problema de diseño de encontrar formas para igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones se denomina problema de balanceo de línea.

El método a utilizar para realizar el balanceo de la línea de producción es el Método de la Matriz de Precedencia. El cual consiste en estimar el peso posicional (PW) de cada tarea como la suma de su tiempo más los de aquellas que la siguen. Las tareas se asignan a las estaciones de acuerdo al peso posicional, cuidando no rebasar el tiempo de ciclo y violar las precedencias.⁴⁹

Adicional al método de la matriz de precedencia existen otros métodos disponibles al momento de optimizar el tiempo total en una línea de producción, como el que se detalla a continuación:

Primero es necesario dividir las tareas manuales de las mecánicas, pues a más de que existan los recursos necesarios para incrementar o mejorar las máquinas disponibles, se tendrá que balancear la línea ajustando las tareas manuales al ritmo de las mecánicas.

Las tareas manuales se pueden sincronizar con las mecánicas:

- Ajustando el número de operarios en cada estación (incrementado o disminuyendo según la necesidad)

⁴⁹ “Líneas de Producción”, 16 de Septiembre 2007
<<http://www.monografias.com/trabajos12/medtrab/medtrab.shtml>>.

- Si una tarea toma más tiempo que otra se puede recurrir a trabajar horas extras sólo en esa estación para acumular inventario y no atrasar el trabajo de las demás durante el horario regular de operación.
- Otra opción es mejorar el método de operación en la estación más larga para reducir tiempos de desempeño, o reasignar el trabajo de esa estación a otras.⁵⁰

5.4 Balanceo de Línea

5.4.1 Método de la Matriz de Precedencia

El procedimiento a seguir para elaborar la matriz de precedencia es el siguiente:

- Determinar la precedencia de los sectores de producción.

Para el caso de columnas:

	Sector de trabajo	Tiempo estándar (min)	Sectores que le preceden								
			1	2	4	7	9	11	13	16	17
	Columnas										
1	Corte Longitudinal	28,80		1	1	1	1	1	1	1	1
2	Enderezado patín-columna	6,36			1	1	1	1	1	1	1
4	Corte transversal patín-columna	2,87				1	1	1	1	1	1
7	Armado previo columnas	17,10					1	1	1	1	1
9	Soldadura con puntos columnas	39,58						1	1	1	1
11	Soldadura longitudinal columnas	17,35							1	1	1
13	Acabados columnas	42,52								1	1
16	Pesado	2,89									1
17	Pintura	15,18									

Tabla 22: Sectores de Precedencia de columnas

⁵⁰ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, *Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 57-58.

Para el caso de vigas:

	Sector de trabajo	Tiempo estándar (min)	Sectores que le preceden								
			5	3	6	8	10	12	14-16	17	
	Vigas										
5	Corte transversal	4,52		1	1	1	1	1	1	1	1
3	Enderezado Alma y troquedado	3,32			1	1	1	1	1	1	1
6	Armado previo vigas	2,62				1	1	1	1	1	1
8	Soldadura con puntos viga	4,25					1	1	1	1	1
10	Soldadura longitudinal vigas	5,83						1	1	1	1
12	Acabados vigas	5,42							1	1	1
14-16	Enderezado vigas y pesado	11,65									1
17	Pintura	14,31									

Tabla 23: Sectores de Precedencia de vigas

- Calcular el PW, el cual se obtiene sumando los tiempos estándares de los sectores que le preceden.

Colocar el orden de importancia de cada sector.

Para Columnas:

	Sector de trabajo	Tiempo estándar Ti (min)	Sectores que le preceden									PW
			1	2	4	7	9	11	13	16	17	
	Columnas											
1	Corte Longitudinal	28,80		1	1	1	1	1	1	1	1	172,64
2	Enderezado patín-columna	6,36			1	1	1	1	1	1	1	143,84
4	Corte transversal patín-columna	2,87				1	1	1	1	1	1	137,48
7	Armado previo columnas	17,10					1	1	1	1	1	134,62
9	Soldadura con puntos columnas	39,58						1	1	1	1	117,51
11	Soldadura longitudinal columnas	17,35							1	1	1	77,94
13	Acabados columnas	42,52								1	1	60,59
16	Pesado	2,89									1	18,07
17	Pintura	15,18										15,18

Tabla 24: Peso Posicional e Importancia de los sectores de trabajo de columnas

Para vigas:

Sector de trabajo		Tiempo estándar Ti (min)	Sectores que le preceden								PW
Vigas			5	3	6	8	10	12	14-16	17	
5	Corte transversal	4,52		1	1	1	1	1	1	1	51,92
3	Enderezado Alma y troquedado	3,32			1	1	1	1	1	1	47,40
6	Armado previo vigas	2,62				1	1	1	1	1	44,08
8	Soldadura con puntos viga	4,25					1	1	1	1	41,46
10	Soldadura longitudinal vigas	5,83						1	1	1	37,21
12	Acabados vigas	5,42							1	1	31,38
14-16	Enderezado vigas y pesado	11,65								1	25,96
17	Pintura	14,31									14,31

Tabla 25: Peso Posicional e importancia de los sectores de Trabajo de vigas y columnas

- Calcular el tiempo de ciclo:

$$T_c = \frac{\text{minutos diarios disponibles}}{\sum \text{minutos estándar por estación}} \quad (5.3)$$

En la Tabla 26 se muestran los tiempos de ciclos (Tc) para vigas y columnas.

Tiempo de ciclo (Tc) columnas	42	min/unidad
Tiempo de ciclo (Tc) Vigas	21	min/unidad

Tabla 26: Tiempos de ciclo

- Determinar el número de estaciones de trabajo. Se necesita una nueva estación de trabajo cuando el tiempo acumulado de las estaciones es mayor que el tiempo de ciclo.

Las estaciones de trabajo para la fabricación de columnas son:

Sector de trabajo	Tiempo estándar Ti (min)	Sectores que le preceden										PW	Importancia	Estación 1 (min)		Estación 2 (min)		Estación 3 (min)		Estación 4 (min)		Estación 5 (min)		Estación 6 (min)								
		1	2	4	7	9	11	13	16	17	ΣTi			ΣTc-ΣTi	ΣTi	ΣTc-ΣTi	ΣTi	ΣTc-ΣTi	ΣTi	ΣTc-ΣTi	ΣTi	ΣTc-ΣTi	ΣTi	ΣTc-ΣTi								
1	Corte Longitudinal	28,80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	172,64	1	28,80	13,20													
2	Enderezado patin-columna	6,36			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	143,84	2	35,16	6,84													
4	Corte transversal patin-columna	2,87				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	137,48	3	38,03	3,97													
7	Armado previo columnas	17,10					1	1	1	1	1	1	1	1	1	134,62	4			17,10	24,90											
9	Soldadura con puntos columnas	39,58						1	1	1	1	1	1	1	1	117,51	5					39,58	2,42									
11	Soldadura longitudinal columnas	17,35								1	1	1	1	1	1	77,94	6							17,35	24,65							
13	Acabados columnas	42,52											1	1	1	60,59	7									42,52	0,00					
16	Pesado	2,89													1	18,07	8												2,89	39,11		
17	Pintura	15,18														15,18	9												18,07	23,93		

Tabla 27: Estaciones de trabajo óptimas para columnas

Las estaciones de trabajo para la producción de vigas son:

Sector de trabajo	Tiempo estándar Ti (min)	Sectores que le preceden										PW	Importancia	Estación 1 (min)		Estación 2 (min)		Estación 3 (min)	
		5	3	6	8	10	12	14-16	17	ΣTi	$\Sigma Te - \Sigma Ti$			ΣTi	$\Sigma Te - \Sigma Ti$	ΣTi	$\Sigma Te - \Sigma Ti$		
Vigas																			
5 Corte transversal	4,52		1	1	1	1	1	1	1	1	1	51,92	1	4,52	16,48				
3 Enderezado Alma y troqueado	3,32			1	1	1	1	1	1	1	1	47,40	2	7,84	13,16				
6 Armado previo vigas	2,62				1	1	1	1	1	1	1	44,08	3	10,46	10,54				
8 Soldadura con puntos viga	4,25					1	1	1	1	1	1	41,46	4	14,71	6,29				
10 Soldadura longitudinal vigas	5,83						1	1	1	1	1	37,21	5	20,54	0,46				
12 Acabados vigas	5,42							1	1	1	1	31,38	6			5,42	15,58		
14-16 Enderezado vigas y pesado	11,65								1	1	1	25,96	7			17,07	3,94		
17 Pintura	14,31											14,31	8					14,31	6,69

Tabla 28: Estaciones de trabajo óptimas para vigas

Al realizar el procedimiento en la empresa se determinó que la fabricación de columnas debe tener 6 estaciones de trabajo en lugar de las nueve que hay actualmente. En el caso de las vigas, el número de estaciones óptimo son 3 es decir 5 de las estaciones actuales han sido unificadas con otras estaciones, con esto se logra un balance de la línea de producción.

En las Tablas 29 y 30 se presenta un consolidado de los sectores que se agruparon para formar las nuevas estaciones de trabajo tanto de columnas como de vigas. En ambos casos los sectores fueron agrupados de tal forma que no superen el tiempo de ciclo que en el caso de columnas es 42 min/unidad y en el de vigas es 21 min/unidad:

Estaciones Columnas	Sectores	Tiempo Total (min)
Estación 1	1,2,3	38,03
Estación 2	4	17,10
Estación 3	5	39,58
Estación 4	6	17,35
Estación 5	7	42,52
Estación 6	8,9	18,07

Tabla 29: Resumen de estaciones de trabajo de columnas propuesto

Estaciones Vigas	Sectores	Tiempo Total (min)
Estación 1	1,2,3,4,5	20,54
Estación 2	6,7	17,07
Estación 3	8	14,31

Tabla 30: Resumen de estaciones de trabajo de vigas propuesto

En las Figuras 17 a la 20 se puede apreciar de manera visual el perfil de carga de trabajo actual y el propuesto, tanto de columnas como de vigas.

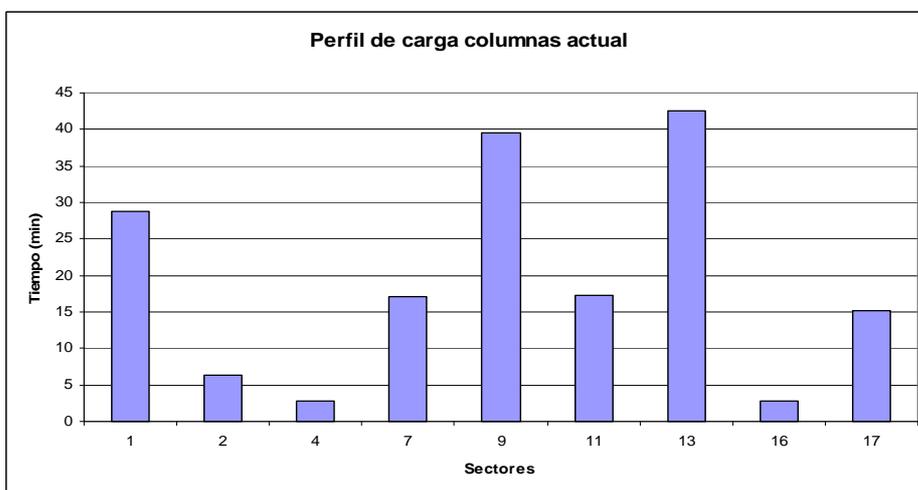


Figura 17: Perfil de carga columnas actual

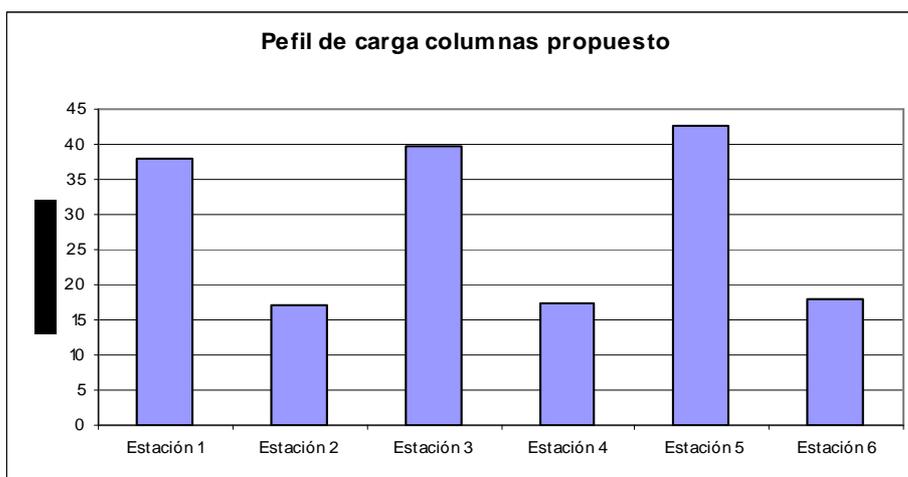


Figura 18: Perfil de carga columnas propuesto

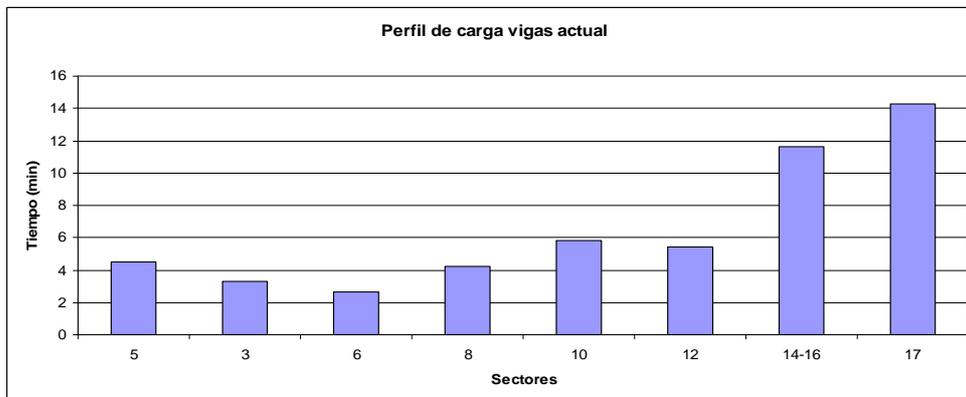


Figura 19: Perfil de carga vigas actual

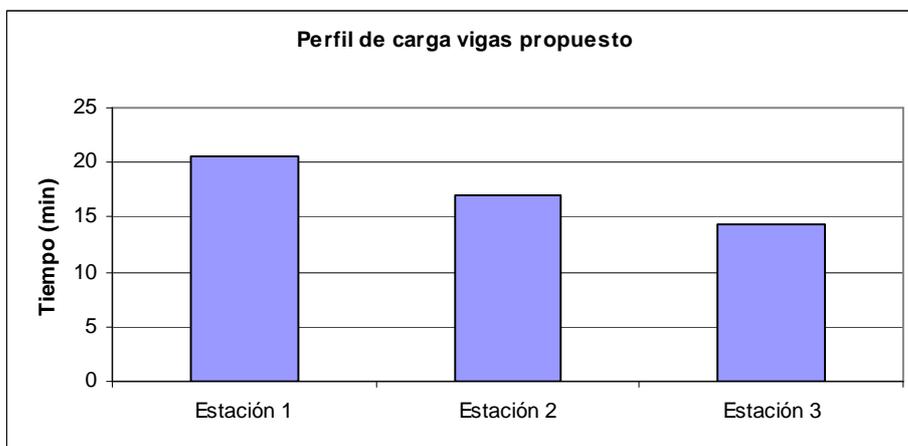


Figura 20: Perfil de carga vigas propuesto

Un balance de la línea significa un aumento de la productividad en la línea de producción ya que de cierta forma todas las estaciones van a trabajar a un mismo ritmo, por lo tanto los tiempos de ocio de las estaciones con menor tiempo de procesamiento se reducirán. Físicamente los sectores de trabajo no pueden ser movidos para agruparlos y formar las estaciones propuestas al realizar el balanceo de línea tanto de columnas como de vigas, debido al peso y a las instalaciones que ciertas máquinas tienen. Por lo tanto, lo que se plantea es aumentar la utilización los sectores de trabajo mediante el establecimiento de nuevas jornadas laborales de acuerdo a cada estación.

El objetivo de balancear una línea de producción es tratar de que no se produzcan atascos a los cuales se les conoce como cuellos de botella. El cuello de botella, la estación de trabajo con el tiempo más largo, marca el ritmo de la tasa de producción⁵¹, en las Tablas 31 y 32 se muestra la estación cuello de botella para columnas y vigas.

Secuencia	Estaciones Recorridas para producir Columnas	Minutos estándar	Capacidad de Producción (Unidades)
1	Corte Longitudinal	28,8	17
2	Enderezado patín-columna	6,36	38
4	Corte transversal patín-columna	2,87	84
7	Armado previo columnas	17,1	28
9	Soldadura con puntos columnas	39,58	16
11	Soldadura longitudinal columnas	17,35	28
13	Acabados columnas	42,52	15
16	Pesado	2,89	166
17	Pintura	15,18	14
Tiempo total recorrido (min)		172,65	

Tabla 31: Estación cuello de botella columnas

Secuencia	Estaciones Recorridas para producir Vigas	Minutos estándar	Capacidad de producción (unidades)
5	Corte transversal	4,52	106
3	Enderezado Alma y troquedado	3,32	72
6	Armado previo vigas	2,62	92
8	Soldadura con puntos viga	4,25	113
10	Soldadura longitudinal vigas	5,83	82
12	Acabados vigas	5,42	89
14-16	Enderezado vigas y pesado	11,65	41
17	Pintura	14,31	29
Tiempo total recorrido (min)		51,92	

Tabla 32: Estación cuello de botella vigas

La estación Pintura se comparte para realizar vigas y columnas, utilizando el 33,33% del total de tiempo disponible (630 minutos al día) para pintar columnas y 66,66% para vigas,

⁵¹ Niebel Benjamín y Freivalds Andris, *Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*, 11 va ed. (México: Alfaomega,2004) 56-57.

por esta razón se observa en las Tablas 31 y 32 que tanto para columnas como para vigas la estación cuello de botella es Pintura.

Como se observa en la Tabla 31 Pintura es el cuello de botella para columnas a pesar de no ser la estación con el tiempo más largo (15,18 minutos), pues como máximo se pueden hacer 14 columnas al día. Para determinar la producción diaria de los 4 primeros sectores de columnas es necesario multiplicar por 4 los minutos estándar, ya que en estos sectores no se encuentra armada la columna sino que se registró el tiempo por fleje por lo tanto es necesario multiplicar por 4 para que sea el tiempo de producción de 1 columna (4 flejes).

Como se observa en la Tabla 32, en el caso de vigas el tiempo más largo si es Pintura (858,80 minutos). De igual manera, es la que marca el ritmo de producción diaria que es de 29 vigas.

Lo siguiente es determinar el porcentaje de utilización de las estaciones. Se toma como referencia la estación que produce el menor número de unidades y se considera que ésta está trabajando al 100% de su capacidad, por lo tanto las demás estaciones bajarán el ritmo de producción y estarán subutilizadas ya que deben ajustarse al cuello de botella o se acumulará inventario.

A continuación en la Tabla 33, se presenta el porcentaje de utilización de los sectores de columnas.

Secuencia	Sectores	% Utilización	Capacidad de Producción (Unidades)
17	Pintura	100,00%	14
13	Acabados columnas	93,25%	15
9	Soldadura con puntos columnas	86,81%	16
1	Corte Longitudinal	63,19%	22
11	Soldadura longitudinal columnas	38,06%	36

7	Armado previo columnas	37,51%	37
2	Enderezado patín-columna	13,95%	99
16	Pesado	6,34%	218
4	Corte transversal patín-columna	6,29%	220

Tabla 33: Porcentaje Utilización Actual estaciones columnas

En la Figura 21 se muestra los porcentajes actuales de utilización por sectores de trabajo

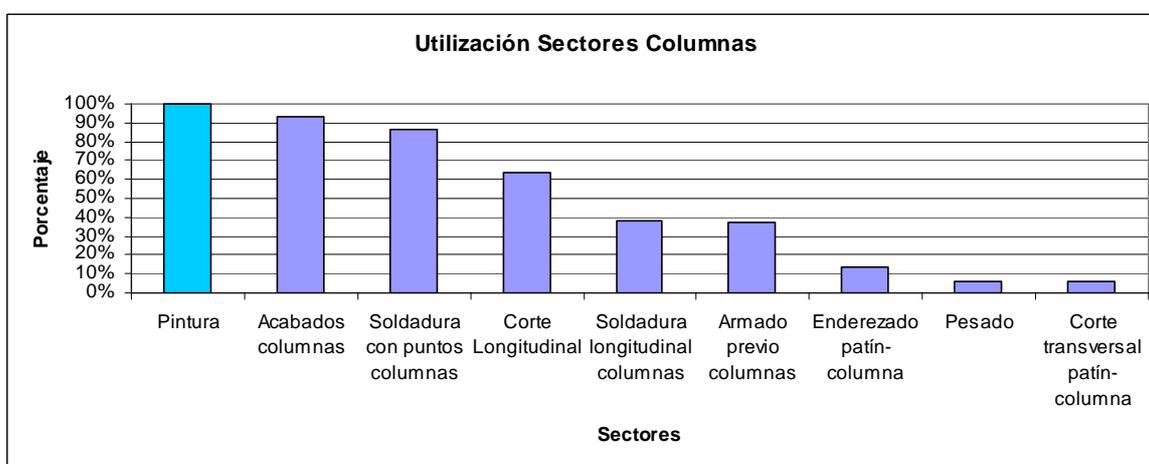


Figura 21: Porcentaje Actual Utilización estaciones columnas

En la actualidad se utilizan dos trabajadores para pintar columnas en lotes de dos en un área de 87,6 metros cuadrados. Es conveniente que los trabajadores asignados en corte transversal y enderezado trabajen medio tiempo y el resto del día sean reasignados a las estaciones de pintura y acabados en donde se puede agilizar el trabajo con más personal pues es una tarea manual a diferencia de la estación soldadura longitudinal donde la velocidad está dado por la máquina y adquirir una nueva sería muy costoso además que no existe el espacio físico disponible.

En la Tabla 34 se resumen las jornadas de trabajo para incrementar el porcentaje de utilización de las estaciones.

nuevas estaciones	Secuencia de sectores	Estaciones Recorridas para producir Columnas	Minutos estándar	Capacidad de Producción (Unidades)	% utilización	Jornada laboral
1	1	Corte Longitudinal	28,8	17	82,92%	8 horas
	2	Enderezado patín-columna	6,36	38	36,62%	4 horas
	4	Corte transversal patín-columna	2,87	84	16,53%	4 horas
2	7	Armado previo columnas	17,1	14	98,47%	4 horas
3	9	Soldadura con puntos columnas	39,58	16	86,83%	12 horas
4	11	Soldadura longitudinal columnas	17,35	14	99,91%	4 horas
5	13	Acabados columnas	42,52	15	93,28%	12 horas
6	16	Pesado	2,89	83	16,64%	4 horas
	17	Pintura	15,18	14	100,00%	12 horas
Tiempo total recorrido			172.65			

Tabla 34: Jornada laboral por estación propuesta

En resumen, las jornadas de trabajo en cada estación serían diferentes para aprovecharlas mejor, los sectores de trabajo que pertenecen a una misma estación deberán trabajar la misma cantidad de horas al día de tal forma que esas operaciones consecutivas trabajen como una unidad que es el objetivo del balanceo de línea. En las estaciones 1 y 6 de la Tabla 34 se puede observar que no todos los sectores deberían trabajar la misma cantidad de horas al día, esto se debe a que el sector de Corte Longitudinal de la estación 1 deben trabajar 8 horas en lugar de 4 horas y el de Pintura de la estación 6 debe trabajar 12 horas en lugar de 8 horas, para que su porcentaje de utilización no disminuya puesto que esto no sería conveniente.

A continuación en la Tabla 35, se presenta el porcentaje de utilización de los sectores de vigas.

Secuencia	Sectores	% Utilización	Capacidad de Producción (Unidades)
17	Pintura	100,00%	29
14-16	Enderezado vigas y pesado	54,22%	54
10	Soldadura longitudinal vigas	27,13%	108
12	Acabados vigas	25,21%	116
5	Corte transversal	21,05%	139
8	Soldadura con puntos viga	19,79%	148
3	Enderezado Alma y troquedado	15,44%	190
6	Armado previo vigas	12,19%	240

Tabla 35: Porcentaje Actual Utilización estaciones vigas

En la Figura 22 se muestra los porcentajes actuales de utilización por sectores de trabajo para vigas.

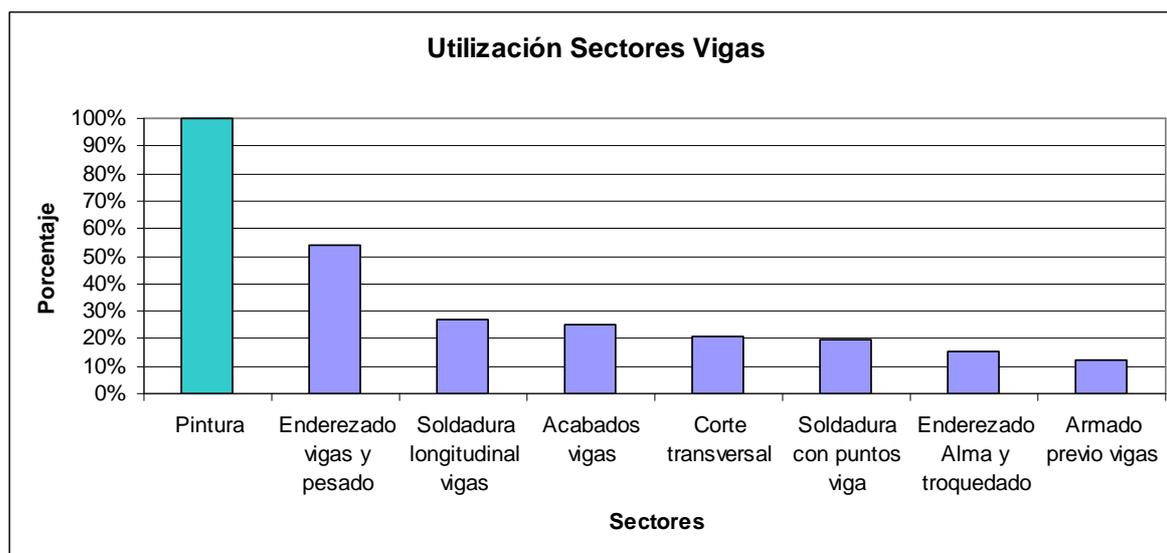


Figura 22: Porcentaje Actual Utilización estaciones vigas

En la actualidad se utilizan dos trabajadores para pintar vigas en lotes de cuatro en un área de 87,6 metros cuadrados. Es conveniente reducir las jornadas de trabajo en algunas estaciones de 12 horas a 8 horas, y en caso de que fuera necesario reducir a 4 horas la jornada, se reasignarían estos trabajadores a la estación de pintura o a realizar trabajos de mantenimiento en la planta.

A continuación en la Tabla 36 se resumen las jornadas de trabajo para incrementar el porcentaje de utilización de las estaciones:

Nuevas Estaciones	Secuencia de sectores	Estaciones Recorridas para producir Vigas	Minutos estándar	Capacidad de Producción (Unidades)	Porcentaje	Jornada laboral
1	5	Corte transversal	4,52	53	55,22%	4 horas
	3	Enderezado Alma y troquedado	3,32	72	40,56%	4 horas
	6	Armado previo vigas	2,62	92	32,01%	4 horas
	8	Soldadura con puntos viga	4,25	56	51,92%	4 horas
	10	Soldadura longitudinal vigas	5,83	41	71,23%	4 horas
2	12	Acabados vigas	5,42	44	66,22%	4 horas
	14-16	Enderezado vigas y pesado	11,65	41	71,16%	8 horas
3	17	Pintura	14,31	29	100,00%	12 horas
Tiempo total recorrido			51,92			

Tabla 36: Jornada laboral por estación Propuesta

La Tabla 36 detalla la jornada laboral más conveniente para cada sector de trabajo, de tal manera que los sectores que forman las estaciones trabajen como unidad en una línea de producción balanceada. En la estación 2 de la Tabla 36 se observa que dos sectores no trabajan la misma cantidad de horas, puesto que aumentar a 8 horas el sector 12 y disminuir a 4 horas el sector 14-16, ocasionaría una reducción en el porcentaje de utilización.

A los obreros se les paga por hora trabajada, al disminuir las horas de trabajo al día tanto para producir vigas como para columnas, los costos generales de mano de obra se reducirían, los turnos de 12 horas en pintura podrían ir rotando.

Del análisis anterior se observa que si la demanda del mercado se incrementara, se requiere aumentar el nivel de producción y la manera más conveniente de hacerlo sería mejorando las condiciones en la estación Pintura.

Capítulo 6

6.1 Marco Teórico Simulación

Simulación es la imitación de un proceso o sistema real⁵². El objetivo de realizar un modelo de simulación es simplificar la operación de un sistema complejo, de tal manera que permita entender, analizar y proponer mejoras al proceso sin tener que modificar el sistema real. Es apropiado utilizar simulación en las siguientes situaciones: cuando los resultados de modificar un sistema ayudan en la toma de decisiones, se quiere experimentar con nuevas políticas o diseño antes de ser implementados, cuando se quiere verificar soluciones analíticas y por último, cuando el sistema es tan complejo que solo puede ser analizado por medio de una simulación. Al contrario, no es recomendable utilizar simulación cuando: el problema puede ser resuelto por sentido común o analíticamente, si es posible realizar experimentos directamente en el sistema sin provocar consecuencias no deseadas, entre otras⁵³.

Para modelar un sistema es necesario entender el concepto de sistema. Un *sistema* es: “una colección de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar un cierto objetivo”.⁵⁴ El *estado de un sistema* se define como: “El conjunto mínimo de variables necesarias para describir todos aquellos aspectos de interés del sistema en un cierto instante de tiempo, a estas variables las llamaremos variables de estado”.⁵⁵ Los sistemas se clasifican en:

- **Sistemas continuos:** Las variables de estado del sistema evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo.

⁵² Banks Jerry, et al. , Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 3-4.

⁵³ --- . Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 5-6.

⁵⁴ --- . Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 5-6.

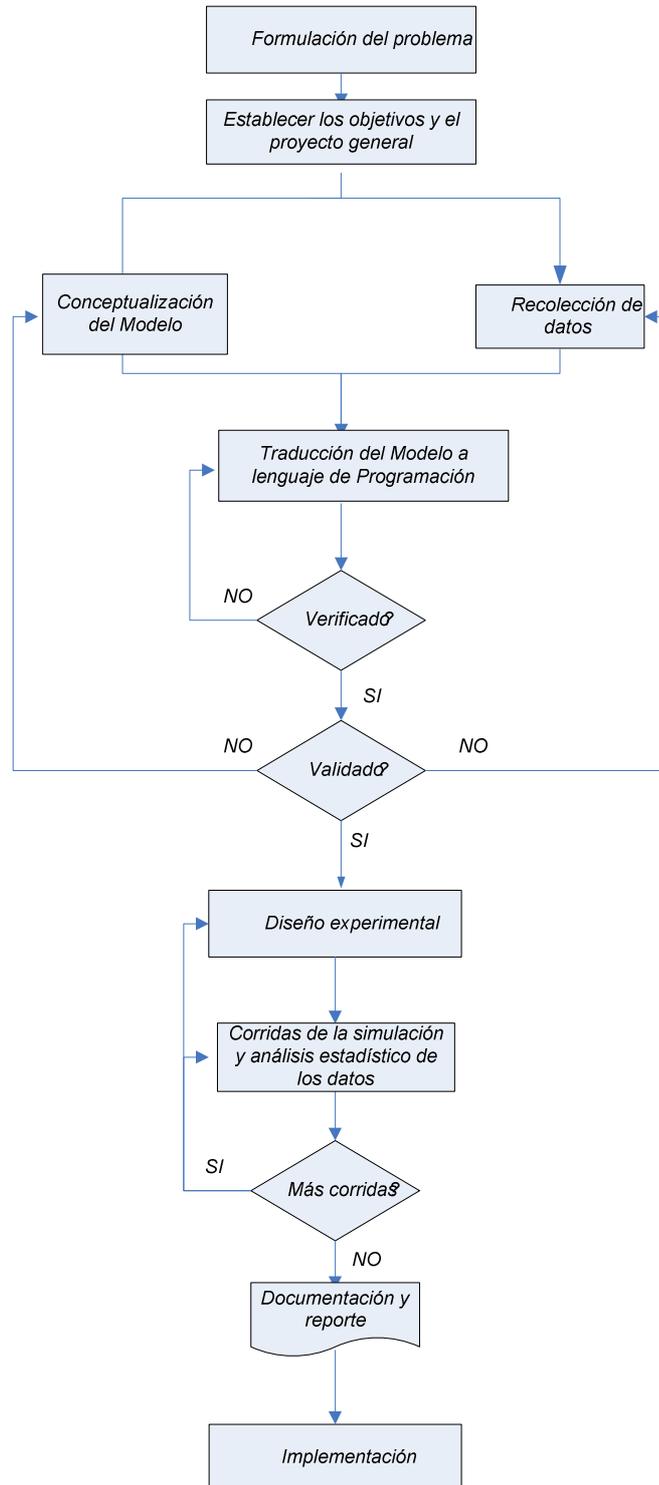
⁵⁵ --- . Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 5-6.

- **Sistemas discretos:** Las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante, y permanecen constantes el resto del tiempo.

En la Figura 23, se describen los pasos que se deben realizar para llevar a cabo una simulación.

Como se observa en la Figura 23 todo estudio debe iniciar con el enunciado del problema, el mismo que debe ser claro y entendible. Como segundo paso tenemos la formulación de los objetivos los mismo que van a ser contestados a través de la simulación. Al hablar de conceptualización del sistema se refiere a la construcción del modelo que represente al sistema en cuestión, abstrayendo las partes esenciales del mismo de tal manera que el modelo a construir sea lo más cercano al real. El siguiente paso es recolectar la información adecuada de acuerdo a los objetivos que se persiga, esta información debe ser tabulada de tal manera que pueda ser ingresada en un programa computacional de simulación, a este paso se le conoce como traducción del modelo. A continuación, el modelo debe ser verificado y validado. Verificar, tiene relación con el programa que se va a utilizar para simular el modelo es decir, comprobar que el programa está funcionando adecuadamente y que los datos de entrada estén correctamente representados en el software.⁵⁶

⁵⁶ Banks Jerry, et al. , Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 15.



57

Figura 23: Pasos para simular un sistema

⁵⁷ Banks Jerry, et al. , Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Pretince Hall, 2005) 15.

Por otro lado, validar significa comprobar si el sistema que se está simulando en la computadora representa el de la vida real. Los últimos pasos se refieren a establecer parámetros de la simulación tales como: número de corridas, período de inicialización, número de réplicas, entre otras. Luego de haber corrido la simulación el programa arrojará resultados los cuales deberán ser analizados previamente a ser implementados.⁵⁸

El software a utilizar en la simulación es Arena (Rockwell Software, 2003). Este programa sirve para simular sistemas continuos y discretos. Los sistemas son representados a través de procesos dinámicos en diagramas de flujo y almacenar los sistemas de información en hojas de cálculo. Los modelos de simulación se construyen por medio de objetos gráficos llamados módulos, los cuales representan la lógica del sistema y los componentes físicos tales como máquinas y operadores. Los módulos son representados por iconos y por la información que se ingresa en la ventana de diálogo.

Los elementos de un modelo en Arena son:

- **Entidades:** Son los objetos de interés del sistema. Son elementos dinámicos del modelo que se crean, se mueven por el modelo durante un tiempo y finalmente lo abandonan.⁵⁹
- **Atributos:** Es una característica de todas las entidades pero con un valor específico que puede diferir de una entidad a otra.⁶⁰
- **Variables:** Es un fragmento de información que refleja alguna característica del sistema, independientemente de las entidades que se muevan por el modelo. Se pueden

⁵⁸ Banks Jerry, et al. , Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 14-17.

⁵⁹“Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>

⁶⁰ “Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>

tener varias variables en el modelo pero cada una es única. Existen dos tipos de variables, las prefabricadas de Arena y las definidas por el usuario.⁶¹

- **Recursos:** Las entidades compiten por ser servidas por recursos que representan cosas como: el personal, equipo, espacio de un almacén de tamaño limitado, etc. Una o varias unidades de un recurso son asignadas a una entidad, y son liberadas cuando terminan su trabajo. Una entidad puede recibir simultáneamente servicio de varios recursos.⁶²
- **Colas:** Su función es proveer un espacio donde esperar hasta que el recurso quede libre cuando una entidad no puede continuar su movimiento a través del modelo porque necesita un recurso que está ocupado.⁶³
- **Eventos:** Es algo que sucede en un instante determinado de tiempo en la simulación que podría hacer cambiar los atributos o variables.⁶⁴

6.2 Simulación del comportamiento del sistema actual de producción, resultados y análisis

Siguiendo la metodología planteada en la Figura 23, primero se determina el problema. En la empresa se plantea la necesidad de modificar la distribución física actual, es necesario determinar con anterioridad si los cambios propuestos son beneficiosos para la empresa o si no tienen ningún efecto positivo, pues por el tamaño y peso de las máquinas moverlas es complicado

⁶¹ “Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/assignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>.

⁶² “Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/assignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>.

⁶³ “Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/assignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>.

⁶⁴ “Simulación”, 22 de Julio 2007

<<http://gio.uniovi.es/documentos/assignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>.

y se invertiría demasiado tiempo productivo en realizar los cambios. Por esta razón se decidió simular previamente el sistema para tomar una decisión con base en los resultados de la misma.

Posterior a esto se determinan los objetivos de realizar la simulación, el principal objetivo de esta primera simulación es validar los resultados obtenidos en el capítulo 5 sobre la capacidad de producción diaria tanto de vigas como de columnas en la empresa y calcular un porcentaje de error.

En la conceptualización del modelo, se lo construye incluyendo las partes más importantes del sistema de modo que se acerque a la realidad. En la Tabla 37 a continuación se presentan los módulos utilizados para simular el sistema.

Módulos Utilizados	¿Cómo se utilizaron en el software?
 Process	El módulo de proceso fue el más utilizado en la simulación e hizo la función de estaciones de trabajo.
 Create	El módulo crear se utilizó para generar las entradas de materia prima al sistema.
 Dispose	Para modelar la salida de entidades del sistema se utilizó el módulo descartar.
 Decide	En ciertas etapas del modelo era necesario tomar una decisión antes de continuar al siguiente proceso para lo cual se utilizó el módulo decidir.
 Route Station	Los módulos ruta junto con estación se utilizaron cuando el material se transportaba de un proceso a otro.
 Match	Otro módulo utilizado fue el módulo relacionar que sirvió precisamente para relacionar dos entidades, por ejemplo, un lote permanente de dos flejes y un alma, cada una espera en una cola diferente y cuando hay una de cada tipo se mueven hacia un lote permanente para formar una nueva entidad llamada viga.
 Batch Separate	Para que el sistema se ajuste a la realidad, en ciertas ocasiones fue necesario crear lotes temporales de material los mismos que luego eran separados para ser procesados en otra estación, en otras ocasiones se crearon lotes permanentes. Por ejemplo, en un inicio se crearon flejes pero en el proceso de “soldadura con puntos columnas”, 4 flejes forman una nueva entidad llamada columna, el lote de cuatro ya no se separa.
 Record	El módulo sirve como un contador adicional en caso de que se necesite verificar información adicional a la generada por el sistema.
 Assign	Este módulo se utiliza para asignar características propias a una entidad, la utilidad de esto es que cuando dos entidades diferentes se procesen en una misma estación, el tiempo de procesamiento para cada entidad sea el asignado previamente.

Tabla 37: Módulos Utilizados en el modelo de simulación

Las entidades creadas inicialmente son almas y flejes, posteriormente 2 flejes y un alma se unen para formar una nueva entidad llamada viga, y 4 flejes se unen para formar una nueva entidad llamada columna.

Para modelar los tiempos de proceso en los sectores de trabajo (process) se utilizan los mismos datos tomados para el desarrollo del capítulo 5 ajustándolos a una distribución triangular, pues el número de ciclos que era necesario tomar para la determinación de tiempos estándares era pequeño como para que los datos se ajusten a una distribución de probabilidad teórica. Del total de ciclos tomados por estación se obtiene el valor mínimo, valor más probable y valor máximo. El valor más probable se calcula con la fórmula 6.1.⁶⁵

$$\text{Valor más probable} = (3 * \text{Valor promedio}) - \text{valor máximo} - \text{valor mínimo} \quad (6.1)$$

En el caso de los tiempos de transporte se toman datos adicionales (20 datos en algunos casos y 10 datos en otros, que corresponden al máximo número de repeticiones al día de estos transportes en la fábrica según sea el caso), luego se ingresan estos datos en el Input Analyzer de Arena (Rockwell Software, 2003) para obtener las distribuciones estadísticas a las que se ajustan. Estos datos se encuentran en el Anexo 5.

En la Figura 24 se presenta el diagrama de flujo de la lógica utilizada para simular la producción de vigas y columnas en la empresa. El diagrama se lo realizó en el software Arena (Rockwell Software, 2003).

⁶⁵ Banks Jerry, et al. , Discrete-Event System Simulation, (New Jersey: Prentice Hall, 2005) 182.

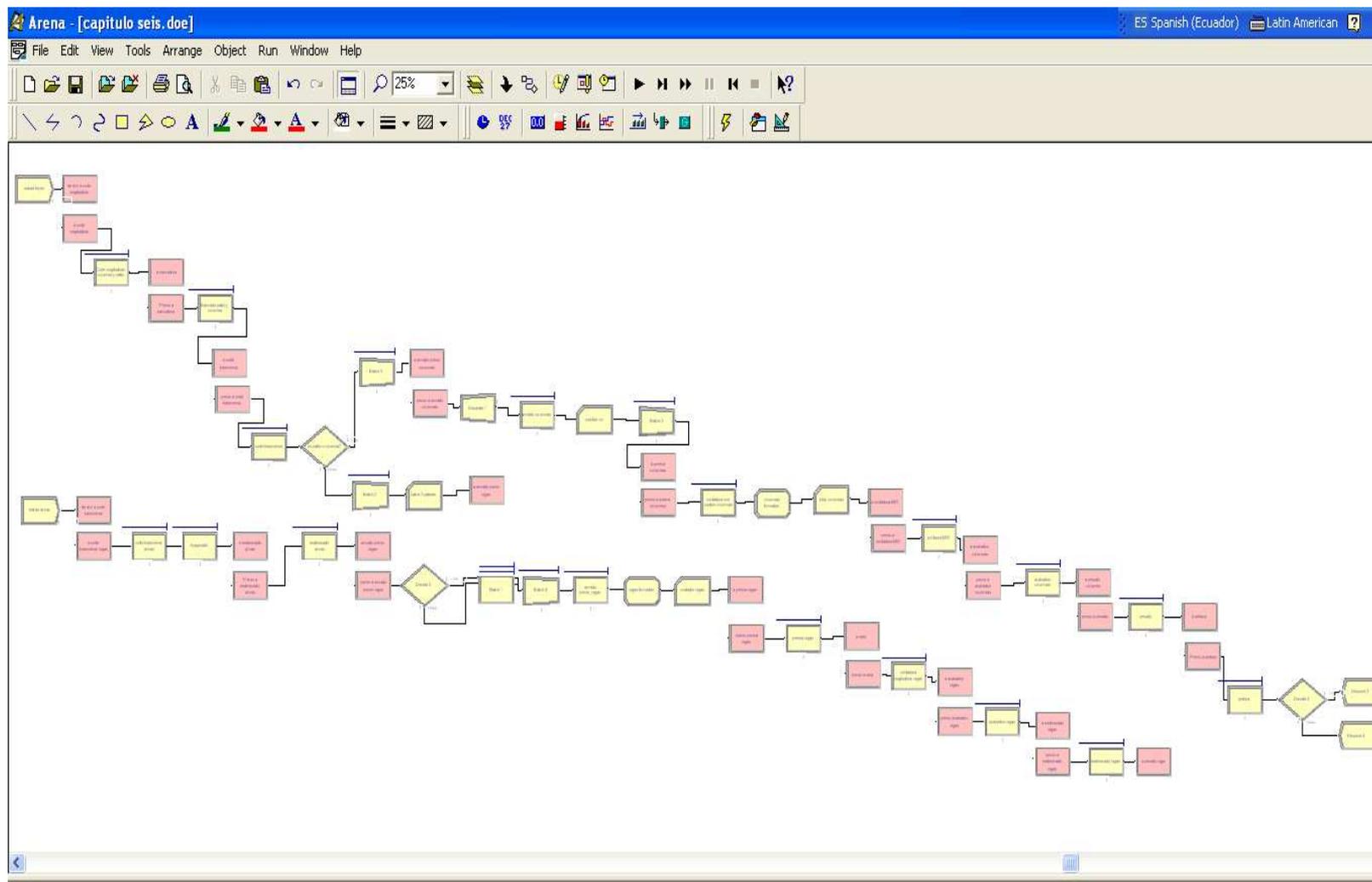


Figura 24: Esquema de Modelo de simulación

Una vez definido el modelo con las distribuciones de los tiempos reales se realizan pruebas iniciales (pruebas de verificación y validación) para ver que tanto las entidades en la simulación se ajustan al comportamiento real en la empresa. Se realizan correcciones al modelo hasta obtener un modelo válido.

Los principales ajustes que se realizaron fueron en la velocidad de entrada de materia prima al sistema, se decidió definir entradas masivas de materia prima, esto ocasiona que la primera máquina trabaje al máximo pero que las demás no se queden sin material para procesar por retrasos entre arribos de material.

Se simula un mes de trabajo en la empresa, como se trabajan los sábados se realizan 24 corridas, cada una de 10,5 horas. Para cada réplica Arena (Rockwell Software, 2003) inicializa nuevamente el sistema lo que significa que el inventario que quedó en proceso el día anterior no se utiliza en el siguiente, en la realidad ocurre lo contrario, cada nuevo día empieza con el material que quedó en proceso el día anterior. Por esta razón lo ideal sería realizar algunas corridas continuas de 252 horas (24 días * 10,5 horas) con un calentamiento inicial de 1 día (10,5 horas). Por limitaciones en la versión académica que disponemos de Arena (Rockwell Software, 2003) esto no es posible (debido a que se excedería el número de entidades en el sistema en un momento dado); así que la producción diaria será inferior a la real y el porcentaje de error se incrementará.

Con todos los criterios mencionados anteriormente se corre la simulación y se obtienen resultados para realizar un análisis en función de los objetivos planteados inicialmente.

6.2.1 Resultados

Haciendo uso de los reportes generados por Arena se analizan los resultados obtenidos. En las Figuras 25 y 26 se muestran ejemplos de los resultados obtenidos en las corridas.

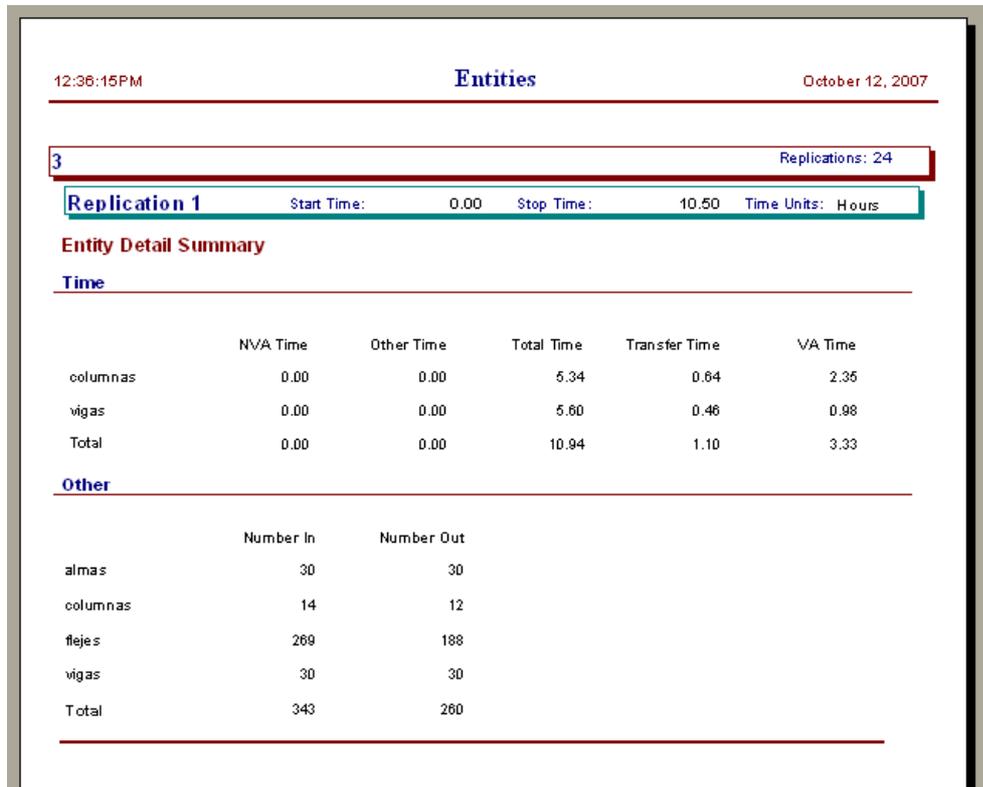


Figura 25: Resultados de Entidades en la Replicación # 1 de la simulación del Sistema Actual

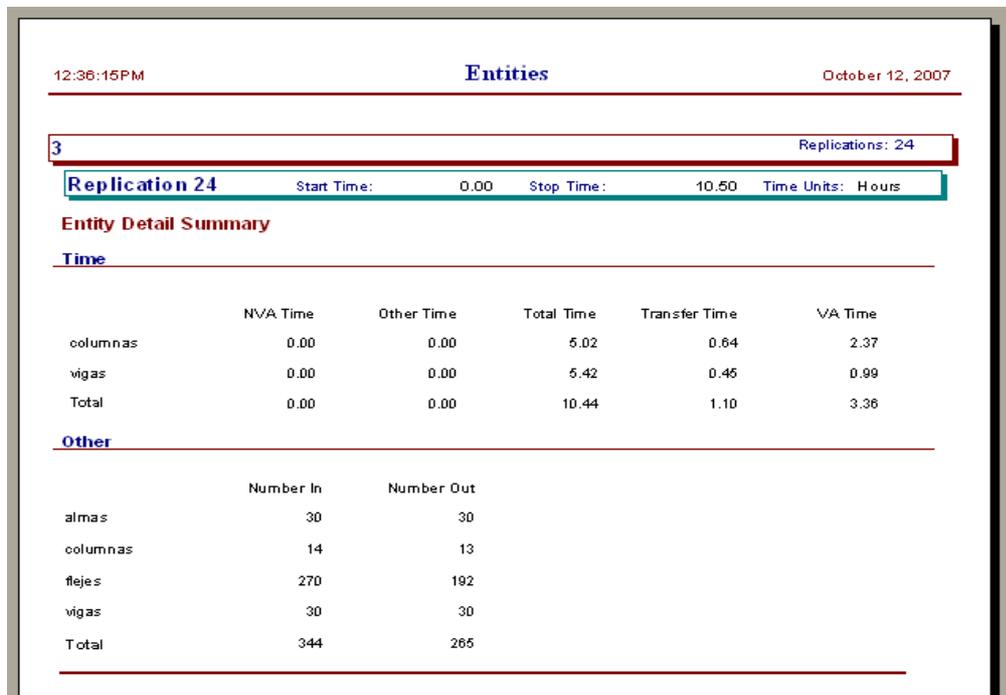


Figura 26: Resultados de Entidades en la Replicación # 24 de la simulación del Sistema Actual

En la Tabla 38 se presenta la cantidad de vigas y de columnas que ingresaron y que salieron del sistema:

# de replicación	vigas que entran al sistema	vigas que salen del sistema	columnas que entran al sistema	columnas que salen del sistema
1	30	30	14	12
10	30	29	15	12
11	30	28	15	12
12	30	30	15	13
13	30	30	14	12
14	30	30	14	12
15	30	30	14	12
16	30	30	15	10
17	30	30	13	11
18	30	30	13	11
19	30	30	12	10
2	30	29	15	11
20	30	30	14	12
21	30	30	14	12
22	30	30	13	11
23	30	30	14	12
24	30	30	14	13
3	30	30	14	12
4	30	29	15	12
5	30	30	14	12
6	30	30	15	12
7	30	30	15	13
8	30	30	14	12
9	30	30	14	12
Promedio	30	29,79	14,13	11,79
Promedio redondeado	30	30	14	12
Moda	30	30	14	12

Tabla 38: Resultados obtenidos en la simulación

Como se observa en la Tabla 38 en promedio salen del sistema o se producen diariamente 30 vigas y 12 columnas. Se puede observar también que en general el número de vigas que ingresa al sistema es igual al número de vigas que sale del mismo, sin embargo no ocurre lo mismo para el caso de columnas, donde es mayor el número de entidades que quedan en proceso al

finalizar el día, esto se debe a que los tiempos en las estaciones sobretodo de acabados y pintura son superiores en comparación a los de vigas.

6.2.2 Porcentaje de Error y Análisis

Primero se compara la diferencia entre el promedio de unidades producidas tanto de vigas como de columnas de las 24 corridas de Arena con los resultados del Capítulo 5. Posterior a esto se realizará una comparación de los porcentajes de utilización de las máquinas obtenidos en Arena vs. los calculados en el Capítulo 5.

Para calcular el porcentaje de error en las unidades diarias producidas obtenidas en Capítulo 5 y la simulación se utiliza la siguiente fórmula⁶⁶:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{\text{valor verdadero} - \text{valor experimental}}{\text{valor verdadero}} \times 100 \quad (6.2)$$

En la Tabla 39 se calcula el porcentaje de error en la simulación tanto para vigas como para columnas.

Resultados VIGAS			Resultados COLUMNAS		
Cap.5	Simulación	% de error de la simulación	Cap.5	Simulación	% de error de la simulación
29	30	3,45%	14	12	14,29%

Tabla 39: Porcentaje de Error Obtenido en la simulación

Como se puede ver en la Tabla 39 el porcentaje de error que se obtiene para el caso de vigas es 3,45 %, con una diferencia de 1 unidad más en la simulación. El porcentaje obtenido para el caso de columnas es del 14,29% con dos unidades menos en la simulación de lo obtenido anteriormente en el capítulo 5. Este porcentaje de error se debe a las razones mencionadas anteriormente, como por ejemplo:

⁶⁶ “Porcentaje de error”, 6 de Octubre 2007 <<http://html.rincondelvago.com/balanza-granataria.html>>.

- Por limitaciones en el número de entidades que pueden estar en el sistema que presenta la versión académica de Arena no es posible colocar un tiempo de calentamiento previo para la simulación diaria
- En uno de los módulos de decisión en el que se debe asignar 50% de la producción de flejes para vigas como para columnas, Arena (Rockwell Software, 2003) no distribuye en igual proporción los flejes debido a la generación de números aleatorios que utiliza el programa.
- Arena (Rockwell Software, 2003) genera números aleatorios en función de las distribuciones obtenidas del Input Analyzer, las mismas que se encuentran en los Anexos 5 y 6. No todas las distribuciones tienen un ajuste R^2 cercano a uno, que sería lo ideal para que los tiempos generados sean similares a los tiempos estándares. El coeficiente de determinación R^2 , mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente (Y) respecto a su media que es explicada por el modelo de regresión, si R^2 es cercano a uno quiere decir que el modelo de distribución estadística tiene un buen ajuste y puede utilizarse con confianza⁶⁷.
- En el Capítulo 5 se utilizaron los tiempos de transporte para las unidades dentro de estaciones y entre ellas como uno sólo. En Arena (Rockwell Software, 2003) los tiempos de transporte entre estaciones fueron separados para poder verificar si el cambio en la distribución de las máquinas o estaciones tiene algún efecto positivo o negativo.
- En la empresa, el sector Pintura se comparte entre vigas y columnas, por esta razón para la obtención de la capacidad de producción diaria se asignó la disponibilidad de la

⁶⁷“Error cuadrado”, 6 de Octubre 2007 <
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/est/lib0385/anex15.HTM>> .

estación Pintura en un 33,3% para columnas y 66,6% para vigas. En la simulación no es posible asignar esta misma disponibilidad, sino que el programa realiza la actividad pintura en función del orden de llegada de la entidad a la cola del sector.

Ahora se comparan los resultados de la simulación y el capítulo 5, relacionados con el porcentaje de utilización de los sectores de trabajo.

En la Figura 27 se presentan los resultados generados por Arena (Rockwell Software, 2003) correspondientes al tiempo de utilización de las máquinas, los datos a utilizar para los cálculos posteriores son los correspondientes al tiempo promedio.

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
balanza	0.1045	0.00	0.0977	0.1091	0.00	1.0000
cortadora 1	0.6502	0.00	0.6434	0.6611	0.00	1.0000
cortadora 2	0.6501	0.00	0.6376	0.6586	0.00	1.0000
cortadora almas	0.1869	0.00	0.1713	0.2066	0.00	1.0000
enderezadora almas	0.0982	0.00	0.0920	0.1050	0.00	1.0000
enderezadora vigas	0.3831	0.01	0.3659	0.4107	0.00	1.0000
maquina barolado patincolumna	0.2093	0.00	0.2011	0.2183	0.00	1.0000
maquina de corte transversal	0.1254	0.00	0.1233	0.1280	0.00	1.0000
prensa columnas	0.8200	0.02	0.7035	0.8760	0.00	1.0000
rana	0.2256	0.00	0.2166	0.2319	0.00	1.0000
soldadora acabados vigas	0.2472	0.00	0.2263	0.2648	0.00	1.0000
soldadora con puntos vigas	0.1830	0.00	0.1712	0.1912	0.00	1.0000
soldadora de acabados columnas	0.6917	0.02	0.5785	0.7446	0.00	1.0000
soldadora MIG	0.3572	0.01	0.3200	0.3820	0.00	1.0000
soldadura con electrodos vigas	0.1018	0.00	0.0942	0.1088	0.00	1.0000
soldadura electrodo columnas	0.4390	0.02	0.3777	0.4937	0.00	1.0000
soplete	0.8318	0.01	0.7846	0.8571	0.00	1.0000
troqueladora	0.06150794	0.00	0.05883120	0.06313164	0.00	1.0000

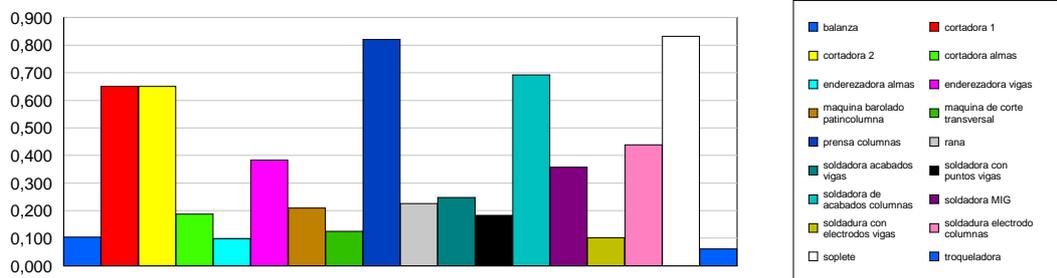


Figura 27: Reporte Arena: Tiempo de utilización de los recursos (horas)

En la Tabla 40 se seleccionan los recursos de la Figura 27, que corresponden a los sectores de columnas. Para validar el modelo de simulación se compara los resultados de la Tabla 40 con los resultados de la Tabla 33. Para realizar esta comparación en iguales condiciones, es necesario transformar el promedio de utilización por recurso de Arena (Rockwell Software, 2003) Figura 27, a su equivalente en porcentaje, tomando como referencia al sector pintura el cual se utiliza el 100%.

**Resource
Usage**

Instantaneous Utilization

Columnas			
Sector	Recurso	Promedio (horas)	Porcentaje de Utilización
Pintura	Soplete	0,83	100%
Soldadura con puntos columnas	prensa columnas	0,82	99%
Acabados Columnas	soldadora de acabados	0,69	83%
Corte Longitudinal	cortadora 1	0,65	78%
Armado Previo Columnas	soldadura electrodo columnas	0,44	53%
Soldadura Longitudinal Columnas	soldadora MIG	0,36	43%
Enderezado patín-columna	máquina barolado patín-columna	0,21	25%
Corte transversal patín-columna	Máquina de corte transversal	0,13	15%
Pesado	Balanza	0,10	13%

Tabla 40: Porcentaje de Utilización columnas transformado de los resultados de Arena

A continuación en la Figura 28 se grafican los resultados de la Tabla 40.

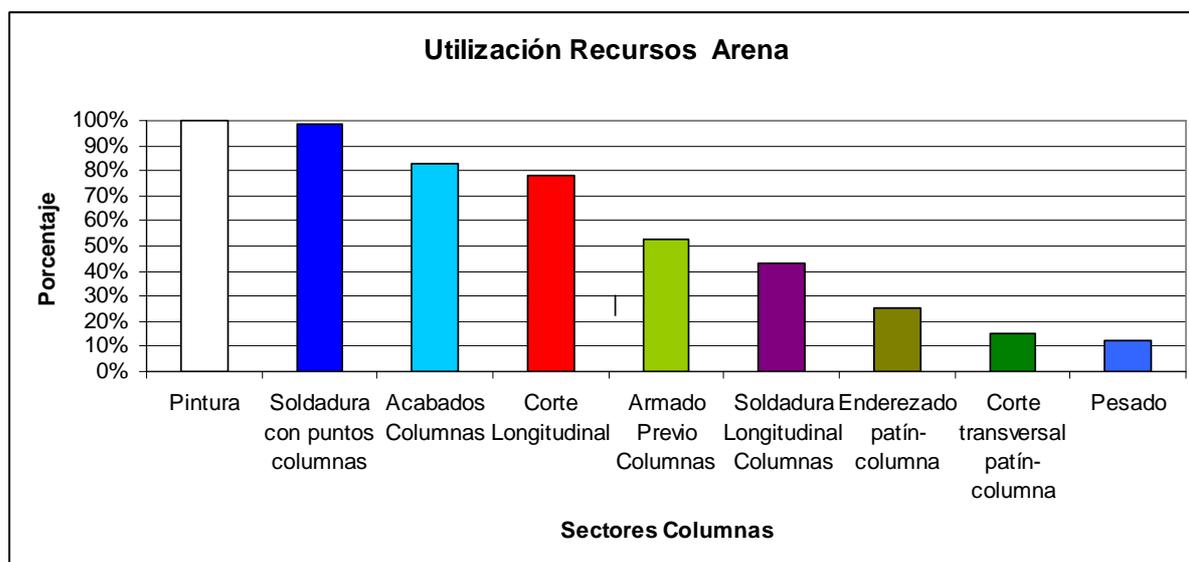


Figura 28: Porcentaje de Utilización columnas

El objetivo de realizar la Figura 28 es comparar visualmente la utilización de los sectores generados en el software Arena, con la utilización de los sectores obtenidos en el Capítulo 5, Figura 29. Para esto, tanto en la Figura 28 como en la Figura 29, se utilizan los estándares de colores de la Figura 27, generada por Arena (Rockwell Software, 2003).

A continuación en la Figura 29 se grafican los porcentajes de utilización de los sectores de columnas, tomando como referencia la Tabla 33.

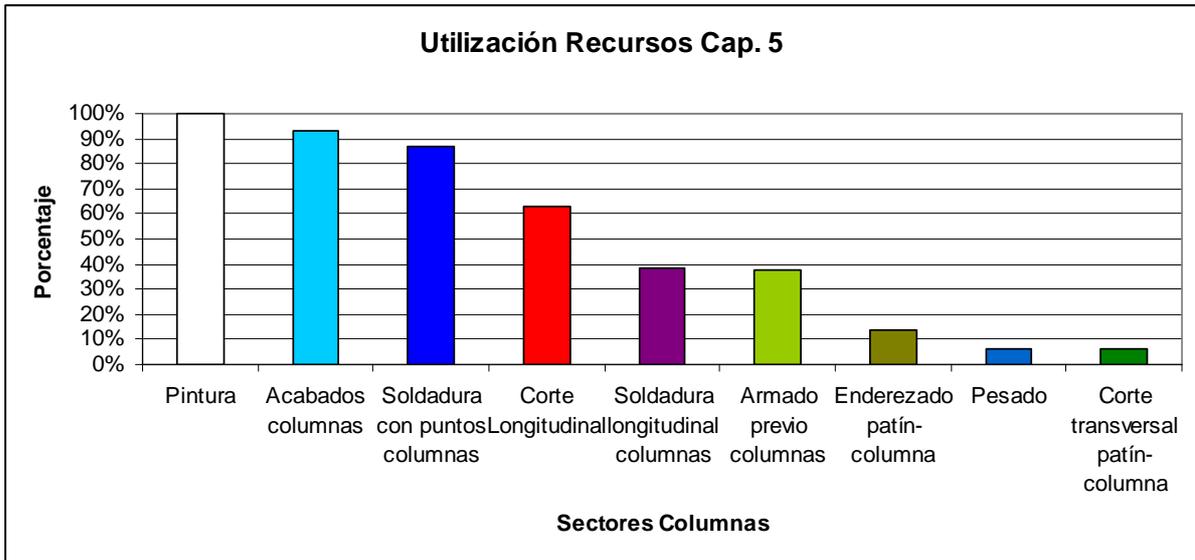


Figura 29: Porcentaje de utilización Cap. 5

Al comparar las Figuras 28 y 29, se observa que la utilización de los sectores de trabajo tiene una tendencia similar, lo que sirve como criterio para validar el modelo de simulación obtenido. Existen algunas excepciones, detalladas a continuación:

- En la Figura 28 se observa que el porcentaje de utilización del sector Corte Longitudinal es más alto que en la Figura 29, como se explicó anteriormente esto se debe a que en la simulación la materia prima entra en lotes grandes para evitar que otras estaciones se queden sin material, por lo tanto trabaja al máximo. En la empresa este sector no trabaja a este ritmo pues como ya se tiene material en proceso del día anterior, las entradas de materia prima diarias son menores.
- Entre las Figuras 28 y 29, existen pequeñas diferencias de orden, entre acabados columnas y soldadura con puntos columnas, y entre soldadura longitudinal columnas y armado previo columnas, estas variaciones pueden ser resultado de los números aleatorios que se generan en el software.

A continuación en la Tabla 41 se seleccionan los recursos de la Figura 27, que corresponden a los sectores de vigas. Para validar el modelo de simulación, en la parte de vigas se comparan los resultados de la Tabla 41 con los resultados de la Tabla 35. Para realizar esta comparación en iguales condiciones, es necesario transformar el promedio de utilización por recurso de Arena (Rockwell Software, 2003) Figura 27, a su equivalente en porcentaje, tomando como referencia al sector pintura el cual se utiliza el 100%.

**Resource
Usage
Instantaneous Utilization**

Vigas			
Sector	Recurso	Promedio (horas)	Porcentaje de Utilización
Pintura	Soplete	0,83	100%
Enderezado Vigas y pesado	enderezadora vigas y balanza	0,48	58%
Acabados Vigas	soldadora acabados vigas	0,25	30%
Soldadura Longitudinal Vigas	Rana	0,23	27%
Corte Transversal Almas	cortadora almas	0,19	22%
Soldadura con Puntos Vigas	soldadora con puntos vigas	0,18	22%
Enderezado Almas y troquelado	enderezadora almas y troquel	0,16	19%
Armado Previo Vigas	soldadura con electrodos vigas	0,10	12%

Tabla 41: Porcentaje de Utilización vigas transformado de los resultados de Arena

A continuación en la Figura 30 se grafican los resultados de la Tabla 41.

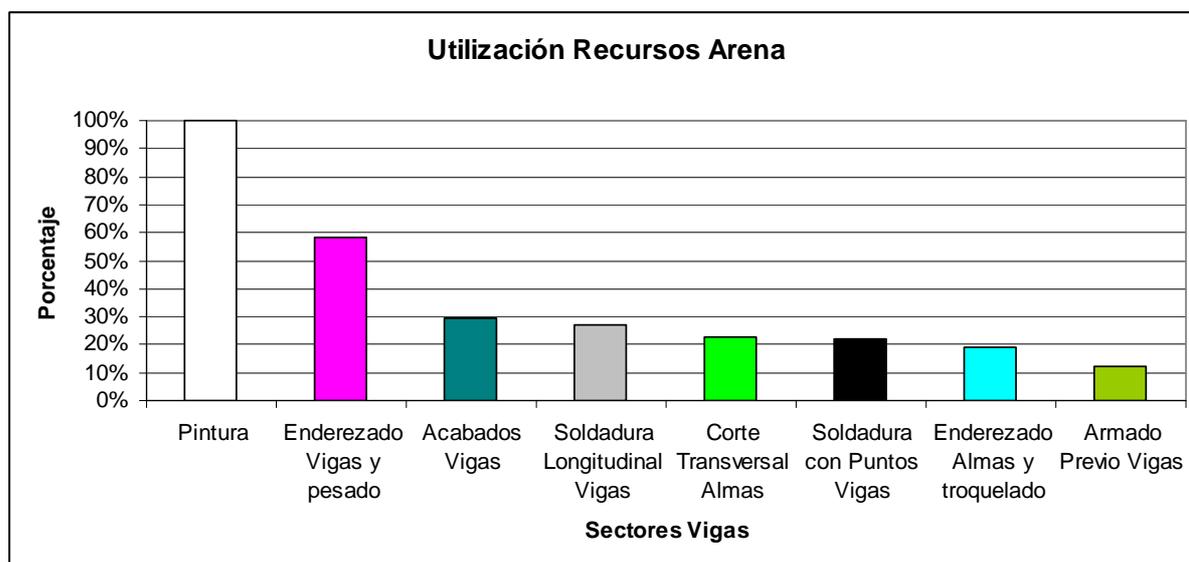


Figura 30: Porcentaje de Utilización vigas

El objetivo de realizar la Figura 30 es comparar visualmente la utilización de los sectores generados en el software Arena, con la utilización de los sectores obtenidos en el Capítulo 5, Figura 31. Para esto, al igual que para el caso de columnas, tanto en la Figura 30 como en la Figura 31, se utilizan los estándares de colores de la Figura 27, generada por Arena (Rockwell Software, 2003).

En la Figura 31 se grafican los porcentajes de utilización de los sectores de vigas, tomando como referencia la Tabla 35.

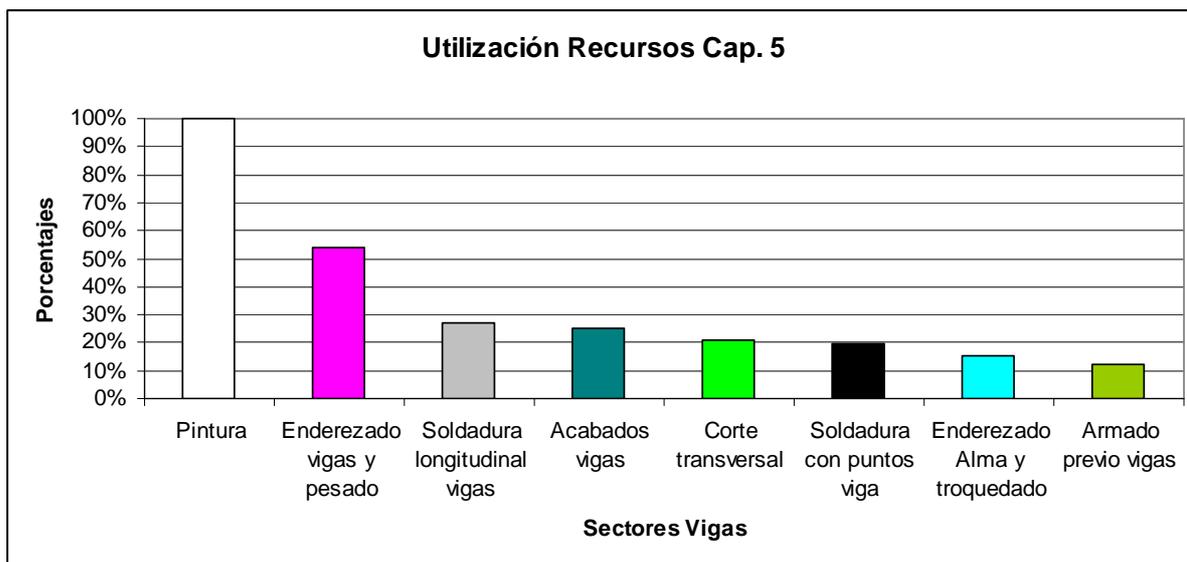


Figura 31: Porcentaje de Utilización Cap. 5

Al comparar las Figuras 30 y 31, se observa que la utilización de los sectores de trabajo tiene una tendencia similar, lo que sirve como criterio para validar el modelo de simulación obtenido.

Por los resultados positivos obtenidos en el cálculo del porcentaje de error y comparación de la utilización de los sectores de trabajo se puede aceptar la validez del modelo y por lo tanto seguir a la siguiente etapa que es compararlo con el mejor modelo de distribución planteado.

6.3 Simulación del sistema de producción con la mejor distribución física planteada, resultados y análisis

El proceso de simulación que se realiza en este capítulo es el mismo del capítulo 6.2, pero para este caso los tiempos de transporte cambian pues hay un cambio en la distribución física de la planta. El cambio en la distribución física de la planta implica reducir distancias entre estaciones;

con esto se reduce, de forma directamente proporcional, el tiempo de transporte de materiales del puente grúa. La velocidad a la que éste se mueve es independiente del peso que soporta, por lo tanto el tiempo que toma transportar material de una estación a otra depende únicamente de la distancia que se debe recorrer, si ésta se reduce, los tiempos se reducen en igual proporción. Para obtener los nuevos tiempos de transporte, se aplicó el factor de reducción en las distancias a los tiempos tomados originalmente. Estos tiempos junto con sus nuevas distribuciones de probabilidad se muestran en el Anexo 6.

El objetivo de la simulación con la disposición alternativa es:

- Determinar los beneficios obtenidos con las propuestas de cambio de distribución de la planta planteadas en el capítulo 3.4. Reducción de tiempos de transporte e incremento en el volumen de producción diario.
- Analizar si la diferencia entre el modelo actual y el propuesto es estadísticamente significativa.

6.3.1 Resultados y Análisis

El modelo y los parámetros utilizados en la nueva simulación son los mismos utilizados anteriormente, únicamente se modificó la distribución de probabilidad de los tiempos de transporte.

Los resultados de esta nueva corrida se presentan en la Tabla 42.

# de replicación	Vigas que entran al sistema	vigas que salen del sistema	columnas que entran al sistema	Columnas que salen del sistema
1	30	30	15	12
10	30	30	15	12
11	30	30	15	12
12	30	30	13	12
13	30	30	14	12
14	30	30	15	12
15	30	30	14	12
16	30	30	14	12
17	30	30	15	12
18	30	30	12	10
19	30	30	15	13
2	30	30	15	12
20	30	30	14	12
21	30	30	15	13
22	30	30	13	11
23	30	30	13	11
24	30	30	15	13
3	30	30	14	13
4	30	30	14	12
5	30	30	14	12
6	30	27	15	12
7	30	30	14	12
8	30	30	14	12
9	30	28	15	11
Promedio	30	29,79	14,25	11,96
Promedio redondeado	30	29	14	12
Moda	30	30	15	12

Tabla 42: Resultados Simulación con nuevos tiempos de transporte

En la Tabla 42 se observan los resultados de las 24 nuevas corridas generadas. A continuación, en la Tabla 43, se presenta una comparación entre estos resultados y los obtenidos en el capítulo 6.2.

	RESULTADOS SIMULACIÓN			
	Número de Vigas		Número de Columnas	
	Modelo Actual	Modelo Propuesto	Modelo Actual	Modelo Propuesto
Media	29,79	29,79	11,79	11,96
Varianza	0,26	0,52	0,61	0,48

Tabla 43: Comparación de resultados Simulación entre modelo Actual y propuesto

Es necesario redondear a enteros los resultados obtenidos en la Tabla 43, pues un producto es una unidad entera, con lo que se obtiene, que las unidades que se producen al día tanto de vigas como de columnas son iguales (30 vigas y 12 columnas) si la fábrica sigue con su modelo de distribución física actual (ver Tabla 38), como si se opera con el modelo propuesto.

Se realizará una prueba de hipótesis sobre la igualdad de dos medias con varianzas conocidas, haciendo uso de los decimales obtenidos en las dos simulaciones para ver si entre los dos modelos existe una diferencia de medias estadísticamente significativa.

Para hacer esta prueba se asume que los datos siguen una distribución normal y se utiliza la siguiente fórmula⁶⁸.

$$Z_0 = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)}} \quad (6.3)$$

Lo que se busca es probar la hipótesis de que las dos medias poblacionales μ_1 y μ_2 son iguales

Hipótesis nula: $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Hipótesis alternativa: $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Para probar la hipótesis nula se calcula el estadístico de prueba Z_0 , se rechaza $H_0: \mu_1 = \mu_2$, si $Z_0 > Z_{\alpha/2}$ o si $Z_0 < -Z_{\alpha/2}$ ⁶⁹

Para hacer estos cálculos se utilizan los resultados de las simulaciones.

Donde:

μ_1, σ_1 : corresponden a la media y varianza de la simulación para el sistema de distribución física actual de la empresa.

⁶⁸ Montgomery Douglas y Runger, George, Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería, (México: McGraw-Hill, 1996) 396.

⁶⁹ --- . Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería, (México: McGraw-Hill, 1996) 396-397.

μ_2, σ_2 : corresponden a la media y varianza de la simulación para el sistema de distribución física propuesto de la empresa.

Se decide probar la hipótesis nula con un nivel de significancia (α) o probabilidad de cometer el error tipo I de 0,05. El error Tipo I se define como el rechazo de la hipótesis nula H_0 cuando esta es verdadera⁷⁰. Se prefiere utilizar este error pues en caso de que se rechace H_0 no habría suficiente evidencia para aceptar H_1 , es decir no existiría evidencia para aceptar que las dos medias son diferentes cuando no lo son y evitar invertir en los cambios en la empresa cuando esto no va a representar ninguna mejora en los niveles de producción.

Utilizando los datos de la Tabla 43 y la fórmula 6.3 se realiza el cálculo de la prueba de hipótesis para vigas y para columnas.

$$Z_{0 \text{ de VIGAS}} = \frac{(29,79-29,79)}{\sqrt{\frac{(0,2592)^2}{24} + \frac{(0,5192)^2}{24}}} = 0$$

$$Z_{0 \text{ de COLUMNAS}} = \frac{(11,79-11,96)}{\sqrt{\frac{(0,6062)^2}{24} + \frac{(0,4762)^2}{24}}} = -1,080$$

$$Z_{\alpha/2} = Z_{0,05/2} = 1,96$$

Entonces, como $Z_0 < Z_{0,025}$ tanto para el caso de vigas como de columnas no es posible rechazar la hipótesis nula, con un nivel de significancia de 0,05 no se tiene una evidencia fuerte que permita concluir que las medias son diferentes.

Con estos resultados se puede concluir que la producción que se obtiene actualmente en la empresa no va a cambiar significativamente al realizar las modificaciones propuestas a la distribución física de la planta. No es conveniente realizar los cambios que se propusieron en la

⁷⁰ --- . Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería, (México: McGraw-Hill,1996) 373-374.

sección 4, pues sería necesario parar la producción mientras se hacen los cambios e invertir tiempo y dinero en vano.

Capítulo 7

7.1 Conclusiones

- Reubicando las máquinas de la empresa como se indica en la Figura 16, se consigue un mejor manejo de materiales a través de los sectores involucrados en la producción de vigas y columnas y por lo tanto una reducción en los tiempos de transporte, tal como se prueba en los Anexos 5 y 6.
- En la empresa no existía ningún registro de tiempos estándares por sectores de trabajo. El estudio de tiempos realizado permite establecer un día de trabajo justo, si se implementan los resultados de este estudio, se beneficiarán tanto la empresa como el trabajador. La empresa que estaría pagando en función del trabajo realizado y el trabajador que podría exigir alzas de sueldos si mejoran el nivel de producción estándar.
- Al iniciar este proyecto de tesis se pensaba que la planta estaba trabajando a su capacidad máxima, pero luego de calcular tiempos estándares se observó que no era así, la estación pintura es el cuello de botella; para no generar inventario las demás estaciones están siendo subutilizadas. A pesar de que se recomienda disminuir la jornada de trabajo de las demás estaciones, igual se estaría dejando de ganar al no utilizar la maquinaria en su máxima capacidad.
- Los cambios propuestos en la empresa fueron limitados: el espacio de la planta ya estaba lleno, existían máquinas imposibles de mover por su gran peso y porque tenían ya en ese lugar las instalaciones para su funcionamiento, existe una sola estación de pintura tanto para vigas como para columnas, además por el peso de las estructuras y la limitación de movimiento de derecha a izquierda a derecha a través de toda la planta, hace que las dos líneas de producción deban terminar de un mismo lado. Todos estos inconvenientes hicieron que los cambios propuestos referentes a la distribución física de la planta no sean significativos.

- La reducción en el tiempo de transporte de un sector no fue suficiente para lograr que se aumente la producción diaria en la empresa, pues estos transportes se los hace por lotes de aproximadamente 12 unidades. Si se compara el tiempo invertido de unidad ya sea viga o columna en una estación de trabajo con el tiempo de transporte de la misma, la diferencia es alta. Esto se puede comprobar en las Tablas de tiempos del Anexo 4.

- La hipótesis planteada al inicio de esta tesis, de que al reducir los tiempos de transporte modificando la distribución física actual de la planta aumentaría la producción diaria, resultó falsa. A pesar de que el resultado del capítulo 6.3 mostró que no sería conveniente realizar los cambios propuestos en la empresa, valió la pena todo el trabajo realizado, ahora se sabe con certeza que no es conveniente invertir en estos cambios. Con el resultado de la simulación se evitó incurrir en costos y tiempos infructuosos.

7. 2 Recomendaciones

- Es necesario que exista una mejor comunicación entre los ingenieros de proyecto y el jefe de producción puesto que en la planta no se sabe que se debe iniciar la producción para una nueva obra sino hasta cuando llegan los planos a la planta, ésto ocasiona que en un mismo mes la planta este subutilizada y en otras ocasiones trabaje al máximo e inclusive no logre cumplir con los tiempos pactados con el cliente.
- El control de calidad debe realizarse en cada una de las estaciones de trabajo de tal manera que exista un aseguramiento de la calidad a lo largo de toda la línea de producción. Si se detectan fallas, de ser posible se las puede corregir enseguida, en cambio si la falla se detecta recién en las etapas siguientes el tiempo usado en el transporte del material se incrementa y por tanto el costo de mano de obra.

- Sería conveniente reducir la jornada de trabajo para algunos sectores de 12 horas a 8 horas y en otros casos a 4 horas. A los obreros se les paga por hora trabajada, pero el salario que percibirían al trabajar 4 horas diarias sería muy bajo. Por esta razón sería conveniente reducir el número de obreros de la empresa y que un mismo obrero se haga cargo la mitad del día de una estación de trabajo y el resto del día de otra. A los que se quedan brindarles mejores beneficios, contratarles dentro de nómina y afiliarlos a un seguro médico.
- En el capítulo 3 se propuso ordenar el material que sale del corte transversal de flejes y de enderezado de almas en estanterías para facilitar la organización de las piezas según la orden de producción y reducir el tiempo que actualmente invierten los obreros en encontrar las partes entre distintas especificaciones.
- En cada estación de trabajo se recomienda clasificar producto en proceso por similares especificaciones antes de iniciar una tarea, de modo que se reduzcan tiempos de set-up. Por ejemplo: en la estación de corte organizar la orden de producción de modo que en la mañana se corte flejes con iguales espesores.
- Si la demanda del mercado continua creciendo sería conveniente invertir en mejorar las condiciones del sector cuello de botella, que es pintura, para producir más unidades tanto de vigas como de columnas, con esto se aprovecharía mejor las máquinas antes de que su valor se siga depreciando en el tiempo. Además, con este incremento en el nivel de producción, si en la empresa no han reducido la jornada regular de trabajo se incrementaría el rendimiento por hora de los trabajadores, y si en la empresa hubieran reducido el número de horas diarias ahora se podría incrementar nuevamente y mejorar los ingresos de los trabajadores. Para agilizar el trabajo en este sector, que es el último de la línea de producción, se puede ampliar

el área dentro del sector y colocar otro soplete de modo que se pueda pintar un lote más grande en el mismo tiempo actual.

- En caso de que se requiera trabajar horas extras se recomienda hacer que únicamente la estación cuello de botella trabaje horas extras, pues si hacemos trabajar a las demás estaciones lo único que se estaría logrando es acumular inventario. Otras estaciones con alto porcentaje de utilización deberían trabajar sólo el tiempo necesario para acumular inventario previo a Pintura.
- Si el Gerente de la empresa decide mover sus instalaciones hacia otro sector se recomienda hacer un estudio previo similar a éste para determinar la distribución física mejor posible para la empresa al no tener tantas restricciones.

BIBLIOGRAFÍA

Banks, Jerry, Carson John, Nelson Barry y Nicol David. Discrete-Event System Simulation. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

Chase Aquilano, Jacobs. Administración de Producción y Operaciones. 8 va ed. Bogotá: McGraw Hill, 2000.

“Distribución Física: Comedores”. 5 de Junio 2007

<http://72.14.209.104/search?q=cache:fQdTRfRRomEJ:training.itcilo.org/actrav/courses/2007/A2-51493_web/Material/Methodologias%2520Sindicales%2520para%2520la%2520Identificacion%2520de%2520Riesgos%2520y%2520Peligros_files/Modulos/Modulo%25203/Modulo%2520III,%2520Unidad%2520V.doc+vestidores+y+comedores+en+plantas+de+producci%C3%B3n&hl=es&ct=clnk&cd=10&gl=ec>

“Error cuadrado”. 6 de Octubre 2007

<<http://www.inei.gov.pe/biblioineipub/bancopub/est/lib0385/anex15.HTM>>.

“Instalaciones Industriales”. 22 de Mayo 2007

<<http://www.galeon.com/guadalupeleonardo/aficiones759419.html>>.

“Líneas de Producción”. 16 de Septiembre 2007

<<http://www.monografias.com/trabajos12/medtrab/medtrab.shtml>>.

Montgomery Douglas. Introduction to Statistical Quality Control. 5 ta ed. United States: Wiley, 2005.

Montgomery, Douglas, y Runger, George, Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería. México: McGraw-Hill, 1996.

Muther, Richard. Planificación y proyección de la empresa Industrial. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1968.

Niebel, Benjamín, y Freivalds Andris. Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo. México: Alfaomega, 2004.

“Ospining S.A”. 20 de Marzo 2007
<<http://www.ospining.com>>.

“Planeación Sistemática de Layout (SLP)”. 23 de Marzo del 2007
<[http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales /documentos/lii/rodriguez_l_mm/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/rodriguez_l_mm/capitulo3.pdf)>.

“Porcentaje de error”. 6 de Octubre 2007
<<http://html.rincondelvago.com/balanza-granataria.html>>.

“Simulación”. 22 de Julio 2007
<<http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>.

Sule, Dileep. Instalaciones de manufactura, ubicación, planeación y diseño. 2 da ed. México: Editorial Thomson, 2001.

Tompkins, White, Bozer y Tanchoco. Planeación de Instalaciones, 3ra ed. México: Editorial Thomson, 2006.

“Vivienda y Construcción”. 22 de Mayo 2007
<http://www.expreso.ec/especial_economia/construccion.asp>.

GLOSARIO

VIGA	Estructura horizontal o, a veces inclinada, de mayor longitud que anchura, utilizada para la construcción de edificaciones. Está formada por un alma y dos patines.
ALMA	Plancha metálica que forma la parte central de la viga.
PATÍN	Plancha metálica que forma parte de los extremos superior e inferior de la viga, y es de menor ancho que el alma.
COLUMNA	Estructura vertical, más alta que ancha, que se utiliza como soporte en la construcción de edificaciones. Está formada por cuatro flejes.
FLEJE	Plancha metálica más larga que ancha que forma parte de una columna. Cuando se unen cuatro flejes forman una columna.
ACCESORIOS	Partes complementarias de una viga o columna que se colocan cuando estas ya están armadas.

ANEXOS

Anexo 1. Obras más importantes realizadas por Ospining:

1981-1990

1. Edificio Rosanía
2. Edificio María Victoria I
3. Edificio María Victoria II
4. Edificio Brito
5. Edificio Pateca

1991-2000

1. Edificio Autocom
2. Banco De Los Andes, Sucursal Sur
3. Edificio El Álamo
4. Edificio Centro Comercial Galería
5. Edificio Banco Del Pacífico En Manta

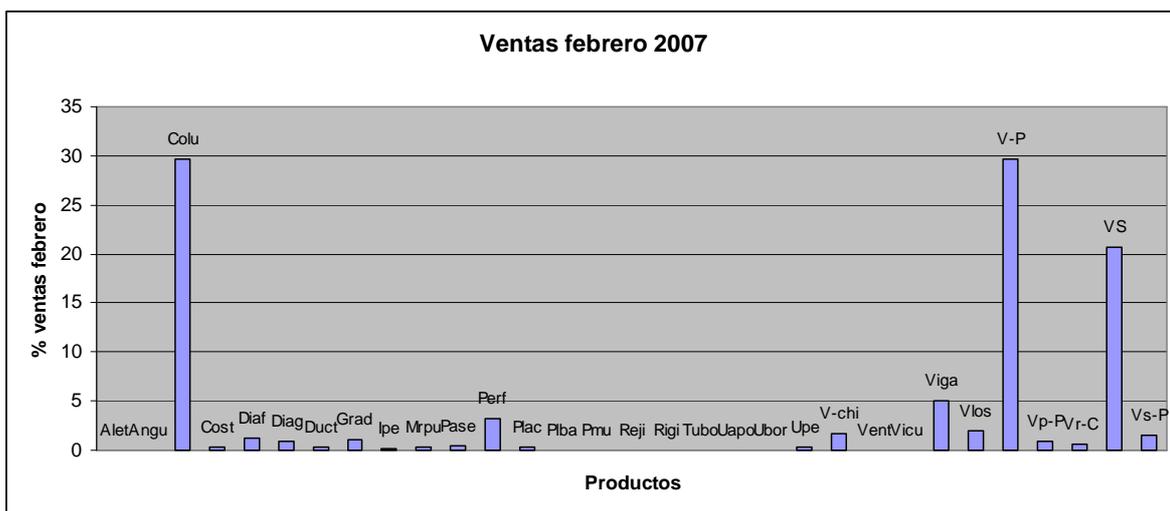
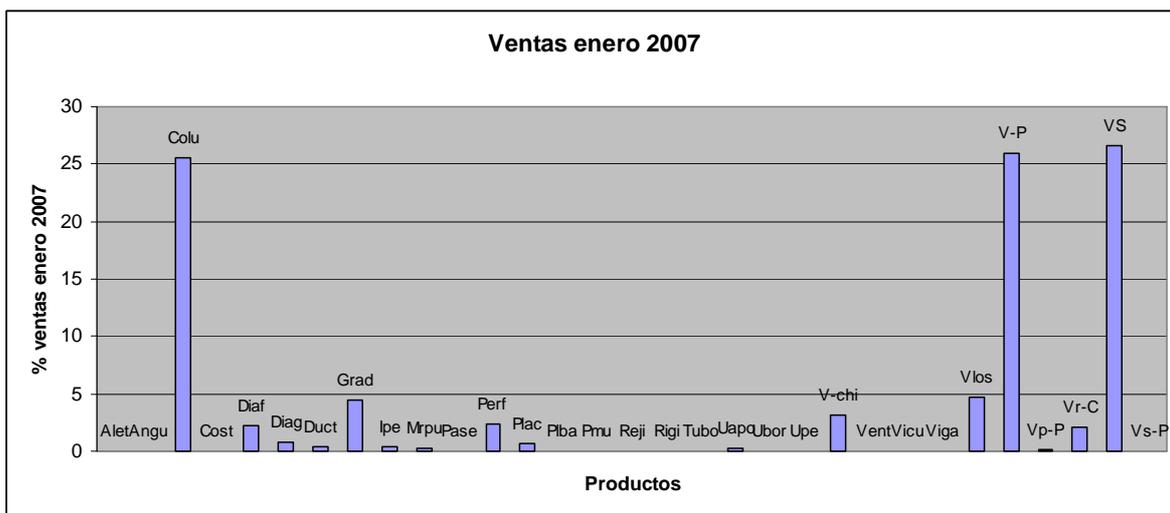
2001-Hasta la fecha

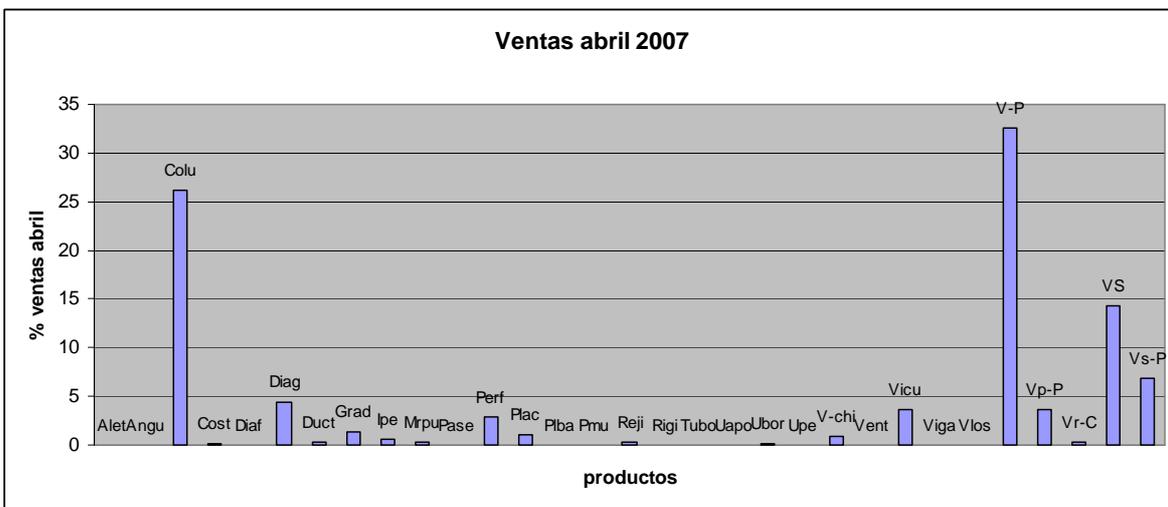
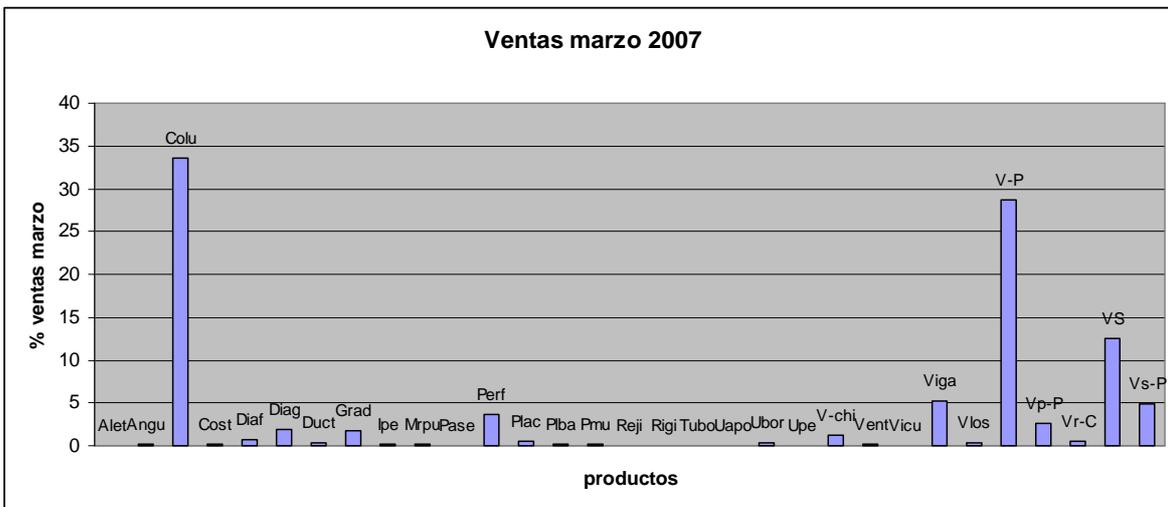
1. Laboratorios Chalver Quito. 2001.
2. Ampliación Del Swissôtel. 2001
3. Edificio Ardres Plaza. 2002
4. Nuevos Campus De La Universidad Internacional Del Ecuador. Edificio De Residencias
5. Nuevos Campus De La Universidad Internacional Del Ecuador. Edificio De Aulas
6. Torres Santa Fe. 2003
7. Ed. Murano Plaza. 2003
8. Subsuelos Hospifuturo
9. Edificio Salome. 2004
10. Edificio Amazonas Plaza. 2005

Estructuras Exportadas A Colombia

1. Edificio Lugano
2. Edificio Santa Lucía
3. Edificio San Sebastián
4. Edificio Antiguo Country
5. Edificio Holiday Inn

Anexo 2. Porcentaje Ventas 2007 por mes (enero-abril)





Anexo 3. Minutos aproximados por ciclo que intervienen en cada sector involucrado

En la producción de Vigas:

Sector	Tiempo aproximado por ciclo	Número de ciclos
Corte Longitudinal	8 min	8
Enderezado	6 min	10
Corte Transversal	1,5 min	18
Corte Transversal Alma	3 min	12
Troquelado	2 min	15
Enderezado Alma	7 min	8
Armado Previo	12 min	6
Suelda con Puntos	7 min	8
Soldadura Longitudinal Continua	10 min	7
Acabados	30 min	4
Enderezado	15 min	5
Contraflecha	25 min	4
Pesado	5 min	10
Pintura	25 min	5

En la producción de Columnas:

Sector	Tiempo aproximado por ciclo	Número de ciclos
Armado Previo con varillas	5 min	10
Suelda con Puntos en Prensa	40 min	4
Soldadura proceso MIG	30 min	4
Acabados	40 min	4
Balanza	5 min	10
Pintura	20 min	5

Anexo 4: Estudio de tiempos en formato estándar

Vigas

FECHA : 25-072007
HORA: 16:00
SECTOR: Corte Longitudinal Patín o Columna
OPERADOR: Washington Chicaiza
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 8
Comenzó cronometraje: 16:10
Terminó cronometraje: 18:15

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)										ΣT	T promedio	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1 Transportar mp desde alm temp hasta mesa de corte	162											162	20
2 Acomodar la plancha	65	56	143	84	87	56	63	85	639				80
3 Cuadrar la máquina y controlar la salida de la máquina	23	40	236	45	32	31	29	31	467				58
4 Cortar la plancha	131	143	334	152	139	234	176	168	1477				185
5 Verificar medidas de corte	41	29	85	16	36	29	35	31	302				38
6 Almacenar plancha cortada	20	14	18	16	23	26	27	16	160				20

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
138	40	222

FECHA : 16-05-2007
HORA: 11
SECTOR: Enderezado Patín o Columna
OPERADOR: Walter Gómez
LARGO: 3000 mm
ESPESOR(mm): 8
Comenzó cronometraje: 11:05
Terminó cronometraje: 11:25

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)										ΣT	T promedio	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1 Transportar planchas cortada desde alm temp hasta rodillos	167											167	17
2 Cuadrar plancha cortada en rodillos	10	6	5	6	5	2	5	12	9	5	65	7	
3 Calibrar abertura de baroladora	60										60	6	
4 Actividades Simultáneas: Deslizar plancha por baroladora por ambos lados, revisar visualmente enderezado, ajustar abertura de baroladora	34	30	16	15	23	16	25	15	28	20	222	22	
5 Deslizar plancha nuevamente por ambos lados (si es necesario) y revisión visual	62	65		33		28	33		11		232	23	
6 Almacenar plancha enderezada en alm temp	7	3	2	3	2	4	3	5	3	2	34	3	
7 Almacenar total de planchas enderezadas desde alm temp hasta corte transversal	110										110	11	

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
6	38	45

FECHA : 16-05-07
HORA: 11:00
SECTOR: Corte transversal Patin o Columna
OPERADOR: Felipe Bravo, Pedro Posligua
ANCHO: 240
ESPESOR (mm): 8
Comenzó cronometraje: 11:00
Terminó cronometraje: 11:50

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)																		ΣT	T promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1 Transportar plancha enderezada desde alm temp hasta mesa	143																		143	8
2 Poner fleje a escuadra	9	5	3	6	4	7	8	5	6	5	4	4	5	5	3	8	5	5	99	6
3 Calibrar distancia optima entre fleje y antorcha	2	2	3	1	3	3	1	2	2	4	1	2	4	3	1	2	3	4	43	2
4 Poner medidas en el fleje de acuerdo a plano	10	10	10	6	5	9	4	5	6	6	7	7	5	3	5	4	4	7	114	6
5 Cortar fleje a medida	11	11	10	13	10	10	10	10	10	10	9	6	11	10	11	10	9	11	182	10
6 Colocar nomenclatura	1	2	3	4	3	4	5	4	4	5	5	4	3	4	3	4	3	4	66	4
7 Almacenar fleje de acuerdo a la odp	4	1	3	4	4	3	5	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	63	3

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
2	11	26

FECHA : 24-07-07
HORA: 10:45
SECTOR: Corte transversal almas Vigas
OPERADOR: Miguel Vélez
LARGO:3000 mm
ESPESOR(mm): 4
Comenzó cronometraje: 11:00
Terminó cronometraje: 13:00

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)												ΣT	T promedio	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1 Transportar flejes desde materia prima hasta mesa de trabajo	61													61	5
2 Poner medidas en el fleje de acuerdo a plano	95	16	60	94	139	119	113	109	151	146	58	70	1169	97	
3 Colocar nomenclatura	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	6	26	2	
4 Cortar fleje a medida	107	162	21	20	68	92	37	38	139	79	102	68	933	78	
5 Cortar esquinas del fleje con molde	75	30	26	27	56	51	66	75	54	66	83	64	673	56	

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	5	234

FECHA : 24-07-07
HORA: 10:45
SECTOR: Troquelado Vigas
OPERADOR: Miguel Vélez
LARGO:3000 mm
ESPESOR (mm): 4
Comenzó cronometraje: 11:00
Terminó cronometraje: 13:00

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)															ΣT	T promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1 Prender y limpiar el troquel	12															12	1
2 Transportar fleje desde mesa de corte hasta troque y acomodar fleje(alma)	12	20	19	17	20	23	26	25	19	16	20	10	21	18	13	278	19
3 Troquelar	28	33	28	49	50	44	39	45	39	32	33	34	27	31	44	557	37
4 Almacenar fleje	18	19	27	21	18	25	17	22	27	19	22	25	19	20	26	326	22

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
1	40	37

FECHA : 16-05-07
HORA: 11:45
SECTOR: Enderezado Alma Vigas
OPERADOR: Victor San-Martín
LARGO: 3000 mm
ESPELOR(mm): 4
Comenzó cronometraje: 11:45
Terminó cronometraje: 14:30

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)								ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1 Transportar planchas cortada desde alm temp hasta mesa baroladora	270								270	34
2 Acomodar plancha cortada en rodillos	15	14	8	5	12	8	5	12	77	10
3 Calibrar abertura de baroladora	180								180	23
4 Actividades Simultáneas: Deslizar plancha por baroladora por ambos lados, revisar visualmente enderezado, ajustar abertura de baroladora	138	114	90	66	68	63	63	51	653	82
5 Almacenar flejes de acuerdo a la odp	11	11	5	6	5	5	6	6	53	7
6 Transportar planchas a preparado de flejes	270								270	34

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
23	84	82

FECHA : 30-05-07
HORA: 11:13
SECTOR: Armado Previo Vigas
OPERADOR: Patricio Reina y Luis Benavides
LARGO: 3000 mm
ANCHO: 350 mm
ESPELOR alma(mm): 4
ESPELOR patín (mm) : 8
Comenzó cronometraje: 11:13
Terminó cronometraje: 11:45

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)						ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6		
1 Transportar patines y almas de acuerdo a la odp	65						65	11
2 Transportar a mesa de armado previo y poner fleje a escuadra	4	6	8	8	5	16	46	8
3 Verificar de acuerdo a plano ancho, espesor y longitud total de fleje	5	10	3	4	3	5	29	5
4 Unir con puntos de suelda siguiendo especificacion de plano	23	42	20	36	19	16	156	26
5 Poner nomenclatura	4	12	10	9	6	9	50	8
6 Transportar patines a mesa de armado previo y poner a escuadra	3	11	10	5	14	3	46	8
7 Verificar de acuerdo a plano ancho, espesor y longitud total del patin	2	4	5	5	4	2	22	4
8 Dar cordon de raiz con soldadura electrica (patín)	6	63	58	39	82	92	339	57
9 Limpiar con disco de desgaste y grata	0	0	17	14	16	31	78	13
10 Deslizar partes por rodillos hasta prensa	1	2	2	6	4	2	17	3

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	29	112

FECHA : 28-05-07 / 30-05-07										
HORA: 11:13										
SECTOR: Suelda con Puntos (Prensa) Vigas										
OPERADOR: Diego Aldás, Darwin Bravo										
LARGO: 3000 mm										
ESPESOR (mm): 4										
Comenzó cronometraje: 11:15										
Terminó cronometraje: 12:00										
Ciclos (seg)										
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD										
	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣT	T promedio
1									18	2
2	45	25	25	23	51	45	50	45	310	39
3	86								86	11
4	Actividades Simultáneas: Dar escuadra a alma-patin, bajar tope de prensa, ajustar elementos y colocar puntos de soldadura en extremos									
5	45	40	42	78	125	69	73	45	516	64
5	75	97	92	154	106	77	81	80	762	95
6	15	17	23	15	26	34	10	30	171	21

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
13	60	160

FECHA : 17-05-07										
HORA: 9:45										
SECTOR: Soldadura Longitudinal (union alma-patin) Vigas										
OPERADOR: William Vaca										
Largo: 3000mm										
ESPESOR (mm): 4										
Comenzó cronometraje: 9:45										
Terminó cronometraje: 11:45										
Ciclos (seg)										
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD										
	1	2	3	4	5	6	7	ΣT	T promedio	
1	24	26	39	32	42	25	29	216	31	
2	Calibrar factores que influyen en el proceso (amperaje-distancia entre union y electrodo, velocidad de avance)									
3	64	30	35	75	75	26	34	338	48	
3	194	196	217	248	223	195	185	1457	208	
4	42	36	30	36	30	33	27	234	33	

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
48	64	208

FECHA : 01-06-07
HORA: 9:45
SECTOR: Acabados Vigas
OPERADOR: Juan Bautista y Ernesto Soto
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 4
Comenzó cronometraje: 9:50
Terminó cronometraje:

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)						ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6		
1 Colocar viga sobre mesa de trabajo	21	25	21	20	18	15	119	20
2 Limpiar uniones para soldar	63	45	41	101	51	21	323	54
3 Soldar todas las uniones, girar viga, revisar visualmente si hay defectos en soldadura	91	131	135	290	118	21	786	131
4 Colocar accesorios de viga de acuerdo al plano					108		108	18
5 Transportar viga hasta enderezado	53	65	81	93	70	81	443	74

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	94	203

FECHA : 30-05-2007
HORA: 11:50
SECTOR: Enderezado y pesa Vigas
OPERADOR:
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 4
Comenzó cronometraje: 11:53
Terminó cronometraje: 14:45

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)						ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6		
1 Transportar viga a enderezado	49	69	86	73	70		347	69
2 Enderezar viga e inspección visual	649	440	280	284	380		2033	407
3 Transporte viga enderezada a pesa (si viga <6m)	45	44	39	210	32		370	74
4 Pesar viga	60	68	50	31	63		272	54
5 Transportar viga hasta alm temp previo a pintura	30	28	18	34	40		150	30

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	173	461

FECHA : 02/08/2007										
HORA: 15:30										
SECTOR: Pintura Vigas										
OPERADOR: Santos Postigua y Manuel Balarezo										
LARGO: 3000 mm										
Comenzó cronometraje: 15:30										
Terminó cronometraje: 17:00										
Ciclos (seg)										
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	ΣT	<i>T promedio</i>
1 Transportar viga a mesa de trabajo	93	60	65	52	106	73	69	72	590	74
2 Limpiar viga	244	252	216	242	390	372	413	398	2527	316
3 Limpiar residuos con aire	36	40	39	37	33	35	32	31	283	35
4 Pintar viga	141	139	155	138	171	167	165	181	1257	157
5 Colocar nomenclatura	112	125	122	89	99	120	133	102	902	113
6 Transportar viga hasta almacenamiento final	80	74	64	61	78	94	82	83	616	77

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	151	621

Columnas

FECHA : 16-05-07
HORA: 12:03
SECTOR: Armado Previo Columnas
OPERADOR: Raúl Criollo y Diego Aldaz
LARGO: 3000 mm
ANCHO: 240 m
ESPESOR fleje (mm): 6
Comenzó cronometraje: 12:03 / 2:00
Terminó cronometraje: 1:00 / 3:00

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)										ΣT	T promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 Transportar caras de columnas de acuerdo a odp	40										40	4
2 Transportar a mesa de armado previo y cuadrar en prensa	20	40	14	13	5	13	5	8	7	11	137	14
3 Verificar de acuerdo a plano ancho, espesor y longitud total de fleje	14	10	10	8	14	8	14	12	11	6	106	11
4 Colocar puntos de soldadura en ambos extremos	20	22	27	43	19	43	19	21	20	30	266	27
5 Si es necesario soldar los pedazos de fleje para que sea de la longitud deseada	55	76	53	303	119	303	119	136	74	76	1314	131
6 Cortar 4 varillas de la misma longitud de los flejes	7	7			19		19	13			65	7
7 Poner fleje a escuadra	11	10	5	3	15	3	15	6	12	4	85	8
8 Unir con puntos de suelda varillas a 2 de los 4 flejes	47	34	39	39	35	39	35	35	36	39	377	38
9 Deslizar partes por rodillos hasta mesa de espera	2	4	6	4	5	4	5	3	4	7	46	5

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
19	22	202

FECHA : 17-05-07
HORA: 11:20
SECTOR: Suelda con Puntos Columnas
OPERADOR: José Aldaz y Tomás Cabrera
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 6
Comenzó cronometraje: 11:20
Terminó cronometraje:

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)					ΣT	T promedio
	1	2	3	4			
1 Subir molde de columna de acuerdo A SECCION	160					160	40
2 Colocar caras de columna en molde (3 de los 4 flejes) y revisar medidas	142	157	156	246	700	175	
3 Pensar las caras de la columnay colocar puntos previos de soldadura	361	361	173	343	1239	310	
4 Retirar columna semi armada de molde	38	23	103	140	303	76	
5 Colocar platinas uniendo la parte interna de las caras para mantener la escuadra	349	375	336	314	1374	344	
6 Unir caras con puntos de suelda	355	364	239	468	1425	356	
7 Colocar la cuarta cara de la columna manualmente	1050	926	848	760	3584	896	
8 Transportar columna a mesa de resoldado (MIG o arco sumergido)	38	60	61	66	225	56	

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	347	1906

FECHA : 17-05-07 / 13-06-07
HORA: 12:20 / 11:00
SECTOR: Soldadura proceso MIG (e<= 10mm) Columnas
OPERADOR: Antonio Maigua y José Criollo
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 6
Comenzó cronometraje: 12:22 / 11:00
Terminó cronometraje:

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)				ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4		
1 Transportar la columna desde almacenamiento temporal hasta la máquina de soldadura	23	10	22	11	67	17
2 Cuadrar columna en mesa	3	6	7	285	301	75
3 Limpiar la unión a soldar con grata	114	115	122	133	484	121
4 Calibrar factores que influyen en el proceso (amperaje-distancia entre union y electrodo, velocidad de avance, fundente)	8	10	12	10	40	10
5 Actividades Simultáneas: Soldar las caras de la columna y revisar visualmente soldadura	479	854	841	667	2842	710
6 Transportar columna soldada a mesa de remate	26	65	64	63	218	54

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
10	146	832

FECHA : 14-06-07 - 15-06-07
HORA: 9:00 - 10:45
SECTOR: Acabados (remate) Columnas
OPERADOR: William Vaca y Edison Gonzalez
LARGO: 3000 mm
ANCHO: 300 mm
ESPESOR (mm): 6
Comenzó cronometraje: 10:45
Terminó cronometraje:

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)				ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4		
1 Transportar desde alm temp hasta mesa de trabajo y colocar columna sobre mesa de trabajo	63	83	81	75	301	75
2 Limpiar uniones para soldar	59	59	436	195	750	187
3 Soldar las uniones	157	243	241	211	853	213
4 Retirar las platinas que dan la escuadra a la columna	49	61	209	103	422	106
5 Colocar las varillas de refuerzo de acuerdo al plano y girar columna	333	340	309	328	1310	328
6 Colocar tapa superior e inferior de columna	255	193	223	222	892	223
7 Revisar visualmente si hay defectos en soldadura y corregirlos	90	129	124	115	458	115
8 Pulir el exceso de soldadura en las tapas de la columna	58	33	40	44	174	44
9 Colocar accesorios de columna de acuerdo al plano	1026	931	1164	1035	4156	1039
10 Colocar nomenclatura	12	10	8	10	40	10
11 Transportar columna a almacen previo	64	73	64	68	269	67

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	143	2264

FECHA :02/08/2007
HORA: 15:08
SECTOR: Balanza Columnas
OPERADOR: Jorge Quiñonez
LARGO: 3000 mm
ESPESOR (mm): 6
Comenzó cronometraje: 15:10
Terminó cronometraje: 16:50

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)										ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 Transporte columna a balanza	52	72	57	81	77	69	74	68	71	69	690	69
2 Pesar columna y registrar en hoja de produccion (obra,odp,nivel)	72	81	56	53	42	72	73	65	59	72	645	65
3 Transportar columna hasta alm. temp. previo a pintura	34	35	26	36	41	35	45	31	29	46	358	36

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
0	105	65

FECHA : 02/08/2007
HORA: 17:30
SECTOR: Pintura Columnas
OPERADOR: Santos Postigua y Manuel Balarezo
LARGO: 3000 mm
Comenzó cronometraje: 17:35
Terminó cronometraje: 19:55

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Ciclos (seg)							ΣT	<i>T promedio</i>
	1	2	3	4	5	6	7		
1 Transportar columna a mesa de trabajo	102	116	78	94	87	477	95		
2 Limpiar columna	287	304	285	299	403	1578	316		
3 Limpiar residuos con aire	54	62	57	59	63	295	59		
4 Pintar columna	186	205	196	187	213	987	197		
5 Colocar nomenclatura	137	147	126	135	131	676	135		
6 Colocar columna en mesa de transporte	79	90	86	94	85	434	87		

Tiempo Total		
Set up	Transporte	Desempeño
375	182	333

Anexo 5: Tiempos de transporte Actuales

Transporte Actual para fabricación de columnas										
Desde Sector:	Almacenamiento materia prima	Corte longitudinal flejes	Enderezado flejes	Corte transversal flejes	Almacenamiento temporal patines y almas	Armado previo	Soldadura con puntos	Soldadura MIG	Acabados	Balanza
Hasta Sector:	Corte longitudinal flejes	Enderezado flejes	Corte transversal flejes	Almacenamiento temporal patines y almas	Armado previo	Soldadura con puntos	Soldadura MIG	Acabados	Balanza	Pintura
Distancia Actual Recorrida (metros)	6	7,58	6	6	38	12	28	14	28	2.5
Tiempo de transporte (segundos)										
1	151	150	147	5	34	34	61	63	41	58
2	158	176	168	2	17	17	71	83	58	61
3	155	164	163	4	21	16	84	81	47	67
4	160	166	170	4	23	33	77	75	57	50
5	161	156	155	4	30	25	59	77	76	51
6	153	168	157	3	17	31	65	80	70	55
7	157	154	169	5	17	35	66	60	49	68
8	149	157	161	3	28	31	82	68	46	63
9	150	163	180	4	33	30	72	69	50	57
10	147	178	150	3	34	19	71	82	60	69
11				5	18	29	83	71	66	73
12				3	20	32	62	79	67	80
13				4	19	19	79	64	56	53
14				3	31	28	80	79	53	66
15				3	31	34	81	66	44	50
16				4	16	30	70	81	49	60
17				4	31	34	69	67	73	61
18				3	31	16	77	73	78	71
19				3	22	26	76	62	75	80
20				4	28	28	61	65	73	78
DISTRIBUCIÓN	147 + 15 * BETA(0.945, 0.91)	150 + 29 * BETA(0.695, 0.776)	POIS(162)	1.5 + WEIB(2.41, 2.97)	15.5 + 19 * BETA(0.831, 0.802)	15.5 + 20 * BETA(0.915, 0.737)	58.5 + 26 * BETA(0.983, 0.893)	59.5 + 24 * BETA(0.99, 0.879)	40.5 + 38 * BETA(0.903, 0.886)	49.5 + 31 * BETA(0.724, 0.827)

Transporte Actual para fabricación de vigas									
Desde Sector:	almacenamiento temporal	corte transversal alma	enderezado almas	almacenamiento temporal flejes y almas	armado previo	prensa vigas	soldadura continua	almacenamiento temporal	enderezado
Hasta Sector:	corte transversal alma	enderezado alma	almacenamiento temporal	armado previo	prensa vigas	soldadura continua	acabados	enderezado	balanza
Distancia Actual Recorrida (metros)	6	14	8	42.4	20	24	12	12	8
	Tiempo de transporte (segundos)								
1	132	180	5	13	73	48	84	49	54
2	127	168	2	14	40	110	72	69	61
3	128	165	4	16	45	78	60	86	45
4	134	172	4	16	81	43	48	73	47
5	119	174	4	13	53	56	40	70	46
6	131	177	3	24	58	33	44	69	58
7	126	151	5	14	45	38	36	73	47
8	122	166	3	16	38	47	54	72	49
9	127	168	4	14	25	45	38	76	52
10	125	173	3	17	25	52	41	75	53
11			5	14	35	58	42	72	58
12			3	14	38	50	46	69	57
13			4	21	47	76	53	80	54
14			4	15	64	45	39	74	56
15			4	17	66	38	44	68	48
16			5	14	39	37	35	77	49
17			5	16	37	36	38	56	54
18			3	18	73	35	62	76	63
19			3	14	51	54	39	58	50
20			4	15	28	61	44	72	54
DISTRIBUCIÓN	NORM(127, 4.3)	POIS(169)	1.5 + 4 * BETA(2.69, 1.89)	12.5 + LOGN(3.3, 3.09)	24.5 + 57 * BETA(0.784, 1.11)	32.5 + WEIB(20.2, 1.1)	34.5 + GAMM(11.2, 1.2)	NORM(70.7, 8.14)	44.5 + 19 * BETA(1.11, 1.39)
Nota: Las tiempos de transporte que no se incluyen para vigas es porque ya están calculados para columnas									

Anexo 6: Tiempos de transporte Propuestos

Transporte Propuesto para fabricación de columnas										
Desde Sector:	Almacenamiento materia prima	Corte longitudinal flejes	Enderezado flejes	Corte transversal flejes	Almacenamiento temporal patines y almas	Armado previo	Soldadura con puntos	Soldadura MIG	Acabados	Balanza
Hasta Sector:	Corte longitudinal flejes	Enderezado flejes	Corte transversal flejes	Almacenamiento temporal patines y almas	Armado previo	Soldadura con puntos	Soldadura MIG	Acabados	Balanza	Pintura
Distancia Actual Recorrida (metros)	6	7,58	6	6	38	12	28	14	28	2,5
Distancia Propuesta Recorrida (metros)	6	7	10	12	10	34	24	4	26	2
Tiempo de transporte (segundos)										
1	151	139	245	10	9	97	52	18	38	46
2	158	163	280	4	4	48	60	24	54	49
3	155	151	272	8	5	45	72	23	44	54
4	160	153	283	8	6	94	66	21	53	40
5	161	144	258	8	8	71	51	22	71	41
6	153	155	262	6	4	88	56	23	65	44
7	157	142	282	10	4	99	57	17	46	54
8	149	145	268	6	7	87	71	19	43	50
9	150	151	300	8	9	84	62	20	46	46
10	147	164	250	6	9	53	61	23	56	55
11				10	5	81	71	20	61	58
12				6	5	91	53	23	62	64
13				8	5	54	68	18	52	42
14				6	8	81	69	23	49	53
15				6	8	95	70	19	41	40
16				8	4	84	60	23	46	48
17				8	8	97	59	19	68	49
18				6	8	46	66	21	72	57
19				6	6	73	65	18	70	64
20				8	7	78	52	19	68	62
DISTRIBUCIÓN	147 + 15 * BETA(0.945, 0.91)	139 + 26 * BETA(0.638, 0.722)	POIS(270)	3.5 + GAMM(0.883, 4.3)	3.5 + 6 * BETA(0.802, 0.83)	44.5 + 55 * BETA(0.783, 0.623)	50.5 + 22 * BETA(0.921, 0.857)	16.5 + 8 * BETA(1.51, 1.41)	37.5 + 35 * BETA(0.907, 0.848)	39.5 + 25 * BETA(0.734, 0.89)

Transporte Propuesto para fabricación de vigas									
Desde Sector:	almacenamiento temporal	corte transversal alma	enderezado almas	almacenamiento temporal flejes y almas	armado previo	prensa vigas	soldadura continua	almacenamiento temporal	enderezado
Hasta Sector:	corte transversal alma	enderezado alma	almacenamiento temporal	armado previo	prensa vigas	soldadura continua	acabados	enderezado	balanza
Distancia Actual Recorrida (metros)	6	14	8	42.4	20	24	12	12	8
Distancia Propuesta Recorrida (metros)	8	10	8	8	26	16	10	11	7
	Tiempo de transporte (segundos)								
1	176	129	5	2	95	32	70	45	47
2	169	120	2	3	52	73	60	63	53
3	171	118	4	3	59	52	50	79	39
4	179	123	4	3	105	29	40	67	41
5	159	124	4	2	69	37	33	64	40
6	175	126	3	5	75	22	37	63	51
7	168	108	5	3	59	25	30	67	41
8	163	119	3	3	49	31	45	66	43
9	169	120	4	3	33	30	32	70	46
10	167	124	3	3	33	35	34	69	46
11			5	3	46	39	35	66	51
12			3	3	49	33	38	63	50
13			4	4	61	51	44	73	47
14			4	3	83	30	33	68	49
15			4	3	86	25	37	62	42
16			5	3	51	25	29	71	43
17			5	3	48	24	32	51	47
18			3	3	95	23	52	70	55
19			3	3	66	36	33	53	44
20			4	3	36	41	37	66	47
DISTRIBUCIÓN	NORM(170, 5.71)	NORM(121, 5.43)	1.5 + 4 * BETA(2.69, 1.89)	1.5 + ERLA(0.221, 7)	32.5 + 73 * BETA(0.698, 0.952)	21.5 + WEIB(13.7, 1.12)	28.5 + GAMM(8.83, 1.31)	NORM(64.8, 7.56)	38.5 + 17 * BETA(1.2, 1.44)
Nota: Las tiempos de transporte que no se incluyen para vigas es porque ya están calculados para columnas									