



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN

**BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE
DE UNDERBODY Y PREENCLAMPADO
EN UNA EMPRESA AUTOMOTRIZ.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

EDGAR MÉNDEZ VÁZQUEZ

ASESOR DE TESIS: ING. MARCOS BELISARIO
GONZÁLEZ LORIA

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO. 2008

AGRADECIMIENTOS.

A MIS PADRES.

*A mis padres **Francisco Méndez Sánchez** y **María Encarnación Vázquez Hernández** por todos sus consejos, por sus regaños, por su comprensión, por su cariño, por su apoyo y confianza, pero sobre todo gracias por el esfuerzo que han hecho durante tantos años para que pudiera concluir con mis estudios, gracias por estar a mi lado en momentos muy importantes en mi vida y también gracias por estar conmigo en momentos difíciles, gracias a ustedes tengo la certeza y confianza de poder alcanzar mis sueños e ideales, les dedico este trabajo esperando que sea el primero de muchos más.*

A MI HERMANA Y SU ESPOSO.

*A mi hermana **Cari** y a su esposo **Oswaldo** por estar de igual manera a mi lado en los momentos en que no podía valerme por mi mismo, gracias por todos los momentos alegres que hemos pasado y por brindarme siempre su apoyo y comprensión, gracias por toda la paciencia que me han tenido durante tanto tiempo, por todo su afecto y cariño.*

A TODOS MIS FAMILIARES.

*A todos mis familiares por que directa o indirectamente han forjado mi forma de ser y mi manera de pensar, **a mi abuelita, a mis tíos, a mis primos y a mis padrinos**, gracias por todo su apoyo y compañía y por enseñarme lo importante que es la familia. Gracias Dios por mantenerlos a mi lado.*

A TODOS MIS AMIGOS.

A todos mis compañeros, gracias por su amistad y por hacer de las tareas y los proyectos una labor muy sencilla, gracias por todos los momentos buenos que pasamos durante nuestra formación profesional, a todos mis amigos fuera de la escuela, gracias también por todos los momentos buenos que hemos pasado, gracias por su compañía y amistad.

A MI ASESOR.

*Al Ing. **González Loria Marcos Belisario** por su tiempo, por su paciencia, asesoría y orientación en la elaboración de este trabajo de tesis, gracias por todos los conocimientos que he adquirido, por sus enseñanzas y sus consejos hacia mi persona, pero sobre todo gracias por su amistad.*

A LA UNIVERSIDAD.

*Gracias a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por darme la oportunidad de pertenecer a esta máxima casa de estudios, gracias a todos mis maestros de la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** por los conocimientos, enseñanzas y profesionalismo, gracias por su gran espíritu de servicio, para la formación de profesionistas en beneficio de México.*

MUCHAS GRACIAS.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA.....	3
OBJETIVO.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO 1.....	6
LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	7
1.1 PRINCIPALES TIPOS DE DISTRIBUCIÓN.....	8
1.1.1 Distribución de Planta orientada al Proceso.....	9
1.1.1.1 Modelo de Cómputo CRAFT.....	11
1.1.1.2 Tecnología de Grupos.....	13
1.1.2 Distribución de Planta orientada al Producto.....	15
1.1.3 Distribución de Planta por Componente Fijo.....	19
1.1.4 Distribuciones de Planta Combinadas.....	20
1.1.5 Otro Tipo de Distribuciones.....	23
1.1.5.1 Distribución de Planta orientada a Oficinas.....	23
1.1.5.2 Distribución de Planta orientada a Comercios.....	24
1.1.5.3 Distribución de Planta orientada a Almacenes.....	25
1.2 PRINCIPALES TIPOS DE PERACIONES.....	26
1.2.1 Operaciones Continuas.....	26
1.2.2 Operaciones Intermitentes.....	27
1.3 MANEJO DE MATERIALES EN LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	28
1.3.1 Factores a Considerar en la Elección del Equipo.....	29
1.3.1.1 Material que se tiene que mover.....	29
1.3.1.2 Naturaleza de la Operación.....	31
1.3.1.3 Características Físicas de las Instalaciones Existentes.....	32
1.3.1.4 Seguridad y Flexibilidad del Equipo.....	34
1.3.1.5 Costo Generado por el Equipo.....	35
1.4 SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS CENTROS DE TRABAJO.....	37
1.4.1 Factores que Propician un Accidente.....	38

1.4.1.1	Factores que Propician una Condición o Acto Inseguro.....	38
1.4.2	Ergonomía en los Centros de Trabajo.....	40
1.4.2.1	Enfermedad de Trabajo.....	42
1.4.3	Equipo de Protección Individual.....	46
CAPÍTULO 2.....	51	
EL ESTUDIO DE TIEMPOS EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	52	
2.1	REQUISITOS NECESARIOS EN EL ESTUDIO DE TIEMPOS.....	54
2.1.1	Responsabilidad del Analista.....	55
2.1.2	Responsabilidad del Supervisor.....	56
2.1.3	Responsabilidad del Sindicato.....	57
2.1.4	Responsabilidad del Operario.....	58
2.2	EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS.....	60
2.2.1	Cronómetro.....	60
2.2.2	Tablero.....	62
2.2.3	Formatos.....	63
2.2.4	Equipo Auxiliar en el Estudio de Tiempos.....	65
2.3	MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS.....	67
2.3.1	Método de Regreso a Ceros.....	67
2.3.2	Método Continúo.....	69
2.4	ELEMENTOS EN EL ESTUDIO DE TIEMPOS.....	70
2.4.1	Selección del Operario.....	70
2.4.2	Posición del Observador.....	72
2.4.3	División de la Operación.....	74
2.4.3.1	Tipos de Actividades.....	75
2.4.4	Ciclos de Estudio.....	76
2.5	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO.....	80
2.6	TIEMPO ESTÁNDAR.....	84
CAPÍTULO 3.....	87	
TÉCNICAS PARA EL BALANCEO DE LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	88	
3.1	MÉTODOS PARA EQUILIBRAR LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	88

3.1.1	Modelo de Arcus.....	88
3.1.2	Modelo de Mastor.....	90
3.1.3.	La Técnica de Hoffman.....	92
3.1.4	Heurísticas para el Balanceo.....	93
3.1.4.1	Técnica de L. Wester y Kilbridge M. D.....	93
3.1.4.2	Técnica de Helgeson W. B. y D. P. Birnie.....	94
3.2	MÉTODOS PARA EQUILIBRAR LAS OPERACIONES EN LAS LÍNEAS.....	95
3.2.1	Mejorar la Operación.....	96
3.2.2	Mejorar el Rendimiento del Operario.....	97
3.2.3	Velocidades de las Máquinas.....	98
3.2.4	Dividir las Operaciones y Repartir los Elementos.....	100
3.2.5	Mover a los Operarios.....	101
3.2.6	Utilización de Operarios Auxiliares.....	103
3.2.7	Utilización de Máquinas Auxiliares.....	104
3.2.8	Utilización de Horas Extras.....	105
3.3	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.....	106
3.3.1	Principio de la Mínima Distancia Recorrida.....	106
3.3.2	Principio de Circulación del Trabajo.....	107
3.3.3	Principio de la División del Trabajo.....	109
3.3.4	Principio de Operaciones Simultáneas.....	110
3.3.5	Principio de Operación en Bloque.....	111
3.3.6	Principio de Trayectoria Fija.....	112
3.3.7	Principio de Mínimo de Tiempo y Material en Proceso.....	113
3.3.8	Principio de Intercambiabilidad.....	115
3.4	REQUISITOS PREVIOS.....	115
3.4.1	Volumen de Producción.....	115
3.4.2	Equilibrio de la Línea.....	116
3.4.3	Continuidad en la Línea.....	118
3.5	TÉCNICAS ADICIONALES PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS.....	119
3.5.1	Utilización de Rutas Críticas.....	119
3.5.1.1	Descripción de los Modelos PERT y CPM.....	120
3.5.2	Utilización de Yamazumi's.....	125
3.5.3	Sistemas de Empujar y Jalar.....	128
3.5.4	Sistema KANBAN.....	131

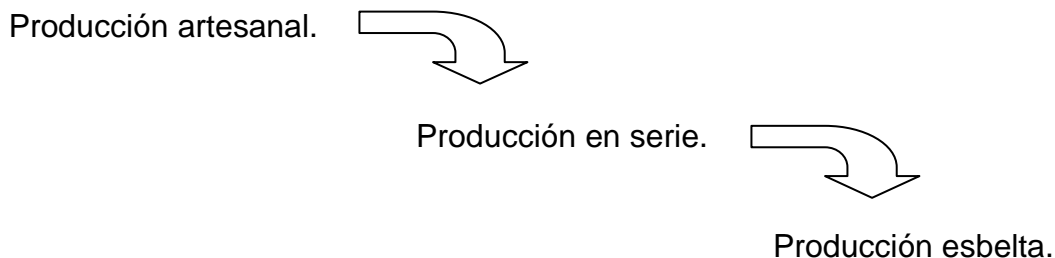
CAPÍTULO 4.....	135
BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNDERBODY Y PREENCLAMPADO.....	136
4.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	136
4.1.1 Capacidad.....	136
4.1.2 Tiempo Ciclo.....	137
4.1.3 Número de Estaciones de Trabajo.....	138
4.1.4 Eficiencia.....	139
4.2 ETAPAS EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.....	140
4.2.1. Definir las Actividades e Identificar los Requerimientos de Precedencia	141
4.2.2. Cálculo de la Capacidad y Eficiencia de la Línea Existente.....	144
4.2.3. Cálculo de las Estaciones de Trabajo para la Nueva Línea.....	147
4.2.4. Aplicación del Método de Kilbridge y Wester.....	149
4.2.5. Cálculo de la Eficiencia.....	160
4.2.6. Buscar Mejoras Subsecuentes.....	162
4.2.7. Comparación del Método de Kilbridge y Wester con el Método de Helgeson y Birnie.....	163
4.3. BALANCEO DE LÍNEA PARA LA MEZCLA FUTURA.....	179
4.3.1. Cálculo de las Estaciones de Trabajo.....	179
4.3.2. Aplicación del Método de Kilbridge y Wester.....	181
4.3.3. Aplicación del Método de Helgeson y Birnie.....	188
RESUMEN.....	196
CONCLUSIONES.....	197
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	198
APÉNDICE A.....	204
APÉNDICE B.....	206
APÉNDICE C.....	213
APÉNDICE D.....	221
APÉNDICE E.....	239
BIBLIOGRAFÍA.....	245

INTRODUCCIÓN.

Desde sus inicios, la producción en masa ha ofrecido ventajas al sector industrial, la Revolución Industrial es parte importante de este sistema de producción, con la sustitución de los hombres por las máquinas se consiguieron ahorros considerables para las empresas de ese entonces.

Puesto que la producción de forma artesanal no brinda grandes volúmenes de producción, la producción en masa o en serie tiene una ventaja enorme comparada con la producción artesanal. En la actualidad es muy importante para las empresas contar con sistemas de producción diseñados para enfrentar situaciones que se puedan presentar a lo largo de la vida de dicha empresa.

Los cambios que han sufrido los sistemas de producción básicamente son dos:



Actualmente la manufactura esbelta ha sido adoptada por muchas empresas, para conseguir la eliminación de desperdicios es necesario prestarle mucha atención al diseño de planta que se tiene en la empresa, puesto que es ahí en donde se generan usualmente gran cantidad de estos desperdicios.

La distribución de planta orientada al producto es muy flexible en ese sentido, esta distribución, además de garantizar calidad en los productos gracias a los estándares y a la manera de llevar a cabo las operaciones, consigue la

elaboración del producto en menor cantidad de tiempo y con el mínimo de manipulación en los materiales necesarios para el ensamble del producto.

La problemática de las líneas de ensamble o producción, es tener un flujo constante en todo el proceso productivo, tanto en las operaciones como en el material involucrado para poder conseguir más eficiencia y productividad. Para poder conseguir esa productividad se tienen que balancear las líneas de ensamble, es decir, todas las operaciones que se llevan a cabo para la fabricación del producto deben de estar en tiempos aproximadamente iguales, para poder asegurar el flujo continuo del producto.

A menudo una línea de ensamble es diseñada por Ingenieros Industriales, para el diseño de las líneas de producción se utilizan técnicas manuales basadas en el ensayo y error, además de heurísticas y modelos de cómputo que ayudan a encontrar el nivel deseado de producción, la eficiencia en estos diseños depende en gran medida de la experiencia y conocimientos del Ingeniero Industrial.

PROBLEMÁTICA.

Las líneas de ensamble son un sistema productivo muy importante en estos días gracias a la manera de llevar a cabo sus operaciones, ofreciendo la elaboración de productos con gran variedad debido a que las líneas de ensamble ofrecen también la manufactura de varios productos similares partiendo de un producto base.

Las operaciones repetitivas en los centros de trabajo son fundamentales para la distribución de planta orientada al producto, estas operaciones ayudan a alcanzar el nivel de producción deseado, con la calidad adecuada en el producto. Todo este sistema productivo parece ser muy sencillo de controlar a simple vista, sin embargo, este tipo de distribución de planta comprende varios factores necesarios para poder controlar el ritmo en las operaciones que se realizan en las líneas de ensamble.

Puesto que la problemática de las líneas de ensamble es equilibrar el tiempo de las operaciones en cada estación de trabajo para conseguir un flujo continuo del producto, debe prestarse mucha atención a la manera de llevar a cabo el balanceo en las líneas, a menudo se presenta variedad en el volumen de producción originado por la demanda de los clientes y por la alta competitividad en las empresas del ramo automotriz, ocasionando una nueva mezcla en los productos, estos cambios en el volumen a pesar de que no suelen presentarse a diario implican la elaboración de un rebalanceo constante en las líneas de ensamble.

Por otra parte, alcanzar el volumen de producción deseado de manera eficiente se debe conseguir solo con la utilización de los recursos que sean necesarios para llevar a cabo dicha actividad.

OBJETIVO.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es dar los conocimientos y herramientas necesarias para llevar a cabo el diseño adecuado para el balanceo de las líneas de ensamble en una empresa automotriz o en cualquier otra empresa en donde se tenga una disposición de planta orientada al producto. Conseguir un balanceo en las líneas de ensamble no es una tarea fácil, sobre todo cuando no se cuentan con los conocimientos básicos sobre este tipo de sistema productivo.

En este trabajo de tesis se presenta de manera general una visión sobre los diferentes tipos de distribuciones de planta con el propósito de dar un panorama sobre las características de cada tipo de distribución, además de abordar un tema muy importante e indispensable para todo Ingeniero Industrial, el estudio de tiempos, la técnica del estudio de tiempos o medición del trabajo es un componente primordial en cualquier actividad que realice un Ingeniero Industrial. Se hace mención de algunos de los métodos con que se cuenta desde hace varios años para llevar a cabo el balanceo de las líneas de ensamble, no obstante se hace hincapié en la utilización de modelos de cómputo para llevar a cabo dicha actividad cuando se realiza un balanceo para líneas de producción con un gran número de operaciones, se presentan también los métodos con que se puede conseguir más eficiencia en las operaciones que se realizan en las líneas de ensamble, así como los principios básicos con los que debe contar este tipo de distribución.

Dado que es importante dar los conocimientos y técnicas necesarias para llevar a cabo un buen diseño en el balanceo de las líneas de producción, considerando todos los factores y restricciones que se pueden presentar en la realidad, se presenta la manera de realizar el balanceo de líneas de ensamble con la ayuda de un ejemplo para su mejor comprensión realizado con datos reales.

JUSTIFICACIÓN.

La realización de esta investigación se hace con el propósito de complementar los conocimientos adquiridos durante mi formación profesional, es muy importante que una vez concluidos nuestros estudios nos sentamos capaces de poder aplicar todos esos conocimientos, ya que son la base para poder enfrentar los problemas cotidianos de nuestra vida profesional.

Las líneas de producción son un sistema que en la actualidad han tenido muchas aplicaciones, sobre todo por grandes empresas en donde la calidad y la marca de sus productos deben mejorar cada día significativamente, debido a la variedad de marcas y modelos que recientemente se encuentran en el mercado generando un nivel de competencia muy alto.

La fuente principal para esta investigación son datos obtenidos a partir de mi estancia en una empresa automotriz, agradeciendo de antemano la oportunidad y las facilidades brindadas para la realización de este proyecto dentro de sus instalaciones, agradeciendo también el apoyo de la **Ingeniera Lourdes Vázquez Manufacturing Planning Specialist**, gracias también al **Ingeniero Industrial Iván Gabino**, a la **Ingeniera de Estandarización Angélica Pérez** y a la **Ingeniera de Calidad Yasmín Morales** por todos los conocimientos otorgados durante mi estancia, por todo el apoyo y su confianza, sobre todo gracias por su amistad, gracias al **Sr. Javier Mendoza** por su apoyo y a todo el personal del área de carrocerías que labora en **FORD MOTOR COMPANY**.

Capítulo 1

LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.

- 1.1. Principales Tipos de Distribución.
- 1.2. Principales Tipos de Operaciones.
- 1.3. Manejo de Materiales en las Líneas de Ensamble.
- 1.4. Seguridad e Higiene en las Estaciones de Trabajo.

LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.

Una tarea importante para el Ingeniero Industrial, es tener lo más eficiente posible las líneas de ensamble. Una línea de ensamble es también conocida por los Ingenieros como línea de producción, en esta línea de producción es en donde se lleva a cabo el ensamblado del producto.

La definición de ensamble de manera sencilla y clara es: armar o unir las partes de manera progresiva del producto que se quiere obtener. Por otra parte, una línea de producción es el equipo y la maquinaria con que se cuenta para poder llevar a cabo dicho ensamble.

La problemática de las líneas de ensamble o de producción, es tener un flujo constante en todo el proceso productivo, tanto en las operaciones como en el material involucrado, para poder conseguir más eficiencia y productividad, algo que hoy en día todas las empresas buscan. Para poder conseguir esa productividad se tienen que balancear las líneas de ensamble, es decir, todas las operaciones que se llevan a cabo para la fabricación del producto deben de estar en tiempos aproximadamente iguales, para poder asegurar el flujo continuo del producto.

El tiempo ocioso en las líneas de ensamble es una barrera en el balanceo, es quizá, lo primero que se debe atacar para poder tener las operaciones lo más cerca posible en cuestión de tiempo, es decir, lo que se pretende es minimizar la cantidad total de tiempo ocioso en toda la línea de ensamble, al detectar un centro de trabajo con tiempo ocioso nos podemos imaginar el hecho de que en este centro o cerca de ese centro se encuentra un cuello de botella, estos problemas

se pueden generar por una metodología incorrecta en las operaciones o por una mala distribución en la planta.

Aunque la distribución en planta no es lo único que caracteriza a la producción en línea, la disposición del equipo y de los centros de trabajo es esencialmente el factor que la distingue como método de manufactura. Por ser fundamental y comprender tantos factores, la distribución en planta exige más coordinación que cualquier otra actividad al establecer la línea.¹

La distribución de planta consiste en la configuración de los departamentos, centros de trabajo y en la disposición de los equipos que conforman el proceso de producción en cada departamento, grupo de trabajo o en la planta en general. Es la distribución física de todos los recursos involucrados para fabricar un producto.

1.1 Principales Tipos de Distribución.

La naturaleza del producto y de las operaciones que se tienen que realizar para obtener un producto, marca por lo regular el tipo de distribución por el que se tiene que optar. En el balanceo de líneas de ensamble esto no es la excepción, esta distribución es muy importante por que de esta depende el éxito de la compañía, gracias al mejor aprovechamiento de todos los recursos necesarios para el ensamblado del producto. Existen tres principales tipos de distribución, las cuales se diferencian entre si por la manera de llevar a cabo sus operaciones y por el flujo en estas operaciones.

¹ H. B. MAYNARD, Manual de ingeniería de la producción industrial, Tomo II, Editorial Reverté, 1ª Edición, 1956.

1.1.1 Distribución de Planta orientada al Proceso.

Este tipo de distribuciones son conocidas también como distribución funcional o de lotes, son las más adecuadas en donde se realizan operaciones de manera intermitente, en esta distribución igual que en las otras, la naturaleza del producto rige el nivel de producción. En este tipo de distribución los flujos de trabajo no están normalizados, esto por la gran variedad que existe en los productos, los departamentos involucrados en el proceso se agrupan dependiendo el tipo de función que se realiza en cada uno de ellos. Ejemplos de este tipo de distribución son: hospitales, taller de reparación de autos y talleres en donde se utilizan máquinas tales como el torno, la fresadora, etc.

La figura 1.1 muestra el tipo de distribución orientado al proceso, en donde el material a procesar recorre distintos caminos dependiendo las características del producto que se desea obtener.

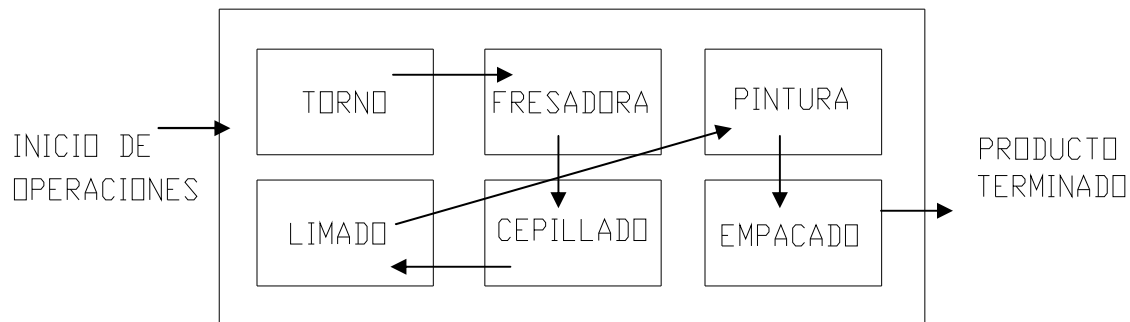


Figura 1.1. Distribución de planta orientada al proceso.

En este tipo de distribución es muy usual encontrar una gran variedad en los recorridos del material que se desea procesar, ya que requiere que se transite este material por diferentes departamentos para obtener el producto final, cada uno de esos recorridos cuesta dinero, no solo por el simple recorrido, sino también

por todo lo que se emplea en ese recorrido. Debido a que los recorridos no le dan un valor agregado al producto, se necesita reducir el flujo innecesario entre cada departamento.

El modelo más usado para la distribución de planta orientada al proceso, es aquel que procura reducir los movimientos entre cada departamento, así mismo trata de reducir las distancias sobre las cuales se realizan estos movimientos.

Esta reducción en los movimientos se puede lograr de manera rápida gracias a la ecuación 1.1.

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} D_{ij} \quad (1.1)$$

Donde: N = el número de centros de trabajo

L_{ij} = el número de cargas o movimientos realizados entre los centros de trabajo i y j .

D_{ij} = la distancia entre los centros de trabajo i y j .

El criterio C , en la ecuación 1.1 es el que se minimiza, considerando este criterio como un costo si se supone que todos los movimientos carga – distancia tienen un costo unitario constante. Cuando los costos no son unitarios, es decir, el costo del recorrido varía entre departamento, la ecuación 1.1 se modifica multiplicando $L_{ij} D_{ij}$ por K_{ij} , donde K_{ij} es el costo de mover una unidad de carga a una unidad de distancia entre los departamentos i y j . Para estos casos la ecuación queda como se muestra a continuación.

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} D_{ij} K_{ij} \quad (1.2)$$

Donde: K_{ij} = es el costo que se tiene al mover una carga por una unidad de distancia entre los centros de trabajo i y j .

Una vez obtenido el número de movimientos L_{ij} que se realiza entre todos y cada uno de los departamentos durante un periodo estimado, se determinan las distancias D_{ij} que existen entre cada departamento, se comienza proponiendo un diseño de distribución inicial, posteriormente con las ecuaciones 1.1 y 1.2, dependiendo si los costos son unitarios o no, se calcula la eficiencia de la configuración propuesta, este procedimiento se repite hasta que ya no se encuentre una mejora posible por realizar.

En el caso de que ya exista una distribución, lo que se busca es una mejora en la eficiencia de esa distribución. Cabe señalar que para realizar este procedimiento se deben considerar situaciones que se presentan en la elaboración del producto, no solo se debe buscar el minimizar los movimientos y sus respectivos costos, se debe buscar también una distribución que proporcione mayor eficiencia y que de igual manera cumpla con todas las restricciones impuestas por la naturaleza de las operaciones, por ejemplo, las áreas de trabajo con mucho ruido no pueden quedar adyacentes a áreas en donde se necesita silencio, un área que genera contaminantes no puede estar cerca de áreas en donde se utilizan instrumentos o equipos que no se puedan ensuciar o empolverar.

1.1.1.1 Modelo de Cómputo CRAFT.

Son muchos los modelos de cómputo que existen hoy en día para poder llevar a cabo una buena distribución de planta, en este apartado se menciona de manera breve la Técnica de Asignación Relativa de Instalaciones asistida por Computadora o CRAFT, por sus iniciales en inglés, esta técnica utiliza un procedimiento heurístico.

La técnica CRAFT intenta reordenar la ubicación de los departamentos, encontrando con ello una configuración que reduzca el costo del manejo de materiales. Este modelo de cómputo puede manejar hasta 40 centros de trabajo en sus diferentes formas y ubicaciones, esto puede ser una restricción para este modelo, además del espacio físico que se tiene en las instalaciones.

Primeramente se le debe proporcionar información a este modelo para que pueda utilizarse, información como: la configuración inicial de la planta, una matriz de cargas que sirve para identificar el volumen de flujo de materiales entre los departamentos y una matriz de costos de transporte, la cual sirve para identificar el costo de transporte de una carga entre los diferentes departamentos.

Este modelo hace una evaluación semejante a la que se pretende con la utilización de las ecuaciones 1.1 y 1.2, antes descritas, realiza configuraciones de manera rápida y adopta la mejor. Lo primero que realiza el programa es calcular la eficiencia de la configuración que se tiene en la planta, después intercambia las ubicaciones de pares o tercias de los departamentos, calculando la eficiencia en cada intercambio, el mejor de estos intercambios en los departamentos es el que se muestra en pantalla, considerado hasta ese momento el mejor.

Cuando ya se han efectuado un cierto número de repeticiones y cuando los costos totales en el manejo de materiales ya no se pueden reducir más, el programa imprime la configuración más adecuada como la distribución de planta a considerar.

El modelo de cómputo CRAFT permite la consideración de múltiples tipos de espacios, tales como las áreas en donde se lleva a cabo la elaboración del producto, áreas de oficinas, muros, pasillos, etc. Dando así más detalle en la planeación de la distribución de planta.

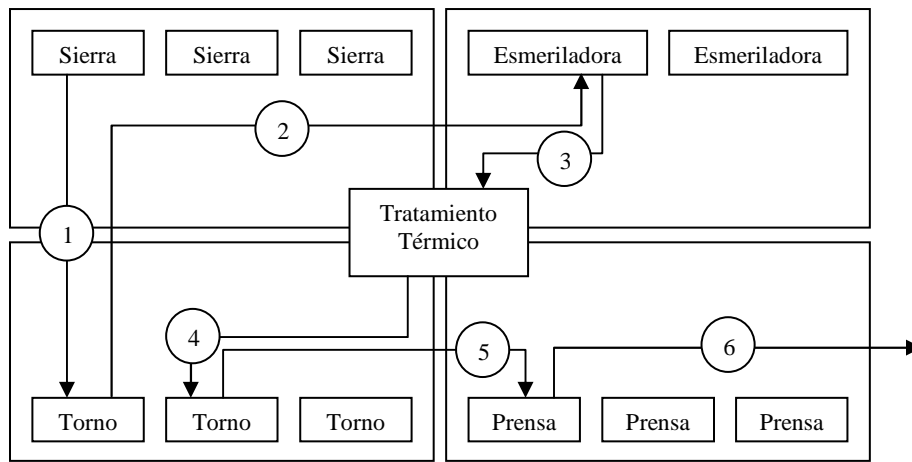
1.1.1.2 Tecnología de Grupos.

La Tecnología de Grupos conocida también como Células de Trabajo se utiliza cuando el volumen de producción no se satisface con el tipo de distribución que se tiene, exigiendo una distribución especial en la maquinaria y equipos que se necesitan para cierto producto.

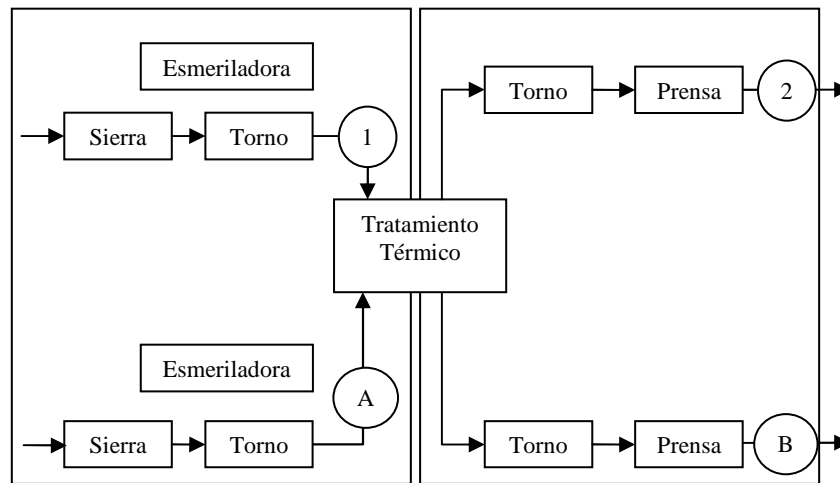
Las células de trabajo identifican los productos con características semejantes para poder elaborar una familia de lotes en esta célula de trabajo. Las células de trabajo son un caso especial de la distribución de planta orientada al proceso, es decir, son una disposición temporal de máquinas y personal orientada al producto, en lo que habitualmente es una distribución orientada al proceso.

En la figura 1.2 se muestra la forma en la que se acomoda la maquinaria para poder crear una célula de trabajo, para no trasladar el producto de un pequeño departamento a otro se juntan las máquinas para realizar las operaciones necesarias con la finalidad de fabricar un lote de productos, en la figura 1.2 (a) se muestra la separación en los departamentos y el recorrido del material por estos departamentos, mientras que en la figura 1.2 (b) se observa la célula de trabajo por la que se optó para poder satisfacer el aumento en el volumen de producción disminuyendo el recorrido en el material.

Cuando la demanda se ha cumplido o cuando ya no es necesaria la célula de trabajo, se puede optar por regresar la maquinaria y el personal al lugar en donde habitualmente estaban colocados, esto si se considera que el hecho de dejar a la tecnología de grupo aun cuando ya se ha cubierto con el nivel de producción deseado genere movimientos innecesarios en los recorridos del material, todavía mayor que en la disposición que se tenía.



(a)



(b)

Figura 1.2. Utilización de la tecnología de grupos.

La idea principal de la tecnología de grupos es que un solo grupo pueda dedicarse a realizar un grupo de productos con las mismas características, visto de otro modo sería, dejar de realizar operaciones intermitentes en varios productos para poder realizar operaciones continuas en una sola gama de productos con las mismas características. La célula de trabajo debe ser reconfigurada a medida que cambia el diseño del producto o el volumen.

Las ventajas de las células de trabajo son:

- ✦ Reducción del número de procesos de trabajo, ya que la célula esta diseñada para generar un flujo equilibrado de máquina a máquina.
- ✦ Menor espacio de planta necesario, gracias a que el acomodo de las máquinas es una cerca de otra y no por proceso.
- ✦ Reducción de inventarios de materias primas, esto se da porque al existir menos procesos, el transporte es rápido en los materiales.
- ✦ Reducción del costo directo de la mano de obra, generado por la producción de mayor volumen y con más calidad de lo habitual.
- ✦ Mayor sentimiento de participación del trabajador, se da cuando ellos saben que la calidad del producto esta en sus manos y en la célula de trabajo.
- ✦ Mejor aprovechamiento de equipos y maquinaria, gracias a la mejor programación y al flujo más rápido del material.
- ✦ Reducción de la inversión en maquinaria y equipos, generado por el buen aprovechamiento de las instalaciones.

1.1.2 Distribución de Planta orientada al Producto.

Este tipo de distribución es llamada también distribución repetitiva o continúa, en la distribución de planta orientada al producto por lo general el producto a manufacturar se encuentra estandarizado y se realizan grandes volúmenes de producción, en este tipo de distribuciones cada una de las unidades a elaborar

requiere la misma secuencia de las operaciones, es por eso que para esta distribución se opta por las operaciones continuas.

En la distribución orientada al producto los centros de trabajo quedan de forma lineal, es decir, se busca la fabricación progresiva del producto de tal manera que exista un flujo constante en la línea, este flujo se logra de manera más sencilla y fácil si los centros de trabajo están agrupados unos seguidos de otros, dando así cada grupo de trabajo la especialización en las operaciones que le corresponden para la elaboración del producto. El servicio de lavado automático de los automóviles, las plantas embotelladoras de bebidas y el ensamble de automóviles son algunos ejemplos de este tipo de distribución. La figura 1.3 muestra la distribución en un centro de lavado automático para automóviles, en este tipo de distribución las operaciones que se tienen son las mismas independientemente del tipo o color del auto.



Figura 1.3. Distribución de planta orientada al producto.

En la figura 1.4 se observa el equipo que ayuda en el desplazamiento del producto, de manera general este equipo mecanizado cuenta con rodillos que giran en el sentido hacia donde se quiere desplazar el producto a través de la línea contando con dispositivos que ayudan a detener el producto en cada centro de trabajo para que los trabajadores puedan realizar sus operaciones correspondientes sin necesidad de desplazarse junto con el producto, para que se pueda utilizar este tipo de equipo es necesario sujetar el producto con dos guías o patines por debajo de la carrocería como se puede ver en la figura 1.4.



Figura 1.4. Líneas de ensamble.

Físicamente las líneas de ensamble se pueden identificar de manera fácil, ya que todos los recursos se colocan de manera lineal, las máquinas, herramientas y el personal que labora en la línea está situado en forma de línea para conseguir paulatinamente el ensamblado total del producto.

A menudo una línea de ensamble es diseñada por Ingenieros Industriales, de ahí la importancia dada a este trabajo. Para el diseño de las líneas de producción se utilizan técnicas manuales basadas en el ensayo y error, además de heurísticas que ayudan a encontrar el nivel deseado de producción, la eficiencia en estos diseños depende en gran medida de la experiencia y conocimientos del Ingeniero Industrial. Los modelos basados en computadoras para el balanceo de líneas de producción son muy importantes, además de que proporcionan ayuda para obtener un diseño de calidad, evaluando e identificando de manera rápida diferentes alternativas para el diseño.

Por lo común, el Ingeniero Industrial se ayuda de este tipo de software para obtener mejores resultados en el balance de estas líneas, sin embargo, cuando se realiza el balance de las líneas utilizando únicamente modelos de cómputo es necesario conocer todos los factores que intervienen en la manufactura del producto para que se obtenga la eficiencia deseada en las líneas de ensamble, a pesar de que en los modelos de cómputo se pueden introducir la cantidad de restricciones que se crean convenientes, es necesario que se sepa manipular correctamente este tipo de modelos de cómputo. Únicamente se recomienda la técnica manual, cuando la línea a balancear tenga pocas actividades y cuando se tengan todos los conocimientos necesarios sobre las operaciones que se realizan en la línea.

Si la línea que se desea balancear es una línea de producción nueva en donde apenas van a arrancar las operaciones, se recomienda el uso de modelos de cómputo, puesto que tal vez no se tengan contemplados todos los factores, sin embargo, se tienen que realizar rebalanceos periódicamente para ir considerando cambios en el producto o en la demanda.

La distribución de planta orientada al producto se enfoca en tres puntos importantes:

- I. Alcanzar el nivel de producción deseado.
- II. Considerar cual va a ser la secuencia de las operaciones que se tiene que realizar.
- III. Llevar a cabo la producción de manera eficiente, sin emplear recursos innecesarios.

En la distribución de planta orientada al producto se busca el equilibrio en las operaciones que se realizan en las líneas de ensamble, es decir, se pretende conseguir la igualdad en las operaciones que se realizan en cada uno de los centros de trabajo, en términos de tiempo. Los cuellos de botella restringen el ritmo de la línea, ya que es ahí en donde el material se tarda más en pasar al siguiente centro, ocasionando que el flujo en las operaciones se reduzca.

No solo se debe conseguir la igualdad en las operaciones, se debe cumplir cierto orden de precedencia en dichas actividades, ese orden de precedencia en las actividades generalmente esta dada por la naturaleza del producto, además se deben calcular el número de estaciones de trabajo ya que es en estas estaciones en donde se busca el balance en sus operaciones, este balance genera un flujo constante y continuo.

De manera general el problema para este tipo de distribución radica en encontrar formas para igualar los tiempos en todas las estaciones de trabajo, conocido también como problema de balanceo de las líneas de ensamble. Puesto que este el tema principal en este trabajo, se trata con más detalle en temas posteriores.

En el Apéndice A de la página 205 se muestra la distribución de planta diseñada para la línea de ensamble de las carrocerías en una empresa automotriz, así mismo, se puede observar en esa misma distribución la línea en donde se realiza el ensamble de Underbody y Preenclampado respectivamente.

1.1.3 Distribución de Planta por Componente Fijo.

A la distribución de planta por componente fijo suele llamársele distribución por proyecto, este tipo de distribuciones se requieren cuando la naturaleza de los

productos impiden su movimiento, es decir, por motivos tales como su tamaño, su peso, o por cualquier otro motivo el cual impida desplazar el producto.

Para este tipo de distribución lo que se realiza es trasladar todos los recursos al lugar en donde se lleva a cabo la manufactura del producto, recursos como las herramientas, la materia prima y la fuerza de trabajo. Un servicio de plomería, la construcción de barcos en los diques y la construcción de puentes son un ejemplo de esta distribución.

Este tipo de distribución se complica por tres aspectos importantes:

- I. Existe un espacio limitado para la elaboración del producto.
- II. En cada etapa del proceso de construcción se necesitan materiales diferentes a medida que se desarrolla el proyecto.
- III. El volumen de materiales requeridos es muy variado.

1.1.4 Distribuciones de Planta Combinadas.

Hoy en día encontrar una empresa en la cual la distribución de planta existente sea única, es muy inusual, puesto que casi no existen distribuciones de planta puras, es decir, en las que únicamente exista un solo tipo de distribución, en ocasiones se tiene que adoptar una distribución de planta combinada dependiendo del producto que se desea conseguir. La combinación de una distribución es más usual para el caso de las distribuciones orientadas al proceso y al producto.

En la tabla 1.1 se muestran las características y las diferencias que existen entre los tres primeros tipos de distribución mencionados hasta ahora en este capítulo.

Tabla 1.1. Características de los diseños de distribución física²

<i>Aspectos del proceso de conversión</i>	<i>Orientación – Producto</i>	<i>Orientación – Proceso</i>	<i>Posición Fija</i>
Características del producto	Distribución física concatenada a la producción de un producto estandarizado en gran volumen, en ritmos normales de producción	Distribución física para productos diversificados, que requieren operaciones fundamentales comunes, en volúmenes variables con diferentes ritmos de producción	Bajo volumen, a menudo cada unidad es única
Patrón del flujo de productos	Línea recta de productos; la misma secuencia de operaciones estandarizadas en cada unidad	Patrón de flujo diversificado; cada orden (producto) puede requerir de una secuencia de operaciones única	Muy poco o ningún flujo de productos; los equipos y los recursos humanos se llevan al punto a medida que se requieren
Requerimientos de habilidades humanas	Tolerancia para llevar a cabo actividades rutinarias y repetitivas a un ritmo impuesto, capacidad de trabajo altamente especializada	Artesanos altamente especializados pueden desempeñar trabajos sin supervisión meticulosa y con cierto grado de adaptabilidad	Alto grado de flexibilidad en los trabajos cuando esto se requiere; las asignaciones específicas de trabajo y las ubicaciones varían
Personal de ayuda	Personal de ayuda numeroso e indirecto para programar los materiales y las personas, análisis y mantenimiento del trabajo	Hay que tener habilidad para programar, para el manejo de materiales, la producción y el control de inventarios	Se requiere un alto nivel de habilidades de programación y de coordinación

² EVERETT E. Adam Jr, RONALD J. Ebert. Administración de la producción y las operaciones, Conceptos, modelos y funcionamiento, Prentice – Hall Hispanoamérica, S.A. 4ª Edición.

Manejo de materiales	Flujos de materiales previsibles, sistematizados y a menudo automatizados	El tipo y el volumen de lo que se maneja y se requiere son variables, y a menudo hay duplicación	El tipo y el volumen de lo que se maneja y se requiere es variable, a menudo en poca cantidad; se puede necesitar equipo de manejo para trabajo pesado con múltiples propósitos
Requerimientos de inventario	Alta rotación de materia prima e inventarios de trabajos en proceso	Baja rotación de materia prima e inventarios de trabajos en proceso; inventarios detallados de materias primas	Inventario variable debido a un ciclo de producción largo, puede dar como resultado inventarios sin movimiento durante largos periodos
Utilización de espacio	Utilización adecuada de espacio, ritmo alto de producción por unidad de espacio	Ritmo de producción relativamente bajo, por unidad de espacio de instalaciones; altos requerimientos de trabajos en proceso	Para conversión dentro de las instalaciones, puede ser factible un ritmo bajo de utilización de espacio por unidad de producto
Requerimientos de capital	Inversión fuerte de capital en equipos y procesos que llevan a cabo funciones muy especializadas	Equipos y procesos con varias finalidades y de uso flexible	Equipos de propósito general y procesos que son móviles
Componentes del costo en el producto	Costos fijos relativamente elevados; pocas unidades de mano de obra directa y bajos costos de materiales	Costos fijos relativamente bajos; altos costos unitarios para mano de obra directa, para los materiales (inventarios) y manejo de materiales	Elevados costos de mano de obra y de materiales, costos fijos relativamente bajos

1.1.5 Otro Tipo de Distribuciones.

A pesar de que las distribuciones de planta mencionadas hasta ahora toman en cuenta cualquier tipo de empresa, sea esta dedicada a generar bienes y servicios, se mencionan también de manera sencilla otros tipos de distribuciones. El propósito de este trabajo no es dar a conocer los diferentes tipos de distribución que se tiene en las empresas pero se considera necesario hacer mención de los tipos de distribución existentes para dar a conocer cuales son las características principales de cada tipo de distribución, dependiendo el tipo de organización y los objetivos que se buscan en cada empresa. Aquí se hace mención a la distribución de planta orientada a oficinas, orientada a comercios y a almacenes.

1.1.5.1 Distribución de Planta orientada a Oficinas.

La distribución de planta orientada a oficinas es también conocida como organización de oficinas, se pueden ocupar los mismos métodos para minimizar las distancias entre cada oficina igual que en la distribución por proceso, consiguiendo así el acomodo de las oficinas dependiendo el flujo de la información, sin embargo, a diferencia de las distribuciones orientadas al proceso, este tipo de distribución le da mucho más importancia a la información y no a las operaciones que se realizan, se trata de agrupar a los trabajadores, equipos y despachos para conseguir mayor flujo de información.

Aunque el movimiento de la información se puede realizar de manera muy fácil, gracias a los equipos electrónicos con los que se cuenta en la actualidad, el análisis del enfoque de las oficinas sigue necesitando una visión basada en las tareas que no pueden realizarse por este medio, incluso independientemente de que se cuente con este tipo de tecnología. Una herramienta muy útil para este tipo

de distribución es el gráfico de relaciones, el cual nos marca la cercanía que debe existir entre cada personal que labora en la oficina.

1.1.5.2 Distribución de Planta orientada a Comercios.

También conocida como organización de comercios, este tipo de distribuciones está basada en la idea de que las ventas y los beneficios varían con la forma de exponer los productos a los clientes, mientras mayor sea el grado de exposición de los productos, mayores serán las ventas y la rentabilidad de la inversión.

Colocar los artículos de mucha venta en lugares estratégicos, da al cliente mayor afluencia por comprar esos artículos, de ahí que el objetivo principal de una organización de comercios es maximizar el beneficio por metro cuadrado de los estantes.

Para este tipo de distribuciones también existen modelos de cómputo, tales como, SLIM (Store Labor and Inventory Management: Dirección de empleados e inventarios de tienda) este software ayuda a los directivos de tiendas a determinar cuándo el espacio de una estantería es el adecuado para colocar otra caja más llena, otro software es el COSMOS (Computerized Optimization and Simulation Modeling for Operating Supermarkets: Modelo computarizado para la optimización y la simulación del funcionamiento de supermercados) que relaciona el espacio de estantes con las entregas previstas, asignando suficiente espacio para minimizar las carencias de existencias entre pedidos recibidos.³

³ JAY Heizer, BARRY Render. Dirección de la producción, Decisiones estratégicas. Editorial Prentice – Hall. 6ª Edición. España. 2001.

1.1.5.3 Distribución de Planta orientada a Almacenes.

La distribución de planta orientada a almacenes es también conocida como organización de almacenes, el objetivo de este tipo de distribución es encontrar un equilibrio entre los costos de manejo de materiales y el espacio necesario para su almacenamiento, se trata de maximizar el aprovechamiento del volumen total del almacén, en esta distribución, los costos de manipulación de material comprenden todos los costos relacionados con el transporte de entrada, almacenamiento y transporte de salida de los materiales a almacenar, incluyendo además en estos costos los equipos, personal, material, supervisión, etc.

Este tipo de distribución también busca reducir el daño que pudiera tener el material dentro del almacén, tomar en cuenta sistemas automatizados puede ser muy costoso en un principio, pero a futuro mejoran la productividad en un 100% o más comparados con los métodos manuales, eso considerando un sistema adecuado a las necesidades de cada almacén y considerando el ahorro de todos los costos gracias a ese sistema.

En la tabla 1.2 se presentan los principales problemas que se deben de solucionar en cada tipo de distribución de planta.

Tipo de Distribución	Problema del diseño
Orientada al Proceso	Minimizar el costo total de los movimientos carga - distancia que existe en todos y cada uno de los departamentos
Orientada al Producto	Igualar el tiempo de las operaciones en cada estación de trabajo para conseguir un flujo continuo del producto
Por Componente Fijo	Trasladar todos los recursos necesarios a las zonas de fabricación del producto en el momento en que se dispongan

Orientada a Oficinas	Ubicar a los trabajadores que necesitan un contacto frecuente unos con otros para facilitar el manejo de información
Orientada a Comercios	Presentar a los clientes los artículos con más altos márgenes de venta y posicionar los productos en lugares estratégicos
Orientada a Almacenes	Combinar el almacenamiento de bajo costo con el manejo de materiales también al más bajo costo posible

Tabla 1.2. Problemática de los diferentes tipos de distribución.

1.2 Principales Tipos de Operaciones.

Todo trabajo realizado por la mano de obra se puede dividir en dos tipos fundamentales: operaciones continuas e intermitentes, independientemente del tipo operacional de la empresa, puede ser una empresa cuya función operacional radique en la manufactura o en los servicios.

1.2.1 Operaciones Continuas.

Las operaciones continuas tienen una característica fundamental, desde el principio de la operación hasta el final la secuencia de las operaciones es siempre la misma, para manufacturar un producto nuevo se tienen que realizar las mismas operaciones que se hicieron en el producto anterior. También son conocidas como operaciones repetitivas, por lo general en este tipo de operaciones existe un alto volumen de producción, se utilizan equipos de uso especializado, la mezcla de productos en este tipo de distribución no es muy constante esto genera que los productos para este tipo de operaciones sean estandarizados consiguiendo así una mejor calidad.

1.2.2 Operaciones intermitentes.

En las operaciones intermitentes existe una gran variedad en la producción, puesto que la producción es de bajo volumen, se utilizan equipos de uso general y el flujo de los productos no es constante, la mezcla de productos para este tipo de operaciones es muy grande, generando por ende cambios frecuentes en el programa de producción. Por el contrario de lo que sucede en las operaciones continuas, aquí la mezcla de productos es la que marca la pauta en las operaciones, por lo tanto, al término de la elaboración de un producto las operaciones a realizar no van a ser las mismas para el nuevo producto a elaborar.

1.3 Manejo de Materiales en las Líneas de Ensamble.

En las líneas de ensamble de automóviles, igual que en cualquier otra línea, el manejo de los materiales es muy importante, se exige en este manejo una precisión exacta al momento de entregar los materiales en los respectivos centros de trabajo, si por algún motivo el material necesario para cualquier subensamble no llega al centro de trabajo, no solo se retrasa esa operación, se retrasan las demás operaciones siguientes a este centro.

Para evitar este tipo de situaciones se necesita de mucha gente encargada especialmente en el manejo de los materiales, las líneas de ensamble necesitan de un flujo constante en el producto a elaborar, a base de este flujo en el producto se necesita de igual manera un flujo adecuado en las partes necesarias para el ensamble de este mismo producto conocido también como Flujo de Material Sincronizado.

El manejo o manipulación de los materiales no es más que la preparación y colocación de los mismos para facilitar su movimiento o almacenamiento, considerando todas las operaciones a las que se somete el producto. En el manejo de materiales se busca la máxima economía, desde su primer movimiento como materia prima hasta que el material es procesado por completo y se transforma en producto terminado.

Todo esto no sería una tarea fácil si no se cuenta con el personal y el equipo adecuado para llevar a cabo todas las actividades necesarias en el manejo de materiales. La configuración en la planta es muy importante, está marca la manera de llevar a cabo la manipulación de los materiales, además no se puede tener un costo bajo y con el mínimo de manipulación si no se hizo una distribución adecuada al momento de planear la línea de ensamble.

Se puede notar la mala distribución existente en la planta cuando el volumen de producción aumenta, esto es muy evidente cuando éste aumento en la producción provoca cambios en los procesos o en los productos, al añadir máquinas o equipos para lograr la producción deseada, o por el simple hecho de modificar la disposición en la línea o en un grupo de trabajo. Si se quiere optar por automatizar un centro de trabajo o se desea realizar cualquier cambio, primero se debe tomar en cuenta el recorrido y la manipulación de los materiales, además de considerar el costo al realizar estos cambios, por que podría resultar más costosa la manipulación en los materiales que el gasto realizado para automatizar el proceso en el centro de trabajo.⁴

El manejo de materiales no solo comprende los materiales que se necesitan en cada centro de trabajo, también es necesaria la manipulación de los materiales que se procesan, es decir, se deben considerar los subensambles y ensambles

⁴ Cabe mencionar que esta situación sólo se puede presentar en casos muy extremos en donde no se tomen en cuenta los costos en el recorrido del material debido a que el traslado de los subensambles sea excesivamente costoso.

que pasan por todo lo largo de la línea, esta problemática se puede realizar de manera sencilla si la ubicación de los centros es uno seguido de otro, como debería serlo por la misma naturaleza de la distribución. Si la metodología en las operaciones es la adecuada para determinado producto, entonces indirectamente se ataca el problema de la manipulación de los materiales en la línea, no obstante, es importante tomar en cuenta la fisonomía del producto, para la manipulación de dichos ensambles.

El recorrido de los materiales a lo largo de los centros de trabajo no le brinda un valor extra al producto, es decir, un recorrido en el material por muy mínimo que sea no le da valor agregado al producto, de ahí la importancia de tratar de minimizar lo más posible los movimientos en el material, desafortunadamente es imposible eliminar en su totalidad el movimiento de los materiales. Entregar los materiales en el momento en que se necesitan resulta menos costoso si se escoge el equipo apropiado, además la entrega de estos materiales se puede realizar en menor tiempo gracias a la buena elección del equipo.

1.3.1 Factores a Considerar en la Elección del Equipo.

Si se desean obtener los resultados esperados en el manejo de materiales, se deben considerar todos los factores que intervienen en el sistema productivo, estos factores determinan cual es el equipo adecuado para el recorrido de los materiales en la línea de ensamble.

1.3.1.1 Material que se tiene que mover.

El material juega un papel muy importante en la elección del equipo de manipulación, para llevar a cabo la elección de este equipo se deben tomar en cuenta las características del producto, debido a que su composición es un

aspecto fundamental, el tamaño, peso, la consistencia del producto, su resistencia, variaciones en la temperatura y las posibles reacciones químicas son algunos de los puntos en donde se debe prestar atención, afortunadamente en el ensamble de las carrocerías de los automóviles los materiales ocupados no son muy frágiles, esto es tomado como una ventaja desde el punto de vista de la dureza del material, así se pueden transportar materiales en gran cantidad, dependiendo el material que se necesita en cada centro.

En la figura 1.5 se muestra una grúa aplicada en el movimiento de materiales de una estación a otra, se pensaría que es costoso pero al realizar una evaluación de todos los factores, se encuentra que es la mejor opción para ese traslado del material, la utilización de esta grúa genera también más seguridad en el centro de trabajo, consiguiendo por lo tanto más seguridad en los trabajadores, debido al tamaño y al peso del ensamble es más eficiente utilizar una grúa automática que una manipulada manualmente por algún trabajador.



Figura 1.5. Material que se tiene que mover.

1.3.1.2 Naturaleza de la Operación.

La naturaleza de las operaciones que se realizan en la línea de ensamble es otra consideración que no se debe olvidar, el orden de las operaciones igual que todos los factores a considerar en la elección del equipo para la manipulación es fundamental.

El volumen de la producción así como el flujo en las operaciones se debe tener en cuenta para seleccionar de un modo correcto el equipo, mientras más costoso resulte un equipo para el manejo de materiales, más interés tiene que existir en hacer que ese equipo trabaje a su plena capacidad, consiguiendo así alcanzar el volumen de producción y el flujo en las operaciones deseado.

Este flujo depende del ritmo de producción en la línea, de igual manera marca la cantidad de piezas o subensambles que necesitan los centros de trabajo, esto también delimita el tipo de equipo que se necesita puesto que si requieren muchas piezas o subensambles de manera constante es mejor transportar esas piezas de un solo viaje y no de una en una.

El traslado de los automóviles a las líneas de ensamble mostrado en la figura 1.6 no se podría realizar manualmente debido a que hasta ese momento no se tiene instalado el motor en los automóviles, otra condición importante es el factor combustible, cuando las unidades están listas para pasar a las pruebas necesarias para su inspección primero se tienen que llenar los tanques de combustible, este tipo de grúa es el mismo que se utiliza para poder trasladar las unidades al lugar en donde se lleva a cabo dicha actividad.



Figura 1.6. Naturaleza de la operación.

1.3.1.3 Características Físicas de las Instalaciones Existentes.

La elección del equipo también se encuentra condicionada por las características físicas existentes en la planta, desafortunadamente el hecho de tratar de cambiar toda la constitución física de la planta para adecuarla a la manera en la que se necesita, resultaría muy costoso y en vez de esto, se opta por la elección de equipos que nos ayuden en la manipulación del material a pesar de esa constitución.

Probablemente si se tenía pensado la utilización de una grúa para la manipulación de cierto material, tal vez esta idea se vea frustrada si la altura en la instalación no es la adecuada para la utilización de grúas, por otra parte se tiene que tomar en cuenta el equipo que ya existe en las instalaciones, por lo regular es más

conveniente tratar se complementar la manipulación de los materiales con el equipo ya existente, que tratar de sustituir todos los equipos con los que ya se cuenta, tomando en consideración que el equipo existente responda de forma adecuada a lo que se tiene pensado realizar y siempre que ese equipo se encuentre en buenas condiciones.

El recorrido que realizan los costados de las unidades hacia el área de preenchapado se realiza por medio de grúas aéreas con la ayuda de rieles, en la figura 1.7 se observa el subensamble montado en la grúa que lo trasladará al centro de trabajo en donde se requiere debido a que el centro en donde se realiza este subensamble no está seguido por el centro en donde se necesita, se optó por este método puesto que resulta más económico enviar estos subensambles por medio de grúas, si se opta mandar estos subensambles con la ayuda de montacargas se utilizaría más espacio en el centro en donde se ocupan los subensambles debido a que se tiene que contemplar el espacio para la colocación de los racks con los subensambles correspondientes.



Figura 1.7. Características físicas de las instalaciones existentes.

1.3.1.4 Seguridad y Flexibilidad del Equipo.

La seguridad de los equipos a elegir es muy importante, sin duda alguna el manejo mecanizado es más seguro pero también es de los más costosos, se debe considerar el nivel de seguridad que proporcionan ciertos equipos, sean estos mecanizados o no, desde el punto de vista del propio equipo en si y de la seguridad que le brinde este a los trabajadores y a las operaciones que se realicen con el equipo.

En las líneas de ensamble la seguridad que los trabajadores tienen hacia el equipo ayuda mucho para que ellos puedan realizar sus operaciones sin estarse preocupando en el riesgo de poder sufrir un accidente. Debe brindarse mucha atención en todas las características del equipo, desde la cantidad de energéticos que consume hasta la cantidad de ruido o humo que pudiera generar este equipo.

Principalmente se debe buscar un equipo que pueda brindarnos diversas tareas en el manejo, es decir, seleccionar un equipo que además de realizar su tarea básica pueda ejecutar otras tareas necesarias en el manejo de materiales, esta flexibilidad en el equipo es muy importante, pero si se desea buscar un equipo específico para una sola tarea, quizá resulte mejor no seleccionar alguno que pueda realizar diversas tareas, ya que no se podrá utilizar a su plena capacidad.

El traslado de los subensambles por medio de grúas aéreas y con la ayuda de rieles hace este trabajo muy fácil, lo más importante es la seguridad que se tiene con este tipo de equipo, este traslado es muy seguro por que la grúa cuenta con dispositivos que sostienen el material de manera muy segura evitando que pueda caer, durante todo el recorrido que sigue el material se cuenta con una plataforma que se ocupa para reforzar la seguridad en los trabajadores aunque la grúa no suelta el material por ningún motivo, se deben tomar precauciones por si esto llega a suceder, además este tipo de equipo es muy flexible por que coloca el

subensamble muy cerca de donde se requiere para su colocación y ayuda a disminuir equipo y personal para su traslado, si se realizara el traslado con contenedores se necesitaría más espacio en el centro de trabajo y una persona para que controle el montacargas, este dispositivo mecanizado se muestra en la figura 1.8.



Figura 1.8. Seguridad y flexibilidad del equipo.

1.3.1.5 Costo Generado por el Equipo.

El hecho de considerar todos los factores mencionados anteriormente, ayudará en mucho a encontrar un equipo que se adapte en buena manera al tipo de operaciones que se realizan en las líneas de ensamble y que además responda a todas las exigencias y al problema principal del manejo de materiales, pero lo más importante es considerar la situación económica y financiera de la empresa.

Esta situación rige la elección del equipo, se tiene que considerar el precio de compra del equipo seleccionado, así como los gastos de instalación, mantenimiento, gastos de mano de obra necesaria para el funcionamiento del equipo, gastos de reparación e intercambio de piezas y la mano de obra encargada de este mantenimiento.

La instalación del subensamble del costado se puede realizar manualmente, sin embargo, se opta por utilizar un fixture para esta operación, este equipo comparado con una grúa manual parece ser más costoso, sin embargo, las ventajas que ofrece compensan ese gasto inicial.

En la figura 1.9 se muestra el fixture utilizado para montar el subensamble a la unidad, con este equipo como en la mayoría de los equipos mecanizados la seguridad y ergonomía hacia los trabajadores resultan más favorables.



Figura 1.9. Costo del equipo.

El manejo de materiales no es una tarea fácil, es por eso que esta actividad se ayuda con métodos y técnicas que generen un flujo continuo en el material a procesar, estos métodos y técnicas se retoman en temas posteriores.

1.4 Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo.

La seguridad y la higiene en las líneas de ensamble es muy importante, ésta seguridad e higiene ayudan a que el trabajador se sienta confiado al momento de realizar sus operaciones, independientemente de esa seguridad en el trabajador, es algo que se debe atender para evitar accidentes en la planta. El flujo constante en las operaciones y en el material puede causar cualquier tipo de accidentes, si no se atiende la seguridad en la planta lo más probable es que se presenten una gran variedad de lesiones en los trabajadores.

Para poder tratar este tema es necesario conocer la definición de riesgo y accidente de trabajo, el riesgo de trabajo son los accidentes a los que están expuestos los trabajadores con motivo del trabajo, por otro lado el accidente de trabajo es la lesión funcional en cualquier parte del cuerpo humano, pudiendo causar un daño menor e incluso la muerte con motivo de la realización del trabajo. Una vez entendidos estos conceptos podemos comprender más claramente que es la seguridad e higiene en el trabajo.

La seguridad e higiene es el reconocimiento, evaluación y control de agentes a los que están expuestos los trabajadores en sus centros de trabajo y que pueden causar una enfermedad de trabajo, el objetivo de la seguridad e higiene en el trabajo es establecer medidas que permitan la prevención de accidentes a los trabajadores.

1.4.1 Factores que Propician un Accidente.

Existen diversos factores que ayudan a que se presente un accidente, básicamente son dos factores, las condiciones inseguras y los actos inseguros.

➤ Condiciones Inseguras.

Las condiciones inseguras son el grado de inseguridad que se presenta en el proceso productivo, como por ejemplo en la maquinaria, herramientas y las operaciones realizadas en cada centro de trabajo. Las condiciones inseguras más frecuentes se presentan en el deterioro de las estructuras o instalaciones además de maquinaria y herramientas con deterioro.

➤ Actos Inseguros.

Los actos inseguros se refieren al factor humano, es decir, es la causa humana que propicie una situación de riesgo o accidente. Los actos inseguros se presentan con mayor frecuencia que las condiciones inseguras, esto por el exceso de confianza en los trabajadores o por el mal hábito o diseño en las operaciones realizadas por el trabajador.

1.4.1.1 Factores que Propician una Condición o Acto Inseguro.

Los factores que pueden propiciar la ocurrencia de una condición o acto inseguro, como causas indirectas o inmediatas de los accidentes son:

- La falta de capacitación y adiestramiento para el puesto de trabajo, este factor es tal vez lo primero que se debe atacar, la capacitación y el adiestramiento ayudan en mucho a la prevención de accidentes, se le tiene que proporcionar capacitación al trabajador después de que ha sido contratado, aun cuando el trabajador tenga conocimiento en las operaciones que va a realizar o tenga tiempo laborando en la empresa, se debe dar capacitación y adiestramiento de manera periódica para evitar accidentes.
- Desconocimiento de las medidas preventivas de accidentes laborales, este desconocimiento genera situaciones peligrosas o accidentes en el trabajo, junto con la capacitación y el adiestramiento se le debe proporcionar información al trabajador sobre las medidas preventivas que debe seguir en sus operaciones, usualmente se cree que si se le enseña al trabajador la manera de realizar sus operaciones no va a realizar movimientos o acciones que no estén dentro de su operación, para evitar un accidente se le debe proporcionar además información acerca de situaciones que se pueden presentar al momento de realizar su trabajo y sobre todo se debe mostrar la manera de reaccionar ante condiciones que usualmente no se presentan en los grupos de trabajo.
- Problemas psicosociales y familiares, los problemas que se le presentan al trabajador dentro y fuera del trabajo son generadores de situaciones peligrosas, se deben de tomar en cuenta estas condiciones en el trabajador, por lo regular se les pide que estando en el trabajo se olviden de problemas familiares, pero se debe considerar el hecho que tanto fuera o dentro del trabajo siguen siendo personas, los conflictos interpersonales con los compañeros y jefes son también un generador de accidentes, todas estas condiciones hacen que el trabajador este pensando en otras cosas y olvide la manera correcta de realizar sus operaciones, este tipo de

distracciones son muy frecuentes y propician una gran cantidad de accidentes.

- Características personales del trabajador, la confianza excesiva en los trabajadores es un punto muy importante dentro de los accidentes de trabajo, esta confianza genera el incumplimiento de las normas y procedimientos en cada centro de trabajo, trayendo consigo situaciones peligrosas para el trabajador y para sus compañeros.

1.4.2 Ergonomía en los Centros de Trabajo.

Otro punto muy importante dentro de la seguridad e higiene en los centros de trabajo es la ergonomía, la palabra ergonomía proviene del griego *ergón*, que significa trabajo y *nomos*, que significa leyes, son las leyes en el trabajo, es decir, se puede entender a la ergonomía como la adaptación de los trabajos a las personas.

La ergonomía examina la interacción entre el trabajador y el medio en el cual trabaja, comprendiendo así los efectos que el trabajo tiene en el trabajador. De forma breve, la ergonomía trata tres aspectos importantes: el hombre, la máquina y su entorno, encontrando la concordancia entre las posibilidades físicas de la máquina y las características físicas del individuo, con el objetivo de optimizar el funcionamiento de un sistema adaptándolo a las necesidades y capacidades del ser humano, este sistema se muestra en la figura 1.10. Cuando no existe ergonomía en el trabajo se genera una lesión, este tipo de lesiones es conocido por los Ingenieros Industriales como enfermedades profesionales.

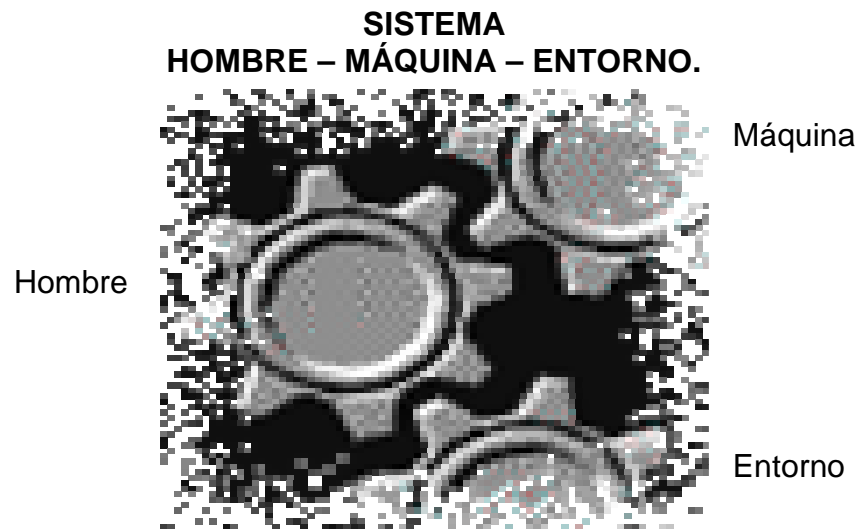


Figura 1.10. Hombre – Máquina – Entorno.

En la figura 1.11 se observa de manera clara como se puede llevar la adaptación del trabajo dependiendo las características físicas de cada persona, en este caso la altura de cada persona es la que se acondiciona para poder llevar a cabo un trabajo de manera ergonómica. La limpieza y el orden en cada centro de trabajo forman parte importante para conseguir más seguridad, prevenir accidentes de trabajo no solo se obtiene mediante el uso correcto del equipo, si el centro de trabajo se mantiene limpio y ordenado se contribuye a la productividad de la planta, todas las herramientas, dispositivos y cualquier equipo utilizado para cierta operación se debe de mantener en el lugar adecuado.

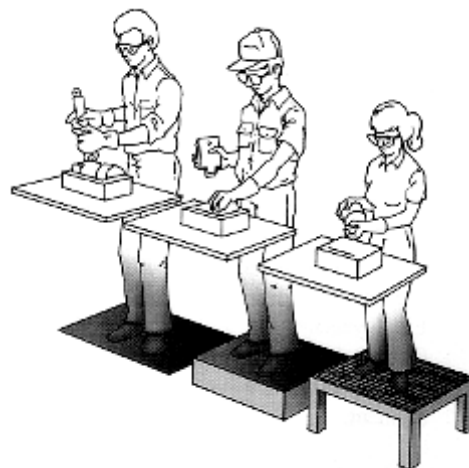


Figura 1.11. Adaptación del trabajo al hombre.

En la figura 1.12 se muestra un centro de trabajo en donde se tienen los sellos utilizados en las operaciones organizados de manera correcta, los botes de basura se tienen en colores diferentes para poder depositar en ellos el material correspondiente a cada color. Cuando se tiene desorden en el centro de trabajo se tiene tiempo muerto en tratar de localizar los materiales y herramientas correspondientes a cada operación.



Figura 1.12. Limpieza y orden en los centros de trabajo.

La limpieza también se puede aplicar a la ropa con la que se trabaja para poder reducir el riesgo de adquirir infecciones derivados de sustancias que dañen la piel, esta limpieza en el uniforme genera también más presencia para la empresa y para los mismos trabajadores, en situaciones en donde se trabaja con ropa limpia el trabajador tiende a mantener su centro de trabajo lo más limpio y arreglado posible.

1.4.2.1 Enfermedad de Trabajo.

Las enfermedades profesionales o de trabajo son un estado patológico ocasionado por la realización de diversas actividades, teniendo su origen o motivo en el trabajo, es decir, es un estado en el cuerpo humano ocasionado por la realización de actividades de manera constante dentro del trabajo.

Como ya se mencionó en este capítulo las operaciones que se realizan en las líneas de ensamble son repetitivas, desafortunadamente este tipo de operaciones son las que con mayor frecuencia tienden a generar enfermedades de trabajo, debido a que se tiene que llevar a cabo la misma secuencia de operaciones en cada una de las unidades o subensambles que llegan a los centros de trabajo, independientemente de este tipo de operaciones existen otros agentes que ocasionan este tipo de enfermedades.

En la figura 1.13 se observa la manera en la que se adaptó el trabajo al trabajador, se colocó una la mesa de levante en este centro de trabajo para poder adaptar la altura del operario con la del producto, el equipo con el que se desplaza el producto hace que esté demasiado alto el lugar en donde se tienen que realizar las actividades de trabajo, independientemente de que ningún trabajador es tan alto como para no necesitar la mesa de levante, cuando se colocó la mesa se tuvo que planear cual era la distancia a la que se tenía que levantar la mesa para que no quedara demasiado alto, en la imagen mostrada del lado izquierdo se observa como el operador puede trabajar en la salpicadera de la unidad sin necesidad de utilizar la mesa de levante mientras que la imagen del lado derecho muestra el momento en el que el operador utiliza la mesa de levante para realizar sus operaciones en la parte del cofre de la unidad.



Figura 1.13. Ergonomía en el trabajo para evitar enfermedades profesionales

Normalmente los problemas en la columna se presentan cuando el trabajo que se realiza no está bien diseñado, en la figura 1.14 se muestra la manera en la que el operador realiza sus actividades en la parte baja de la carrocería de la unidad, para evitar problemas en la espalda y columna se colocó un banco con ruedas para que trabaje con más comodidad evitando generar con el paso del tiempo una enfermedad profesional, este buen diseño en las operaciones es una situación clara de ergonomía aplicada a un centro de trabajo.



Figura 1.14. Buen diseño en los centros de trabajo.

Los agentes que pueden producir enfermedades de trabajo son agentes tales como: físicos, químicos, biológicos, psicológicos y ergonómicos.

◆ **Agentes físicos.**

Este tipo de agentes son los que se presentan y tienen lugar en el medio ambiente. Los más notables son los que se relacionan con ruido, vibraciones, calor, frío, iluminación, ventilación, presiones anormales, radiaciones, etc.

Este tipo de agentes se generan por las mismas operaciones que se realizan en las líneas de ensamble, un ejemplo de esto son las punteadoras automáticas, provocan un sonido muy ligero al momento de soldar la carrocería de las unidades.

◆ **Agentes químicos.**

Este agente se puede considerar como toda sustancia natural o sintética, que durante el proceso de fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, pueda contaminar el ambiente, se presenta en forma de polvo, humo, gas, vapor y neblinas, provocando efectos irritantes, corrosivos, explosivos, tóxicos e inflamables, alterando la salud de los trabajadores.

◆ **Agentes biológicos.**

Los agentes biológicos son todos aquellos organismos vivos y sustancias derivadas de las mismas operaciones que se llevan a cabo en la línea de ensamble, que pueden ser susceptibles de provocar efectos negativos en la salud de los trabajadores en procesos tóxicos o alérgicos.

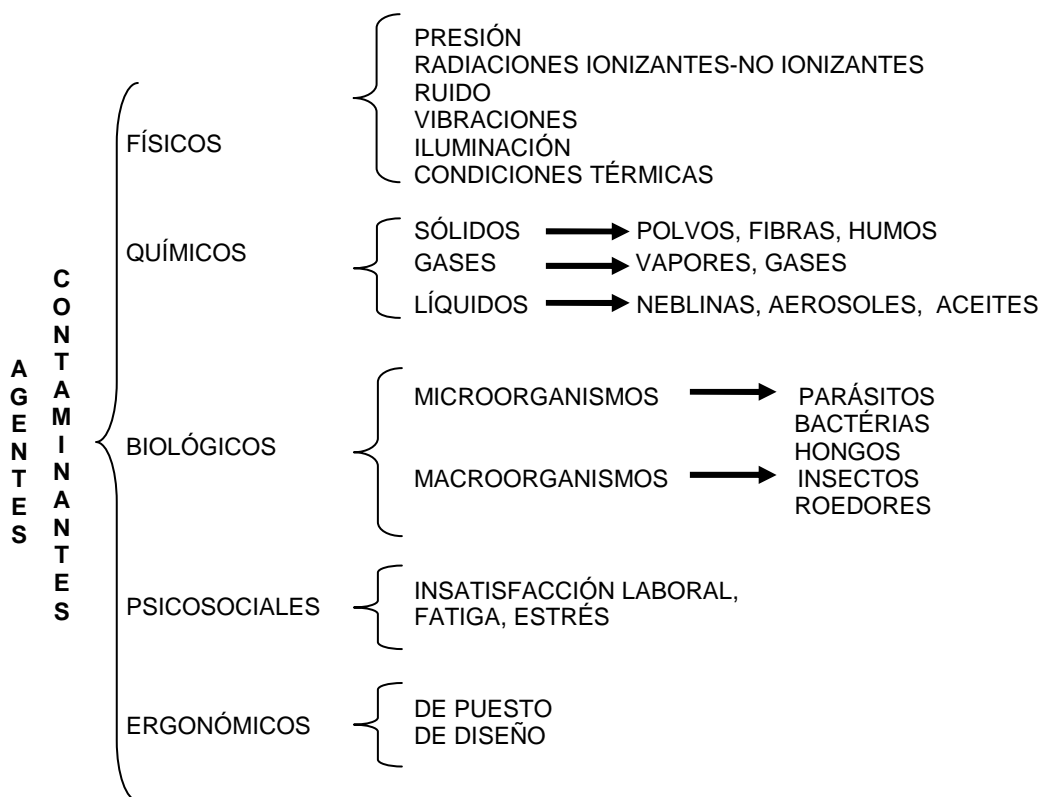
◆ **Agentes psicosociales.**

Son las situaciones que ocasionan insatisfacción laboral o fatiga y que influyen negativamente en el estado anímico de las personas. Los problemas de origen familiar son un ejemplo de este tipo de agente.

◆ **Agentes ergonómicos.**

Es la falta de adecuación de la maquinaria y elementos de trabajo a las condiciones físicas del hombre, que pueden ocasionar fatiga muscular.

En la tabla 1.3 se muestran los diversos agentes contaminantes y algunos ejemplos de este tipo de condiciones.



Cuadro Sinóptico 1.1. Agentes contaminantes.

1.4.3 Equipo de Protección Individual.

Una manera de reducir los riesgos y los accidentes de trabajo, es utilizar el equipo de protección individual (EPI) adecuado, el equipo de protección a utilizar va a

dependen del tipo de operaciones que se realicen en las líneas de ensamble. Como ya se mencionó, este trabajo se enfoca al balanceo de las líneas de ensamble de una empresa automotriz y en especial al Departamento de Carrocerías, en este apartado se menciona de manera sencilla cual es el equipo de protección personal que se debe utilizar en el ensamble de las carrocerías.

El equipo de protección personal son los artefactos y la ropa apropiada para proteger cualquier porción del cuerpo con el fin de evitar accidentes, el equipo de protección personal se puede clasificar de la siguiente manera:

- ✦ Protección de la cabeza.
- ✦ Protección del rostro y ojos.
- ✦ Equipo de protección respiratorio.
- ✦ Protecciones de manos, brazos y pies.
- ✦ Ropa protectora.

Protección de la Cabeza.

La protección en la cabeza es muy importante, un golpe en esta parte del cuerpo por muy leve que parezca puede traer consecuencias muy graves hacia la salud del trabajador, todo el cuerpo sin duda alguna es muy importante, no se puede pensar que una parte de él es más valiosa que otra.

En el ensamble de las carrocerías la utilización de un casco no es necesaria, sin embargo, es muy importante la utilización de la escafandra, esto debido a las chispas originadas por las punteadoras y los robots, por el contrario de lo que sucede en el departamento de vestidura (conocido como ensamble o línea final), en este departamento si se requiere de protección en la cabeza, un casco es un equipo que brinda suficiente protección para el personal que labora en esta área.

Las punteadoras, los robots, las prensas y las grúas automáticas a pesar de que generan ruido en el ensamble de las carrocerías no lo hacen con mucha intensidad, para la protección de los oídos solo se utilizan tapones de uso general.

Protección del Rostro y Ojos.

La protección del rostro y los ojos es importante dentro del ensamble de las carrocerías, puesto que en la mayoría de las operaciones se utilizan punteadoras, la soldadura para este departamento es fundamental, de esto depende la utilización de protección en el rostro y en los ojos.

El equipo de protección personal que se utiliza para la protección de los ojos, son las gafas, en cuanto a la protección del rostro se utiliza la escafandra y una careta transparente, si solo se llegara a utilizar la careta transparente podría existir el riesgo de sufrir una quemadura, esto por las chispas que se generan en los centros de trabajo aledaños.

Equipo de Protección Respiratorio.

La protección del aparato respiratorio es muy importante, al momento de llevar a cabo la soldadura de las carrocerías se despiden gases, este gas es producto de la unión de las mismas carrocerías a una temperatura muy elevada, el equipo de protección que se utiliza en este caso son los respiradores de uso general.

Protección de Manos, Brazos y Pies.

La protección de los brazos y las manos en las líneas de ensamble se lleva a cabo mediante la utilización de guantes que pueden ser de uso general, tales como los guantes de carnauba dependiendo el tipo de material que se utiliza en cada centro

de trabajo, los guantes de carnaza son adecuados ya que resisten el filo de las partes metálicas utilizadas para el ensamble.

Las braceras son muy importantes para la protección de los brazos, estas cuidan la quemadura originada por las chispas, en cuanto a la protección en los pies basta con un calzado de seguridad, también puede ser de uso general, siempre y cuando sea en forma de bota y cuente con casquillo de acero, este casquillo protege los dedos de los pies ante cualquier caída de material o pieza del producto.

Ropa Protectora.

La ropa que se utiliza para la protección de los trabajadores es de mezclilla, tanto el pantalón como la camisa son de este material, este tipo de ropa además de ser muy resistente es muy comfortable para los trabajadores, no se debe olvidar que cualquier equipo de protección individual no debe impedir los movimientos en los trabajadores, mientras más cómodo este el trabajador más seguridad brinda este equipo de protección. Se utiliza también un mandil resistente a las chispas ocasionadas por las punteadoras manuales y automáticas.

En la figura 1.15 se observa a un operario con todo su equipo de protección personal, necesario para poder evitar cualquier tipo de accidente en su centro de trabajo, pero sobre todo un accidente hacia su persona.



Figura 1.15. Equipo de protección personal.

Capítulo 2

EL ESTUDIO DE TIEMPOS EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.

- 2.1. Requisitos Necesarios en el Estudio de Tiempos.
- 2.2. Equipo para el Estudio de Tiempos.
- 2.3. Métodos para el Estudio de Tiempos.
- 2.4. Elementos en el Estudio de Tiempos.
- 2.5. Calificación del Desempeño.
- 2.6. Tiempo Estándar.

EL ESTUDIO DE TIEMPOS EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE.

El estudio de tiempos es muy importante en todo sistema productivo, con la ayuda de la medición del trabajo podemos visualizar el tiempo total que el trabajador necesita para realizar cierta operación, el estudio de tiempos se utiliza para cualquier tipo de operaciones, pueden ser manuales o mecánicas, incluso para empresas dedicadas a generar servicios.

La medición del trabajo o el estudio de tiempos forma parte del estudio del trabajo, para la realización de este proyecto tanto la medición del trabajo como el estudio de métodos son muy importantes, puesto que para poder realizar el balanceo de las líneas se consideraron tiempos reales en las operaciones, y con base en esos tiempos se llevó a cabo el estudio de métodos con la ayuda de un balanceo en las líneas de ensamble.

De manera breve se va a explicar en que consiste el estudio del trabajo, con la finalidad de dar a conocer cual es la diferencia entre la medición del trabajo y el estudio de métodos.

Al estudio del trabajo solía llamársele también estudio de tiempos y movimientos, actualmente ya no se le asocia tanto con este término debido a la gran variedad de técnicas y métodos que se pueden emplear para llevar a cabo estas dos actividades. Para obtener más productividad y eficiencia en las líneas de ensamble en un principio se puede optar por implementar nuevos procedimientos y por modernizar las instalaciones, esto es una buena solución cuando se moderniza la planta por primera vez, siempre y cuando se cuente con los recursos económicos para poder hacerlo, a lo largo del tiempo siempre va a existir la necesidad de mejorar nuevamente esa productividad o simplemente la demanda va a generar esa necesidad del cambio, desafortunadamente no siempre lo mejor

es modernizar las instalaciones o comprar maquinaria nueva, ya que esto implicaría un derrame económico muy grande para la empresa, sin embargo, con el estudio del trabajo este tipo de problemas se puede resolver mediante el análisis de las operaciones, sus métodos y procedimientos, utilizando el equipo con que se dispone en la planta.

En concreto el estudio del trabajo sirve para hacer más productiva la planta utilizando los recursos con los que ya se cuenta en dicha planta, salvo ocasiones en las que después de realizar un estudio del trabajo se crea conveniente adquirir equipo especial para hacer más eficiente las operaciones siempre y cuando los equipos contemplados para dicho propósito no ocasionen un gasto mayor del contemplado.

Las técnicas que suelen emplearse para llevar a cabo el estudio del trabajo son dos: el estudio de métodos y la medición del trabajo. Por una parte el estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemático de los modos existentes y proyectados para llevar a cabo un trabajo como medio de idear y aplicar métodos más sencillos y eficaces para reducir los costos.⁵

Básicamente lo que se realiza en el estudio de métodos es el análisis en la manera de llevar a cabo las operaciones, con el fin de mejorarlos aplicando métodos más sencillos que reduzcan tiempo y costos en las operaciones, volviéndolos así más eficientes.

La medición del trabajo o el estudio de tiempos es el análisis de las operaciones para poder determinar el tiempo necesario para realizar una tarea específica por un trabajador calificado, siguiendo una secuencia preestablecida en esa operación. La medición del trabajo es indispensable para cualquier mejora que se

⁵ Introducción al Estudio del Trabajo. Oficina Internacional del Trabajo. Editorial Limusa. 3ª Edición. Ginebra.

desea implementar, ya que este estudio de tiempos nos indica si se obtuvo una mejora en el sentido del tiempo, por lo regular se establece una mejora en base al tiempo acortado en las operaciones estudiadas, aunque esto no siempre es así, ya que se tienen que contemplar varios factores para considerar que se a logrado una mejora, puede ser una mejora en el manejo de materiales, en la reducción de operarios, en la reducción de tiempos o en los costos, esto va a depender de la situación que se desea atacar, pudiendo centrarse el problema solo en un punto, en varios, o probablemente en todos al mismo tiempo.

El estudio de tiempos y el estudio de métodos están muy ligados uno del otro, es decir, la eficiencia obtenida en el estudio de métodos se puede verificar con el estudio de tiempos, y viceversa. Para poder efectuar cualquiera de estas dos técnicas se necesita de mucho tiempo, necesario para el análisis minucioso en estas técnicas, consiguiendo así mejores resultados.

2.1 Requisitos Necesarios en el Estudio de Tiempos.

Para realizar un estudio de tiempos en forma, se deben considerar ciertos requisitos indispensables, estos requisitos son: la presencia del analista, supervisor, representante sindical y operario, con la finalidad de que el estudio de tiempos en cualquier operación arroje resultados concretos y lo más importante, resultados en los que todos y cada uno de los que intervienen en el estudio de tiempos queden satisfechos.

El objetivo de la presencia de estas personas es que se tenga la confianza en la manera de realizar el estudio, en los métodos y en que las operaciones van a cumplir con los estándares establecidos para el buen conformado del producto.

2.1.1 Responsabilidad del Analista.

El analista encargado de realizar el estudio de tiempos juega un papel muy importante, sobre él recaen todas las inexactitudes después de realizar el estudio de tiempos, esto es por que el operario, supervisor y representante sindical por lo regular le agregan al analista todos los errores que se susciten después de la medición del trabajo. Para evitar estos malos momentos se deben de analizar todos los factores que puedan presentarse en el transcurso del estudio de tiempos.

Lo que el analista debe de hacer con el propósito de que todos estén enterados sobre la manera de llevar a cabo el estudio es:

- ✓ Avisar en primera instancia al representante sindical (o delegado) los motivos de realizar un estudio de tiempos y las posibles fechas o el periodo que durará dicho estudio, esto es en el caso de que el estudio se tenga planeado para uno o varios grupos de trabajo.
- ✓ Acordar con el supervisor o líder de manufactura el día y la hora en que se realizará el estudio de tiempos.
- ✓ Verificar con el líder de manufactura y con el Ingeniero de Procesos, que todos los elementos de trabajo cumplan con los requisitos y estándares establecidos, esto es con la finalidad de que el analista de tiempos, el líder de manufactura, el delegado sindical y el operario estén en acuerdo sobre la secuencia que debe seguir el operario para la realización de su trabajo y sobre todo para verificar que el método actual es el correcto.
- ✓ Una vez establecida la secuencia en las operaciones, el analista debe verificar en el centro de trabajo, todos y cada uno de los elementos de

trabajo, esto es de gran ayuda ya que con esto el analista puede visualizar cada uno de esos elementos. Es muy importante que el analista pueda detectar indicadores auditivos y visuales para dividir los elementos y para establecer el inicio o término de cada elemento de trabajo.

- ✓ Por último lo que se debe hacer al momento del estudio de tiempos es registrar con precisión los tiempos tomados y evaluar con honestidad el desempeño del operario sin hacer críticas personales.

Para lograr mantener buenas relaciones humanas, el analista de estudio de tiempos siempre deberá ser honesto, bien intencionado, paciente y entusiasta, y siempre deberá usar su buen juicio.⁶ Para poder mantener buen trato con el líder de manufactura, el delegado sindical y con el operario deberá también contestar de manera clara las preguntas que puedan surgir durante todo el estudio de tiempos, es importante que el analista colabore en todo lo posible con ellos, esto también hará que le brinden todo el apoyo al analista, deberá también abstenerse de discutir con cualquiera de las personas que intervienen en el estudio y mostrarles la información completa y exacta en cada estudio de tiempos.

2.1.2 Responsabilidad del Supervisor.

El líder de manufactura es la segunda persona que está en contacto directo con los operarios, además de ser la persona que sabe cual es el operario que le va a proporcionar mejores resultados. Igual que el analista de tiempos, la presencia del supervisor es muy importante, a pesar de que el analista de tiempos en la mayoría de los casos es el Ingeniero Industrial de la planta, es importante que se encuentre

⁶ Benjamín W. Niebel. Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Editorial Alfaomega. 11ª Edición. México D.F.

el líder de manufactura para aclarar cualquier situación durante el estudio de tiempos.

Básicamente las funciones del líder de manufactura en el estudio de tiempos son:

- ✓ Notificar al operario el día y la hora del estudio de tiempos.
- ✓ Explicar junto con el analista de tiempos las razones que obligan a realizar el estudio de tiempos, y todo lo referente al estudio para darle más tranquilidad al operario.
- ✓ Colaborar con la verificación de que todas las herramientas y prensas funcionan en buen estado.
- ✓ Si las condiciones en el momento de llevar a cabo el estudio de tiempos no son las adecuadas, el líder de manufactura debe explicar el porque de esa situación, al tiempo que el analista confirma esa explicación.
- ✓ Deberá cuidar que el operario está siguiendo la secuencia adecuada en las operaciones, si por alguna razón el analista de tiempos indica que el operador se salio de la secuencia, el líder de manufactura puede confirmar esa aclaración con el fin de evitar conflictos entre cualquiera de las personas involucradas en el estudio.

2.1.3 Responsabilidad del Sindicato.

Cuando existe un sindicato en la organización de las empresas es muy importante que se establezcan las operaciones que el trabajador debe realizar en el momento del estudio de tiempos, puesto que el delegado no aceptará que se le agreguen

operaciones de más o que se revisen los tiempos en una operación que no le corresponde a ese trabajador, la mayoría de las organizaciones sindicales se oponen al estudio de tiempos cuando saben que se va a realizar un estudio de trabajo, ya que ellos saben que lo que se buscan son mejoras en el sistema productivo y que ese estudio de tiempos les puede perjudicar.

Las responsabilidades del delegado sindical son:

- ✓ Cerciorarse de que el estudio de tiempos contempla todas las condiciones y los métodos de trabajo, esto ayudará para que no se pueda atribuir al operario tiempos extras o retrasos.
- ✓ Debe comprobar con la ayuda del analista de tiempos que en la secuencia de las operaciones no se están agregando elementos de más.
- ✓ Debe validar el número del tamaño de la muestra, esto por lo regular cuando en ese centro de trabajo se presentan constantemente elementos extraños, con la finalidad de que se reflejen todas las variaciones que se puedan presentar al momento de llevar a cabo la operación.
- ✓ Debe pedirle al operario que siga la secuencia de operaciones establecida y que cooperen en todo lo posible con el analista de tiempos, para evitar calificaciones de actuación demasiado bajas.

2.1.4 Responsabilidad del Operario.

Sin duda alguna la presencia del operario es quizá lo más importante, en el sentido en que es esta persona a la cual se le va a tomar el tiempo en su operación, si el operario esta bien informado sobre el por que del estudio de

tiempos y sobre lo que se pretende mejorar en ese estudio, lo más probable es que colabore en todo lo referente a sus operaciones y que se sienta seguro al momento de mostrar una sugerencia.

Las responsabilidades del operario son.

- ✓ Cooperar con el analista de tiempos en el desglose de sus operaciones, esto da una confianza mutua en el operario y en el analista, por una parte el operario sabe que todas sus operaciones van a ser tomadas en cuenta y el analista sabe que no habrá cambios en la secuencia de las operaciones.
- ✓ Seguir al pie de la letra la secuencia de operaciones establecida anteriormente por las personas involucradas en el estudio de tiempos.
- ✓ Hacer comentarios o sugerencias encaminados a la mejora de los métodos, esto es bien visto por el analista, el supervisor y el sindicato, ellos están consientes que nadie mejor que el operario conoce todas las dificultades que se presentan en el ensamblado del producto.
- ✓ Tomar como una critica constructiva los comentarios por parte de las personas que intervienen en el estudio de tiempos y no tomarlo como un comentario negativo hacia su persona o hacia la manera de realizar las cosas.
- ✓ En el momento del estudio de tiempos tiene la obligación de realizar su trabajo a un ritmo normal y continuo, con el objetivo de evitar la presencia de elementos o condiciones extrañas para alargar sus tiempos de operación.

2.2 Equipo para el Estudio de Tiempos.

Para la realización del estudio de tiempos es necesario contar con el equipo adecuado para la toma de tiempos, de este equipo también depende la buena medición del trabajo. El equipo básico con que el analista debe contar es: cronómetro, un tablero y el formato adecuado para registrar los tiempos y cualquier anomalía.

2.2.1 Cronómetro.

El cronómetro es lo primero con lo que debe contar un analista de tiempos, este cronómetro es su herramienta básica para el estudio de tiempos, existen diferentes tipos de cronómetro, tales como:

- ❖ Cronómetro analógico.
- ❖ Cronómetro digital o electrónico.

La mayoría de los cronómetros empleados para la medición del trabajo son electrónicos puesto que facilitan las lecturas de los tiempos, en años pasados los cronómetros analógicos eran los más usados por los analistas de tiempos, con las mejoras tecnológicas que existen hoy en día, el cronómetro de manecillas a sido sustituido de manera sencilla y rápida por el cronómetro digital.

Existen también diversos tipos de lectura en los cronómetros, tales como: decimales de minutos, en centésimas de minutos, en decimales y centésimas de hora. Además dentro de esta clasificación existen demasiados modelos y marcas, no es necesario un equipo muy costoso, ese costo no garantiza la exactitud en la

toma de tiempos aunque si puede facilitar en mucho el procedimiento para el estudio de tiempos.

Cabe mencionar que la técnica del estudio de tiempos con la ayuda de un cronómetro es considerada como la más inexacta, debido a que el registro de los tiempos esta dada por la capacidad de reacción del analista y por su experiencia, aunque el tiempo que puede tomar en reaccionar es muy corto (de 0.0018 a 0.0058 minutos).

En la figura 2.1 se muestra un cronómetro digital, el cual se utilizó para poder obtener los tiempos necesarios para la elaboración de este proyecto.



Figura 2.1. Cronómetro utilizado para el estudio de tiempos.

En la figura anterior se observa un cronómetro de marca Spectron, este es un tipo de cronómetro con regreso a ceros, para utilizar este cronómetro lo primero que se debe realizar es resetear los dígitos, para conseguir esto se presionan al mismo

tiempo los botones A y D por unos momentos, para comprobar que se ha hecho de manera correcta, los dígitos deben aparecer como se muestra en la figura 2.1, para que los dígitos comiencen a correr se presiona el botón A, posteriormente se presiona el botón B para registrar un elemento y para detener el cronómetro se presiona nuevamente el botón A. El botón C sirve para mostrar la duración de cada elemento y el D para cambiar el modo del cronómetro a reloj y a otras funciones.

2.2.2 Tablero.

Para poder registrar los tiempos en el formato impreso el analista se tiene que apoyar en algún tablero, las características mínimas que debe contener este tablero son: debe de ser resistente y rígido, tiene que ser ligero y debe contar con un sujetador adecuado para sostener la forma impresa.

Existen también tableros con apoyos adecuados para el brazo y el cuerpo con la finalidad de no cansar el brazo y de que se pueda escribir más cómodamente, pueden contar también con un dispositivo adicional para poder montar el cronómetro, por lo regular en el lado derecho para las personas que no son zurdas.

En la figura 2.2 se observa el tipo de tablero que se utilizó para poder registrar los tiempos en la forma impresa, éste tablero cumple con los requisitos mínimos necesarios para un adecuado soporte al momento de escribir.



Figura 2.2. Tablero para el estudio de tiempos.

2.2.3 Formatos.

El formato igual que el cronómetro es muy importante para la realización de la medición del trabajo, el formato no es mas que la forma impresa en donde se anotan todos y cada uno de los detalles que se presentan en el estudio de tiempos, es de gran importancia que éste formato cuente con las especificaciones mínimas y con el espacio adecuado para que el analista registre los elementos de trabajo de la operación que se desea estudiar.

Las especificaciones con las que debe contar este formato son las siguientes:

- ◆ Nombre o logo de la compañía.
- ◆ Nombre y/o datos del analista.
- ◆ Fecha del estudio de tiempos.
- ◆ Hora de inicio y fin del estudio de tiempos.
- ◆ Modelo y/o clasificación del producto.

- ◆ Nombre del departamento o área.
- ◆ Nombre del grupo de trabajo.
- ◆ Nombre de la operación o centro de trabajo.
- ◆ Nombre y número de nomina del operario.
- ◆ Número de muestras a considerar.
- ◆ Número del elemento de trabajo.
- ◆ Descripción del elemento de trabajo.
- ◆ Número de hoja.
- ◆ Máquinas y herramientas utilizadas en la operación.
- ◆ Condiciones de trabajo existentes.
- ◆ Factor de calificación.
- ◆ Observaciones o elementos extraños.
- ◆ Espacio para las firmas correspondientes.

Los datos contenidos en el formato del estudio de tiempos pueden variar, esto va a depender de la compañía en la que se realiza el estudio, principalmente depende de las especificaciones que más se necesitan al momento de llevar a cabo el estudio.

Existen dos formatos diferentes que se pudieron utilizar para la toma de tiempos en este proyecto, aunque cabe aclarar que en todos los casos se utilizó el formato mostrado en la figura 2.3 del Apéndice B de la página 207, el cual contiene menos datos, la razón por la cual contiene menos datos es por que en el formato utilizado en las QPS se anotan todos los datos necesarios para registrar y clasificar el estudio de tiempos, estos datos se registran en la computadora antes de realizar el estudio debido a que ya se conocen todos los datos mencionados anteriormente, excepto la fecha, la hora de inicio y término del estudio, condiciones de trabajo, factor de calificación y elementos extraños.

En el formato mostrado en la figura 2.4 del apéndice B de la página 209 cuenta básicamente con los mismos datos que en la figura 2.3, sólo se le agrega espacio para realizar cálculos y obtener el tiempo estándar de forma manual, este formato también se pudo utilizar para el estudio de tiempos, sin embargo, se optó por el formato de la figura 2.3.

El formato mostrado en la figura 2.5 del Apéndice B de la página 211, se propone como formato para la realización del estudio de tiempos bajo condiciones especiales, tales como auditorias o mejoras en un centro de trabajo con presencia del líder de manufactura, el delegado sindical y el Ingeniero Industrial, éste formato se propone debido a que los dos formatos que se pudieron utilizar contienen muy poca información, sin embargo, a pesar de que en la compañía se debe contar con un formato bien estructurado se hace la propuesta de este formato para realizar el estudio de tiempos de manera más cómoda y amigable.

2.2.4 Equipo Auxiliar en el Estudio de Tiempos.

Existen varios equipos que se pueden utilizar para llevar a cabo el estudio de tiempos, algunos de estos equipos auxiliares ya no son muy usuales en varias empresas excepto las cámaras de videograbación. En este apartado se mencionan algunos y se tratan de manera clara debido a que para la realización de este proyecto el equipo básico a utilizar es el cronómetro.

Cronómetros Electrónicos Auxiliados por Computadora.

Uno de los más conocidos es el colector de datos DataMyte 1000, en este tipo de equipo las lecturas tomadas se graban en este colector, con la ayuda de una terminal se conecta a una computadora, estando los datos en la computadora se

pueden preparar resúmenes impresos, este colector de datos ahorra la tarea de un cálculo manual, dando como resultado todos los valores de los elementos, sus tiempos permitidos y el tiempo estándar en cada elemento.

Máquinas Registradoras de Tiempo.

Estas máquinas pueden ser usadas en ausencia del analista para medir el tiempo en que es productiva una instalación. En una registradora de ocho canales, dos terminales se pueden conectar a un sensor normalmente abierto que cierra sólo cuando esta productiva la máquina o hay actividad. En el papel de graficación un estilete o trazador registra continuamente el estado de una máquina o instalación.⁷

Cámaras de Videograbación.

La técnica más exacta en la medición del trabajo es la que se realiza con la ayuda de este tipo de equipos, brindan el registro de los procedimientos del operario y al mismo tiempo muestran el tiempo transcurrido en toda la operación, pudiendo observar las veces que sea necesaria la película para obtener mejores resultados.

Desafortunadamente la utilización de este equipo está restringido por el elevado costo de estos, a pesar de que el costo en estos equipos ha bajado considerablemente comparado con los equipos antes usados, solo algunas empresas optan por estos métodos cuando el estudio debe ser demasiado minucioso.

⁷ Benjamín W. Niebel. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Editorial Alfaomega. 9ª Edición. México D.F.

2.3 Métodos para el Estudio de Tiempos.

Para poder realizar el estudio de tiempos podemos utilizar dos métodos, los cuales son muy sencillos de explicar y de realizar, la diferencia entre estos dos métodos es la manera en que se registran los tiempos para cada elemento de trabajo. El método más adecuado para la realización del estudio de tiempos va a depender del analista, el método con el que el analista se identifique mejor va a ser el correcto. Estos métodos son: Método de regreso a ceros y Método continuo.

2.3.1 Método de Regreso a Ceros.

El método de regreso a ceros en la medición del trabajo consiste en regresar a cero las manecillas o los dígitos del reloj, al momento de presionar un botón para que se registre ese tiempo, de tal forma que para el siguiente elemento el tiempo va a empezar desde cero, cabe recordar que el tiempo aproximado en que el analista tarda en reaccionar es de aproximadamente 0.0018 y 0.0058 minutos (Lowry, Naynard y Stegenerten, 1940), anteriormente este método no se utilizaba mucho debido a ese tiempo de reacción del analista agregado al tiempo en que tardaban en regresar las manecillas a su posición original, en la actualidad con los avances tecnológicos esta demora en las manecillas ya es nula, principalmente por que ya no se utilizan ese tipo de cronómetros.

El método de regreso a ceros se explica a continuación con la ayuda de un cronómetro digital marca Spectron como el que se muestra en la figura 2.1.

Lo primero que se debe hacer es poner a funcionar el cronómetro, para que los dígitos empiecen a correr se presiona el botón A, posteriormente se tomaron tres registros de tiempos presionando el botón B dos veces y por último presionando el

botón A una sola vez. Para visualizar los tiempos tomados se presiona el botón C, para este caso nuestro primer elemento tiene una duración de 0.05 minutos como se observa en los dígitos de arriba de la figura 2.6 (a), el segundo elemento tuvo una duración de 0.04 minutos como se observa en la figura 2.6 (b) y el último elemento tuvo una duración de 0.34 minutos como se observa en la figura 2.6 (c), este tipo de cronómetro emite un sonido cuando se muestran los tiempos más cortos y los más largos respectivamente para que el analista los pueda identificar fácilmente cuando se tienen varios registros de tiempo.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.6. Lectura de los tiempos.

2.3.2 Método Continuo.

Este método consiste en realizar la toma de los tiempos de manera continua, es decir, al termino de un elemento, al presionar el botón se registra el tiempo, pero siguen corriendo los segundos o minutos, en este método para el elemento siguiente, el cronómetro no va a empezar de cero, si no que dará un valor con mayor tiempo, debido a que se realiza la sumatoria para cada elemento. En la figura 2.6 (b) se observa que el tiempo mostrado para el segundo elemento tiene una duración de 0.09 minutos en los dígitos de la parte de abajo y para el tercer elemento se observa un tiempo de 0.43 minutos también en los dígitos de la parte de abajo del cronómetro.

Para este método se requiere de más trabajo dado que las manecillas o dígitos continúan con el conteo mientras se registran los tiempos, al final del estudio es necesario hacer las restas correspondientes a las lecturas de cada elemento. La ventaja de este método es que se obtiene un registro completo de todo el periodo del estudio, teniendo que tomar en cuenta los retrasos y los elementos extraños⁸, esto es más agradable para el operario ya que él sabe que se consideran todos los factores, para el representante sindical también resulta más complaciente.

En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo del estudio de tiempo pudiendo observar cual es la diferencia entre esos dos métodos.

No de la operación.	Descripción del elemento.	Regreso a cero.	Continuo.
1	Caminar a contenedor y obtener cowl top	0.03	0.03
2	Caminar a la prensa con cowl top	0.03	0.06
3	Colocar y posicionar cowl top en la prensa	0.05	0.11
4	Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a	0.07	0.18

⁸ En el método de regreso a ceros, también se pueden tomar en cuenta los retrasos y los elementos extraños, pero resulta más fácil separar esos tiempos, gracias a que el cronómetro regresa a cero, esto también es de gran ayuda si lo que se desea es considerar únicamente el tiempo de cada elemento, sin considerar retrasos o elementos extraños.

	cowl top, sujetándolo con ambas manos		
5	Posicionar nuevamente cowl top en la prensa	0.03	.021
6	Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a cowl top, sujetándolo con ambas manos	0.07	.028
7	Tomar s/e de cowl top, llevar a rack de stock y dejarlo	0.03	0.31
Total		0.31	0.31

Tabla 2.1. Los tiempos están dados en centésimas de minuto.

2.4 Elementos en el Estudio de Tiempos.

Hasta ahora se han explicado cuales son los requisitos necesarios para el estudio de tiempos, cual es el equipo necesario para poder realizar ese estudio y cuales son los métodos entre los cuales el analista de tiempos puede escoger para realizar el estudio, una vez explicado lo anterior el analista debe revisar algunos elementos previos al estudio de tiempos.

Primeramente debe seleccionar cual es el operario adecuado para realizar las operaciones a estudiar, debe de encontrar el lugar adecuado para visualizar de manera adecuada las operaciones, debe detectar en que consisten las actividades que se realizan en el centro de trabajo a estudiar y por último debe hacer el cálculo necesario para el tamaño de muestra apropiado.

2.4.1 Selección del Operario.

La selección del operario debe estar a cargo del supervisor y del delegado sindical, si más de una persona realiza la misma operación se deben de tomar varias consideraciones, lo que se busca con la selección del operario es que se obtengan los mejores resultados, para que de la misma manera los estándares obtenidos sean aplicables para todas las personas que realizan el mismo trabajo.

El operario a seleccionar es aquel que cuenta con un desempeño promedio, es decir, es aquella persona que realiza su trabajo con consistencia a un ritmo normal, no muy lento pero tampoco no muy rápido, y que cuenta con las aptitudes y habilidades necesarios para efectuar el trabajo, cumpliendo con la calidad en los productos y con la seguridad en sus operaciones. Si por algún motivo se selecciona al operario más lento, todos tendrán suficiente tiempo para descansar, si por el contrario se selecciona al operario más rápido, todos los demás tendrán que realizar sus operaciones al mismo ritmo que él, este tipo de circunstancias se deben de contemplar para la elección del operario.

En el estudio de tiempos llevado a cabo para la realización de este proyecto no fue necesaria esa selección en el operario, debido a que en las líneas de ensamble se cuenta con un solo operario para cada centro de trabajo. Por una parte eso facilita ese procedimiento, ya que el operador que se encuentre trabajando en el centro de trabajo es el titular y podemos estar seguros de que esa persona cuenta con las habilidades necesarias para realizar esa operación. En la figura 2.7 se observa como es que cada trabajador realiza sus operaciones en la parte que le corresponde de la unidad.



Figura 2.7. Operario titular para cada centro de trabajo.

En algunos grupos de trabajo, los operarios se rolan sus actividades debido a la monotonía que se tiene por la propia naturaleza de las líneas de ensamble, cuando esto sucede lo único que se tiene que hacer es preguntar por el titular del centro de trabajo, esto no suele suceder por que el supervisor es el responsable de avisar al operario el día y la hora en que se realizará el estudio de tiempos.

Como ya se mencionó anteriormente el analista de tiempos debe llevar un trato agradable con la persona a la cual se le va tomar el tiempo y debe demostrar que entiende la operación, no existe ningún inconveniente si el analista le pregunta por alguna parte en especial de la operación, siempre y cuando se formule esta pregunta antes de comenzar con el estudio. El operario tiene el derecho de conocer los resultados de su actuación así como el tiempo que tardó en elaborar una unidad o subensamble y de igual manera el analista debe responderle con claridad a sus preguntas.

2.4.2 Posición del Observador.

Para comenzar con la medición del trabajo el analista se debe colocar en una posición adecuada, esta posición va a ser la más correcta cuando el analista se sitúe en un lugar en donde no pueda estorbar al trabajador al momento de realizar las operaciones, pero además debe posicionarse en un lugar en donde pueda ver de manera clara todas las operaciones que el trabajador lleva a cabo para el ensamblado del producto.

El subensamble de las piezas por lo regular necesita de tres espacios básicos: el espacio de las materias primas o producto inicial, espacio necesario para la prensa en donde se realiza el ensamble y el espacio para el subensamble terminado, cuando esto resulta así, el operario se tiene que desplazar para poder obtener los materiales, durante el estudio el analista se puede desplazar a

distancias cortas si con esto se observan mejor las actividades que realiza el trabajador pero también se puede optar por situarse en un lugar en donde no sea necesario el desplazamiento, en la figura 2.8 se muestra al analista en una posición adecuada para poder evitar desplazarse en el transcurso del estudio de tiempos.

Otro punto importante es el evitar conversaciones con el trabajador en el momento en que él realiza sus operaciones, con el propósito de no distraerlo para evitar un accidente y para que los tiempos sean más exactos, otra manera de no distraer al operador es colocarse por detrás de él cuidando de no entorpecer con su trabajo, esto solo se recomienda cuando en esta posición el analista puede observar todos los movimientos que realiza el trabajador.



Figura 2.8. Posición del observador.

Por ningún motivo el analista podrá sentarse durante el estudio de tiempos, esto puede provocar molestia en el trabajador, se debe adoptar una postura correcta y una actitud de entusiasmo para reflejar la confianza y las habilidades que el

analista tiene para realizar el estudio de tiempos. Realizar el estudio de tiempos de pie es mucho mejor, independientemente que no debería de realizarse el estudio sentado, pudiéndose mover el analista con mayor facilidad durante el ciclo de estudio, en muchas ocasiones se tiene la necesidad de desplazarse para poder tener un mejor panorama, estos desplazamientos por parte del analista no deben ser constantes ni muy prolongados, a parte de distraer al operario podría no considerarse un elemento de trabajo.

2.4.3 División de la Operación.

Para facilitar el estudio de tiempos el analista puede dividir la operación en grupos de movimientos también conocidos como therbligs⁹, elementos o actividades, esta división de los elementos facilita mucho el estudio de tiempos además de ayudar a darle más exactitud al estudio.

El objetivo de dividir una tarea en elementos es la de facilitar la observación, la medición y el análisis en las operaciones a estudiar durante un ciclo de trabajo, un ciclo de trabajo es la secuencia de las actividades necesarias para obtener una unidad o un subensamble.

Al realizar la división de las operaciones en elementos se recomienda hacerlo antes de comenzar con el estudio, se puede optar por esta división en las operaciones cuando el trabajo que se realiza es muy corto, o por el contrario, si el trabajo tiene un tiempo demasiado largo el analista puede hacer la división de la operación para facilitar el estudio, se debe cuidar de no hacer tan detallada la división de los elementos, esto daría tiempos muy pequeños aun tal vez más cortos que el tiempo de reacción del analista.

⁹ La palabra therblig se aplica a todo trabajo realizado por las manos de un operario, este concepto de divisiones básicas en las operaciones manuales fue desarrollado por Frank Gilbreth, él mismo lo denominó "therblig", por su apellido deletreado al revés.

Para poder dividir la tarea en elementos es más aconsejable auxiliarse con los sonidos que se generan en las operaciones o con indicadores visuales, esto proporciona una secuencia y tiempos más confiables en el estudio de tiempos.

2.4.3.1 Tipos de Actividades.

Para poder dividir la tarea en elementos o actividades de manera correcta se necesita conocer primero cuales son los tipos de elementos que se pueden presentar en la secuencia de las operaciones realizadas por el operario. Existen diferentes tipos de elementos los cuales son: repetitivos, casuales, constantes, variables, manuales, mecánicos, dominantes y extraños.

Elementos repetitivos. Este tipo de elementos son los que aparecen en cada ciclo de trabajo, este tipo de elementos son los que predominan en las líneas de ensamble gracias a las operaciones continuas que se llevan a cabo en las líneas de ensamble.

Elementos casuales. Son los que no siempre aparecen en un ciclo de trabajo, pueden aparecer en un ciclo si y en otro no. Un ejemplo de esto puede ser la limpieza y limado de los electrodos en las punteadoras, ya que esta actividad no se realiza en cada ciclo de trabajo.

Elementos constantes. Estos elementos son aquellos en donde su tiempo de ejecución es siempre el mismo, aunque es un poco difícil encontrar este tipo de actividades puesto que los elementos no siempre duran el mismo tiempo, las operaciones realizadas con máquinas pueden arrojar elementos constantes.

Elementos variables. Son actividades en donde su tiempo de ejecución varía dependiendo varios factores, la mayoría de las actividades tienen tiempos variables, aunque no debe variar por mucho ese tiempo de ejecución.

Elementos manuales. Son los elementos realizados por el trabajador, gran parte de las actividades realizadas en las líneas de ensamble son de este tipo, a pesar de que en la mayoría de los centros de trabajo se utilizan punteadoras, el trabajador las tiene que manipular para que se pueda efectuar la operación.

Elementos mecánicos. Son las actividades que se realizan con la ayuda de una máquina, o de una fuerza motriz o mecanizada, ejemplo de esto son los robots usados para actividades más tardadas y pesadas en las líneas de ensamble.

Elementos dominantes. Son las actividades que tienen el tiempo más largo, en las cuales podemos realizar otras actividades simultáneamente, un operario puede cargar las piezas necesarias para que el robot comience a trabajar y posteriormente puede pasar a otra prensa para cargar las piezas que se necesitan para que el robot trabaje cuando haya terminado con el subensamble anterior.

Elementos extraños. Son los elementos que no aparecen en la secuencia de operaciones establecida, es decir, son elementos que no se tiene pensado se presenten durante el estudio de tiempos. Un ejemplo muy claro de esto es el paro en los robots, ocasionando con esto el paro en el centro de trabajo que se esta estudiando.

2.4.4 Ciclos de Estudio.

Antes de comenzar con la medición del trabajo es necesario hacer el cálculo correspondiente para determinar el tamaño de la muestra, esto puede ser un

conflicto entre el analista y el delegado sindical, el delegado pensará que un tamaño de muestra muy grande es con el objetivo de fastidiar al trabajador para asegurar que exista una equivocación.

Existen muchas formas de realizar ese cálculo, esto depende de las políticas que existan en la compañía o simplemente de la gran cantidad de fórmulas y tablas que existen para realizar ese cálculo en el tamaño de la muestra. Es necesario mencionar que los tiempos obtenidos en este proyecto se hicieron bajo un tamaño de muestra de cinco, es decir, se realizó el estudio de tiempos en cinco ciclos para cada centro de trabajo dentro de los grupos de trabajo estudiados.

La razón por la cual se hizo de esta manera es por que estos tiempos sirvieron también para la actualización de las QPS¹⁰ (Quality Process System) dentro de la compañía en la cual se elaboró este proyecto, además es un acuerdo que se tiene con el sindicato cuando se actualizan las QPS aunado a que todos los procedimientos realizados allí están estandarizados y se tiene un riguroso control en todos los procedimientos de la planta. No obstante, es importante mencionar la manera de obtener el tamaño de la muestra.

Existen diversas formas de realizar el cálculo para los ciclos de estudio, el método que se explica a continuación se basa en haber realizado cierto número de observaciones preliminares, para este ejemplo como se mencionó anteriormente se hizo un estudio de tiempos en cinco ciclos para cada operario, con este método se hace el cálculo del tamaño de la muestra obteniendo un nivel de confianza de 95.45 % y un margen de error de ± 5 %.

Una vez obtenidos los tiempos se aplica la ecuación 2.1

¹⁰ Las QPS, por sus iniciales en inglés son los Sistemas del Proceso de la Calidad en los productos, llevando un proceso estandarizado dentro de cada centro de trabajo, se puede definir como la secuencia de construcción del vehículo o carrocería, asegurando la calidad con el mejor método para realizar el trabajo documentando todos los estándares de seguridad, sirve también para el adiestramiento en piso.

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n'(\sum x^2) - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (2.1)$$

Donde: n = tamaño de la muestra o ciclos de estudio.

n' = número de observaciones del estudio preliminar.

\sum = suma de los valores.

x = valor de las observaciones.

Este procedimiento se explica con un ejemplo para que pueda ser entendido con más claridad, obsérvense los tiempos mostrados en la tabla 2.2.

No.	DESCRIPCION DEL ELEMENTO	1	2	3	4	5
1	Caminar a contenedor y obtener cowl top	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
2	Caminar a la prensa con cowl top	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03
3	Colocar y posicionar cowl top en la prensa	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
4	Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a cowl top, sujetándolo con ambas manos	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06
5	Posicionar nuevamente cowl top en la prensa	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
6	Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a cowl top, sujetándolo con ambas manos	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06
7	Tomar s/e de cowl top, llevar a rack de stock y dejarlo	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
Total de tiempo		0.32	0.33	0.32	0.28	0.30

Tabla 2.2 Tiempos con una muestra de cinco ciclos.

Con los tiempos totales podemos calcular los cuadrados de los valores y la suma de esos cuadrados, quedando como se muestra la sumatoria de esos valores, expresados en centésimas de minuto.

x	x^2
0.32	0.1024
0.33	0.1089
0.32	0.1024
0.28	0.0784
0.30	0.09
$\sum x = 1.55$	$\sum x^2 = 0.4821$

Con n' igual a 5 observaciones, podemos sustituir nuestros valores en la ecuación 2.1.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{5(0.4821) - (1.55)^2}}{1.55} \right)^2 = 5.32 \text{ ó } 6 \text{ observaciones}$$

Con esto podemos comprobar que el número de observaciones realizado para esta operación se aproxima al número de observaciones calculado con este método.

Este método se puede utilizar también para calcular el número de observaciones en cada elemento de la operación, esta fórmula está basada en los tiempos que toma realizar cada elemento.¹¹

Cuando el número de observaciones preliminares es inferior al número calculado con esta ecuación, debe aumentarse el tamaño de la muestra hasta completar los ciclos calculados, sin embargo, cuando ya sean tomados los tiempos de los ciclos faltantes, al realizar la sumatoria de todos los tiempos, el valor de x y la suma de sus cuadrados también aumentará, pudiendo variar con el número calculado para el número de ciclos necesario.

¹¹ La utilización original de ésta fórmula es para el cálculo del número de ciclos a estudiar en cada elemento de trabajo para cualquier operación.

Otro inconveniente para esta ecuación si se utiliza para el cálculo del número de muestras para cada elemento, es que el tamaño de la muestra no será el mismo para cada elemento, lo más seguro es que se obtengan diferentes tamaños de muestra en un mismo ciclo, a menos que todos los elementos tengan aproximadamente la misma duración.

La tabla 2.3 se puede utilizar para determinar el número de ciclos que se tienen que tomar, esta tabla se basa en el número total de minutos por ciclo. Si comparamos el resultado obtenido con la utilización de la ecuación 2.1, al mostrado en la tabla nos damos cuenta de que es muy amplia la diferencia de muestras; para el caso de la tabla, el número de muestras que deberíamos tomar de acuerdo al tiempo de la operación (de 0.28 a 0.33 centésimas de minuto) estaría entre el intervalo de 60 a 100 observaciones.

Minutos por ciclo.	Hasta 0.10	Hasta 0.25	Hasta 0.50	Hasta 0.75	Hasta 1.0	Hasta 2.0	Hasta 5.0	Hasta 10.0	Hasta 20.0	Hasta 40.0	Más de 40.0
No. ciclos Recomendado.	200	100	60	40	30	20	15	10	8	5	3

Tabla 2.3. Número de ciclos recomendado para el estudio de tiempos.¹²

2.5 Calificación del Desempeño.

Una vez realizado el estudio de tiempos es importante atorgar una calificación a la actuación del operario durante el análisis, esta calificación puede variar dependiendo el juicio del analista, muchas empresas han establecido una escala de calificaciones aplicables en cualquier área de producción, con el afán de

¹² A. E. Shaw: Stop-watch time study, en H. B. Maynard. Industrial Engineering Handbook.

estandarizar las actuaciones de los operarios cada vez que se realiza un estudio de tiempos.

Igual que en la determinación del número de ciclos a estudiar, existen también diversas tablas y métodos que se pueden emplear para la calificación de un trabajador. Esta calificación se puede otorgar a cada elemento de las operaciones hechas por el operario o se le puede conceder una calificación a toda la operación.

En las líneas de ensamble por lo regular se le aplica una calificación a todo el estudio, ya que ninguna operación rebasa los 7 o 10 minutos, las operaciones realizadas en las líneas de ensamble tienen ciclos cortos, aunado a que el trabajo que se realiza ahí es repetitivo, sabiendo además que el operario de cada centro de trabajo es el titular, esto en cierto sentido tiene una ventaja, puesto que no tendremos que ajustar el valor del tiempo de un trabajador más hábil a un trabajador deficiente.

Para realizar la calificación de actuación se deben dejar de lado los criterios que se tienen sobre la persona y únicamente se debe basar esa calificación en la manera de realizar el trabajo por el operario considerando las interrupciones que se presentaron ocasionalmente durante el estudio. Este tipo de interrupciones pueden ser de tres tipos: las necesidades personales, la fatiga y los retrasos ocasionados por falta de material, tropiezos o una posible ruptura de las herramientas o materiales utilizados en el proceso.

Por lo regular se pueden considerar cuatro aspectos importantes para encontrar una calificación global a la actuación del trabajador, estos aspectos son:

La habilidad del operario. La habilidad del operario no es más que la pericia que el operario emplea para conseguir el ensamblado de su centro de trabajo, esta

destreza en sus operaciones reflejan en él una coordinación natural para seguir el método establecido.

El esfuerzo del operario. Este esfuerzo es el empeño con que el trabajador realiza sus operaciones, puede no ser muy hábil, pero su empeño puede ser tanto que se puede llegar a confundir con la habilidad.

Las condiciones en el centro de trabajo. Estas condiciones en los centros de trabajo son: temperatura, ventilación, luz y ruido, quiere decir que son factores que afectan más al desempeño del operador y no al producto. Cuando se presentan condiciones como falta de material o paros inesperados en las líneas de ensamble pueden no considerarse tanto para la calificación, a pesar de que si ayudan a que el trabajador descanse un momento y se recupere de la fatiga que pueda tener, esto es por que son situaciones que tanto el trabajador como el analista no pueden controlar directamente.

La consistencia en el operario. La consistencia en el operario se puede notar con el tiempo que tarda para realizar cada elemento de la operación, cuando se efectúa un estudio de tiempo con un tamaño de muestra grande, se podrá notar que conforme pasan los ciclos de trabajo tardará más en realizar cada elemento. Cuando se realiza la medición del trabajo utilizando el método de regreso a cero, se puede apreciar fácilmente la consistencia en el trabajador.

En el Sistema Westinghouse, cada uno de estos aspectos se califica como se muestra en la tabla 2.4.

En la tabla 2.5 se muestran escalas que se pueden aplicar para calificar la actuación del operario.

Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia
Extrema	Excesivo	Ideales	Perfecta
Excelente	Excelente	Excelentes	Excelente
Buena	Bueno	Buenas	Buena
Regular	Regular	Regulares	Regular
Aceptable	Aceptable	Aceptables	Aceptable
Deficiente	Deficiente	Deficientes	Deficiente

Tabla 2.4. Sistema Westinghouse.

Descripción.	Escala.			Velocidad comparable. (km/h)
	60 – 80	75 – 100 ó 0 – 100	100 – 133	
Actividad nula	0	0	0	0.0
Muy lento, movimientos torpes, inseguros, el operario parece medio dormido y sin interés en el trabajo.	40	50	67	3.2
Constante, resuelto, sin prisa, como de obrero pagado a destajo, pero bien dirigido y vigilado; parece lento; pero no pierde tiempo a drede mientras lo observan.	60	75	100	4.8
Activo, capaz, como obrero calificado medio, pagado a destajo; logra con tranquilidad el nivel de calidad y precisión fijado.	80	100	133	6.4
Muy rápido, el operario actúa con gran seguridad, destreza y coordinación de movimiento, muy por encima del obrero calificado.	100	125	167	8
Excepcionalmente rápido, concentración y esfuerzo intenso sin probabilidad de durar por largos periodos, actuación de “virtuoso”, solo alcanzado por uno pocos trabajadores sobresalientes.	125	150	200	9.6

Tabla 2.5. Escalas de calificación para la actuación del operario.¹³

¹³ Oficina Internacional del Trabajo. Introducción al Estudio del Trabajo. Editorial Limusa. 4ª Edición. Ginebra.

Es importante recalcar nuevamente que la calificación de actuación depende únicamente del juicio del analista y que no es forzoso utilizar estas tablas, pero también se obtienen grandes resultados si se cuenta con un estándar bien definido que ayude al analista a obtener un mejor criterio para otorgar una calificación de actuación.

2.6 Tiempo Estándar.

Una vez hecha la medición del trabajo, considerando también la calificación de actuación del trabajador que realizó las operaciones analizadas, se procede a obtener los tiempos estándares de cada elemento. Para el cálculo del tiempo estándar existen varias formas y maneras de realizar el cálculo, pero igual que en la calificación de actuación, la empresa puede contar con condiciones propias para la obtención del tiempo estándar en las operaciones.

El tiempo estándar es el tiempo en que un trabajador puede realizar la operación considerando todos los factores mencionados anteriormente, es decir, es el tiempo que se lleva en realizar cada elemento de las operaciones sin importar que el trabajador que las realice tenga más o menos habilidades que otros operadores.

Para este proyecto los tiempos estándares que se consideraron se calcularon de la siguiente manera.

Lo primero que se debe hacer es calcular el tiempo promedio para cada elemento, continuamos con el cálculo del tiempo normal, considerando la calificación o factor de calificación y por último se obtiene el tiempo estándar para cada elemento, considerando las concesiones necesarias, estas concesiones pueden variar por muchos factores, tales como la demanda, los tiempos de descanso, etc.

Por medio de fórmulas se puede explicar como sigue:

El tiempo promedio es igual a la suma de los tiempos de cada elemento entre el número de muestras realizadas en cada estudio, como se observa en la ecuación 2.2.

$$\text{Tiempo Promedio (T.P.)} = \frac{\sum_1^n x}{\text{número de muestras}} \quad (2.2)$$

El tiempo normal es el producto resultante del tiempo promedio por el factor de calificación, expresado por la ecuación 2.3.

$$\text{Tiempo Normal (T.N.)} = \text{Tiempo Promedio} \times \text{Factor de calificación.} \quad (2.3)$$

El tiempo estándar es el producto resultante del tiempo normal por el porcentaje de concesiones más la unidad, como se muestra en la ecuación 2.4.

$$\text{Tiempo Estándar (T.E.)} = \text{Tiempo Normal} \times (1 + \text{concesiones (\%)}) \quad (2.4)$$

Para nuestro ejemplo, las concesiones que se le otorgaron a las operaciones son del 8% y el número de muestras fue de 5. Los cálculos para cada elemento se muestran a continuación.

$$\text{T.E.} = \left(\frac{x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5}}{n} \right) (\text{Fac. Cal.})(1 + .08)$$

Para el primer elemento los cálculos serian los siguientes:

$$\text{T.E.} = \left(\frac{0.3 + 0.4 + 0.3 + 0.3 + 0.4}{5} \right) (0.85)(1.08) = 0.031 \cong 0.3$$

En la tabla 2.6 se muestran los resultados obtenidos para cada elemento de trabajo.

Descripción del elemento	1	3	4	5	6	Tpo. Prom.	Cal. Act.	Tpo. Nor.	Conce.	Tpo. Est.
Caminar a contenedor y obtener cowl top	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.034	0.850	0.028	0.080	0.031
Caminar a la prensa con cowl top	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.030	0.850	0.025	0.080	0.027
Colocar y posicionar cowl top en la prensa	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.048	0.850	0.040	0.080	0.044
Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a cowl top, sujetándolo con ambas manos	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.068	0.850	0.057	0.080	0.062
Posicionar nuevamente cowl top en la prensa	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.030	0.850	0.025	0.080	0.027
Presionar pedal con pie para colocar 1 nut weld a cowl top, sujetándolo con ambas manos	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06	0.068	0.850	0.057	0.080	0.062
Tomar s/e de cowl top, llevar a rack de stock y dejarlo	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.032	0.850	0.027	0.080	0.029

Tabla 2.6. Los tiempos están dados en centésimas de minutos.

Capítulo 3

TÉCNICAS PARA EL BALANCEO DE LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.

- 3.1. Métodos para Equilibrar las Líneas de Ensamble.
- 3.2. Métodos para Equilibrar las Operaciones en las Líneas.
- 3.3. Principios Básicos de las Líneas de Producción.
- 3.4. Requisitos Previos.
- 3.5. Técnicas Adicionales para el Balanceo de Líneas.

TÉCNICAS PARA EL BALANCEO DE LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.

3.1 Métodos para Equilibrar las Líneas de Ensamble.

Existe una gran variedad de métodos y técnicas para llevar a cabo un balanceo correcto en las operaciones que se realizan en las líneas de producción, básicamente son dos: con software diseñado para resolver este tipo de problemas conocidos como modelos de cómputo o por medio de pruebas manuales conocidas también como pruebas de ensayo y error. Sin duda alguna el empleo adecuado y correcto de las técnicas para el balanceo de las líneas es lo más importante para todo Ingeniero Industrial.

3.1.1 Modelo de Arcus.

Debido a la complejidad del problema de balanceo de líneas, podemos encontrar un gran número de software diseñado para resolver este tipo de problemas, sin embargo, la mayoría de los modelos de cómputo se relacionan en gran medida con el modelo desarrollado por Arcus.

A. L. Arcus desarrolló un modelo de gran importancia que hoy en día todavía se ocupa para resolver cualquier tipo de problemas relacionado con las líneas de producción, este modelo recibe el nombre de COMSOAL por sus siglas en inglés Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines.

Esta técnica utiliza un muestreo sesgado, generando así de manera rápida un gran número de posibles soluciones para el problema del balanceo de líneas, los pasos que realiza el modelo son los siguientes:

Paso 1. Se anota el número de cada operación y enseguida el número total de operaciones que le preceden, creando una lista A de operaciones.

Paso 2. Examinar de la lista A todas las operaciones que no tienen otras precedentes, estas operaciones se anotan en la lista B, conocida como *lista de disponibilidades*, por lo general la primera operación se traspassa a la lista B.

Paso 3. Las operaciones que tienen tiempos no mayores que el disponible en la estación se anotan en una nueva lista, esta es la lista C o *lista de ajustes*, en esta lista solo se incluyen las operaciones que no rebasan el tiempo que queda por asignarse a la estación.

Paso 4. Se realiza un sesgo en las operaciones, es decir, se selecciona al azar de la lista C una operación que se asignará a una estación (por lo regular se le asigna el número 1 o se le da un nombre), el modelo selecciona al azar una operación debido a que la lista C sólo contiene operaciones que se ajustan a esa estación.

Paso 5. Se elimina la operación seleccionada de las lista B y C, se actualiza la lista A restando 1 a las operaciones que precedían de la operación seleccionada, suponiendo que se seleccionó la operación A, se le resta 1 a las operaciones que precedían de A.

Paso 6. Se actualiza la lista B, traspassando a la lista A todas las operaciones que ahora no tienen precedentes.

Paso 7. Se repiten los pasos 5 a 7, hasta completar con la asignación de las tareas estación por estación.

Una vez terminado el procedimiento el modelo compara la secuencia de sus operaciones con la de mejor secuencia anterior, el resultado para este modelo

solo tiene dos soluciones, la que resulte mejor la almacena y la otra la descarta, repitiendo el procedimiento n número de veces hasta desarrollar todas las combinaciones posibles.

El modelo desarrollado por Arcus considera restricciones, dándole un sentido más realista al programa, afectando así la *lista de ajuste*, todas estas restricciones son las mismas que se utilizan en un software de cómputo, estas restricciones en el modelo de Arcus se muestran en la tabla 3.1.

-
1. Operaciones de mayor duración que el tiempo de ciclo.
 2. Operaciones que requieren dos hombres.
 3. Operaciones de localización fija.
 4. Espacio para refacciones (repuestos).
 5. Tiempo para obtener una herramienta.
 6. Tiempo para cambiar la posición de una unidad.
 7. Agrupamiento de operaciones según criterios.
 8. Salarios relacionados con las operaciones.
 9. Movimientos de los trabajadores entre las unidades que se ensamblan.
 10. Producción mixta en la misma línea.
 11. Tiempos estocásticos de ejecución de las operaciones.
-

Tabla 3.1. Restricciones del COMSOAL.¹⁴

3.1.2 Modelo de Mastor.

A. A. Mastor realizó una comparación entre las técnicas más usuales para el balanceo de líneas, originando un modelo propio, es importante mencionar que este modelo es quizás de los que menos resultados generan primordialmente por

¹⁴ Elwood S. Buffa, William H. Taubert. Sistemas de Producción e Inventario. Planeación y Control. Editorial Limusa. 1ª Edición. México D.F. 1978.

la regla de orden lexicográfico, este estudio considera tres factores importantes, la magnitud del problema, la longitud de la línea y las restricciones de precedencia.

Básicamente el modelo de Mastor lo obtuvo de programas originales de sus autores agregándoles reglas para la asignación de las operaciones, las reglas que utilizó para sus experimentos son:

- ◆ Regla de orden lexicográfico.
- ◆ Regla del número de tareas inmediatamente siguientes.
- ◆ Regla de muestreo al azar.
- ◆ Regla de ordenamiento por tiempos de los elementos de trabajo.

Regla de Orden Lexicográfico.

Lo que realiza esta regla es anotar las tareas en la *lista de disponibilidades* en el orden en que quedan disponibles, es decir, la primera tarea de esa lista se anota en primer término, no sucede así cuando la tarea rebasa el tiempo de holgura de la estación, el procedimiento continua así hasta asignar todas las tareas.

Regla del Número de Operaciones Inmediatamente Siguietes.

En esta regla lo que se busca es asignar una operación a una estación dependiendo el número de operaciones totales que le preceden; de la *lista de disponibilidades* se asigna la que tenga el número mayor de seguidores inmediatos, esta regla ayuda a asignar más operaciones a una estación debido a los tiempos cortos en las demás operaciones.

Regla de Muestreo al Azar.

La regla de muestreo al azar es similar a la que se ocupa en el modelo de Arcus, únicamente la diferencia principal es que no intenta introducir sesgo alguno entre la asignación de secuencias factibles.

Regla de Ordenamiento por Tiempos de los Elementos de Trabajo.

Lo que se realiza en esta regla es asignar de la *lista de disponibilidades* una operación que tenga el mayor de los tiempos comparado con las otras operaciones disponibles, esta regla logra mayor flexibilidad en la asignación de las tareas con un menor tiempo de duración.

3.1.3. La Técnica de Hoffman.

La técnica de Hoffman se empieza enumerando todas las operaciones que se pueden adscribir a una estación, la selección de las operaciones que se asignan a una estación es por medio de la sumatoria de las operaciones tratando de reducir al mínimo el tiempo ocioso en la estación, considerando siempre las restricciones impuestas por la precedencia en las operaciones, para el comienzo de la selección se asigna de manera provisional una operación que no tenga precedencia con otras operaciones no adscritas, una vez asignada una operación a una estación se ajustan las relaciones de orden solo para mostrar cuales son las tareas que ya se han asignado.

Este procedimiento se repite hasta que ya no existan más tareas por asignar en una estación, si se rebasa el tiempo disponible de una estación se elimina una operación de la lista de asignaciones provisionales, se hace un ajuste en las

relaciones de ordenamiento y se intenta una nueva asignación con una operación que no tenga precedencias no asignadas, una vez que ya han sido asignadas todas las operaciones a las estaciones correspondientes termina el proceso, la idea de esta técnica es encontrar combinaciones que igualen el tiempo ciclo o en su caso encontrar combinaciones que reduzcan al mínimo el tiempo ocioso en cada estación.

3.1.4 Heurísticas para el Balanceo.

La solución para los problemas de las líneas de ensamble realizado manualmente se conoce como solución por medio de heurísticas, con este tipo de técnica se puede encontrar una configuración adecuada al sistema, sin embargo, la solución propuesta no es la única que se puede obtener por lo que se pueden configurar las estaciones de trabajo en base a lo que resulte adecuado para la producción que se desea obtener, es muy importante que para este tipo de técnica se tenga un buen criterio para poder llevar a cabo un procedimiento correcto.

3.1.4.1 Técnica de L. Wester y Kilbridge M. D.

La Técnica de Kilbridge y Wester tiene el propósito de balancear sistemas de producción lineales sin la necesidad de ayudarse de una computadora, se le conoce también como Regla de la Columna, en esta técnica cada operación se identifica por medio de dos números de columna, un número de columna indica la primer columna en donde se puede seleccionar la operación para poder asignarla a otra estación mientras que el otro número de columna indica la última columna de donde se puede seleccionar la operación.

En esta técnica se utilizan 4 heurísticas para poder realizar la asignación de las tareas a las estaciones de trabajo:

1. Tiempo de operación más largo (TOL).- esta heurística consiste en asignar de todas las operaciones disponibles, la que tenga el tiempo de operación más largo, cuidando siempre para todas las heurísticas cumplir con el orden de precedencia.
2. Más tareas siguientes.- esta heurística consiste en asignar de todas las operaciones disponibles, la que tenga el mayor número de tareas siguientes.
3. Tiempo de operación más corto (TOC).- esta heurística consiste asignar de todas las operaciones disponibles, la operación cuyo tiempo de duración sea el más corto.
4. Menor número de tareas siguientes.- esta heurística consiste en asignar de todas las operaciones disponibles, la que tenga el menor número de tareas siguientes.

La utilización de heurísticas se realiza para poder asignar una operación a una estación de trabajo, de lo contrario se realizaría la asignación de operaciones al azar, también se utilizan las heurísticas para poder romper empates entre las operaciones al momento de asignarlas.

3.1.4.2 Técnica de Helgeson W. B. y D. P. Birnie.

A este método también se le conoce como método por medio de heurística, conocido como *Mayor Peso en Secuencia*, la Técnica de Helgeson y Birnie o

Técnica de Peso Posicional Clasificado establece el orden de asignaciones de las operaciones a las estaciones de trabajo sumando los tiempos de una operación con los tiempos de todas las operaciones que le siguen, el propósito de esta técnica es asignar en primer término las operaciones que resulten con mayor valor en la sumatoria, el valor en esa sumatoria se conoce como Factor de Ponderación.

Estas dos últimas técnicas se explican mas adelante con un caso práctico, con el fin de darse una explicación más detallada para estas dos técnicas.

La mayoría de los modelos de cómputo utilizan las restricciones impuestas en el modelo de Arcus, aunado a que se utilizan heurísticas para llevar a cabo la designación de operaciones a cada estación de trabajo, mucho software agrega herramientas prácticas indispensables para el Ingeniero Industrial, tales como paquetes para el estudio de tiempos, generadores de VSM (Value Stream Map – Mapa de flujo de valor agregado) o generador de Yamazumis para las operaciones, entre otras aplicaciones.

Si se desea profundizar más en las técnicas mencionadas en este capítulo se recomienda revisar el libro Sistemas de Producción e Inventario¹⁵ en su capítulo 9, además de consultar la bibliografía citada al final de ese capítulo, bibliografía que no se cita en este trabajo ya que es muy extensa.

3.2 Métodos para Equilibrar las Operaciones en las Líneas.

Además de la aplicación de heurísticas y otras técnicas para balancear las líneas podemos hacer uso de otros métodos que brindan buenos resultados y que son

¹⁵ Elwood S. Buffa, William H. Taubert. Sistemas de Producción e Inventario. Planeación y Control. Editorial Limusa. 1ª Edición. México D.F. 1978.

muy usuales de aplicar para cualquier tipo de situación que se presente en las líneas de ensamble.

3.2.1 Mejorar la Operación.

El método más utilizado para poder mejorar las operaciones en las líneas de ensamble es sin duda la mejora en la operación, por lo regular las operaciones en donde se aplica este método es en las operaciones cuello de botella, este procedimiento se puede realizar de diversas formas, un ejemplo puede ser el ensamble de piezas pequeñas en un solo tiempo, si se ensamblan piezas de tiempo corto en momentos y lugares diferentes se pierde tiempo a pesar de que se considera muy pequeño el lapso de ese tiempo, otra forma muy común es la eliminación de manipulación en los materiales o piezas que se requieren, se pueden acortar las distancias entre las prensas o máquinas utilizadas en el proceso de producción, la mayoría de los valores no agregados en las operaciones es originado por el recorrido innecesario tanto en el producto como en el trabajador.

En la figura 3.1 se observa la distancia que tiene que recorrer el trabajador para poder obtener el material necesario para su operación, el tiempo que tarda en ir al rack más el tiempo que se genera para regresar a la prensa una vez alcanzado el material provoca un recorrido innecesario tanto en el trabajador como en el material, ese lapso de tiempo por muy corto que parezca es tiempo muerto en la operación, una mejora en la operación muy simple que genera buenos resultados es acercar más el rack a la prensa, si no se cuenta con suficiente espacio se puede utilizar un rack más pequeño que cuente con la misma capacidad.



Figura 3.1. Mejorar la operación.

3.2.2 Mejorar el Rendimiento del Operario.

Un método muy práctico para llevar a cabo el balanceo en las operaciones que se realizan en las líneas consiste en mejorar el rendimiento del operario, existen operaciones que se pueden mejorar con solo cambiar de trabajador, la selección del trabajador para ese trabajo puede resultar tan fácil dependiendo las habilidades y la consistencia del trabajador, se puede escoger a un operario rápido o al más capaz para realizar la operación que esta efectuando la demora en las operaciones siguientes.

La mejora en el rendimiento del operario se puede conseguir mediante la capacitación, como ya se mencionó anteriormente es necesario capacitar a los trabajadores cada periodo de tiempo establecido por la compañía o a cualquier cambio realizado en las operaciones, como lo son los cambios de ingeniería, no

importando si esos cambios en el producto fueron mínimos, en ocasiones son los mismos trabajadores quienes balancean las operaciones dado que son ellos quienes saben mejor que nadie quien es la persona adecuada para realizar esa operación, algunas veces el balanceo realizado por los trabajadores no es muy confiable ya que lo que realizan es solo adecuar sus tiempos con los del operario más lento haciendo parecer que las operaciones son equitativas e iguales en cuestión de tiempos.

3.2.3 Velocidades de las Máquinas.

Cambiar las velocidades en las máquinas puede resultar muy complicado si no se realiza de manera correcta, en el caso de las líneas de ensamble este tipo de método no es muy usual por que lo que se pretende conseguir es mayor volumen de producción, sin embargo, existen robots considerados equipos restrictores y para estos casos si se puede realizar un cambio en las velocidades de dichos equipos.

Cambiar la velocidad en un equipo mecanizado o en máquinas no siempre se debe realizar en un sentido positivo, por lo regular se deseará aumentar la velocidad de las máquinas si lo que se pretende es agilizar la operación, para este método es muy conveniente realizar un análisis sobre las situaciones que pueden presentarse para ambos casos, un análisis sobre los cambios que se generan en la operación si se disminuye la velocidad y otro para los cambios resultantes al aumentar la velocidad en el equipo.

El tránsito de las unidades por los robots debe de ser continuo, sin embargo, el tiempo que tarda cada uno de ellos para aplicar los puntos correspondientes a cada unidad no son los mismos, en este sentido, después de realizar muestras de tiempos y comparar los resultados se opta por apresurar hasta cierto límite las

velocidades en los robots que aplican muchos puntos cuidando no dañar el equipo y no romper con la calidad en el producto, por otro lado se aumenta el tiempo en robots con poca duración en sus operaciones, además de repartir los puntos entre los robots que realizan las mismas actividades, en la figura 3.2 se observa la ubicación de los robots para conseguir mejor flujo en cada celda.



Figura 3.2. Velocidades en los robots.

Cuando un trabajador opera dos máquinas es muy usual que se ajuste el tiempo para que pueda atender a los dos equipos aprovechando lo mejor posible el trabajo que se realiza en los equipos, esta situación también se presenta en las líneas de ensamble, en la figura 3.3 se observan dos prensas en las cuales el trabajador tiene que surtir el material para que el robot comience a operar, se puede disminuir la velocidad del robot para que el operador pueda surtir las piezas correspondientes así en lo que el robot aplica la soldadura en una prensa, el operador puede surtir la otra prensa con el material correspondiente o sacar el

subensamble y colgarlo en la grúa que llevará el subensamble al centro de trabajo donde se necesita.



Figura 3.3 Trabajo con dos prensas y un solo robot.

3.2.4 Dividir las Operaciones y Repartir los Elementos.

Este método además de mejorar la operación es uno de los más utilizados para equilibrar las operaciones en las líneas de ensamble, dividir las operaciones y repartir los elementos se puede realizar con cierta facilidad solo si la naturaleza del producto así lo permite.

La mejora en las operaciones esta muy ligado a este método debido a que se puede conseguir esa mejora en la operación si se realiza una distribución adecuada de las operaciones entre el personal disponible, de manera directa se ataca este problema se si realiza un buen balanceo en las líneas de ensamble,

desafortunadamente cuando se realiza el balanceo no siempre se puede obtener una configuración en donde encajen todos los tiempos de manera correcta, es en ese momento en donde se puede optar por dividir las operaciones de manera diferente a la que ya se tenía con el propósito de repartirla entre cada trabajador.

Contrario a lo que sucede al repartir las operaciones a cada trabajador también se puede optar por combinar las operaciones entre 2 o más personas dependiendo el tiempo de las operaciones, muchas veces no es práctico delegar una o varias actividades a una sola persona sobre todo cuando el tiempo total de esa operación es demasiado larga, un método adecuado es la repartición del trabajo cuando se presenta esta situación, por un lado se equilibran las operaciones y por otro se consigue mayor comunicación y relación entre las personas involucradas en la realización de actividades combinadas.

En la figura 3.4 se observan a dos trabajadores realizar el trabajo, mientras que uno se encarga del lado derecho de la unidad su compañero de trabajo realiza las actividades necesarias en el lado izquierdo de la misma unidad.

3.2.5 Mover a los Operarios.

Otro método necesario para equilibrar las operaciones es el movimiento de los operarios a través de las diferentes estaciones de trabajo, suele aplicarse este método cuando las operaciones requieren un tiempo menor que el de equilibrado, un ejemplo muy común para este tipo de método es la utilización de un operario en dos grupos de trabajo diferentes, al principio de sus actividades el trabajador puede realizar suficientes subensambles como para poder abandonar momentáneamente esa operación, una vez conseguido un número adecuado de esos subensambles se puede trasladar a otra prensa para poder ayudar en otras actividades o para realizar otra operación de manera individual.



Figura 3.4. División de las operaciones.

En este principio se pueden acumular los subensambles en una estación sin rebasar el número de piezas que se requieren en las operaciones siguientes, en la figura 3.5 se observa un centro de trabajo con material acumulado para que el trabajador pueda desplazarse a otro centro de trabajo dentro de ese mismo grupo de trabajo.

La ventaja de ese centro es que el material ensamblado no es muy voluminoso pudiendo acumular el material que se necesite para la operación siguiente por un periodo de tiempo, con esto el trabajador puede rolarse en dos o más centros sin descuidar ninguna de sus actividades.



Figura 3.5. Material acumulado para que el trabajador se desplace a otro centro de trabajo.

3.2.6 Utilización de Operarios Auxiliares.

A diferencia del desplazamiento de los operarios a través de diversos productos se puede hacer uso de operarios auxiliares, estos operarios sirven de apoyo en las actividades más lentas o en operaciones en donde se tiene bajo volumen de producción debido a circunstancias ajenas a la operación. Los operarios auxiliares realizan actividades mientras el titular de la operación cuenta con descanso o a la hora de los alimentos, la intención de este método es producir material mientras las demás operaciones están en descanso o paradas, con el fin de que se elimine el cuello de botella para que las operaciones siguientes no se queden rezagadas por falta de material o por cualquier otro motivo, esto ayuda a la eliminación de tiempo ocioso y al flujo del material de manera constante.

Otra manera de utilizar operarios auxiliares es en actividades sencillas comparadas con las que realizan los demás trabajadores, en la figura 3.6 se observa la utilización de operarios auxiliares los cuales colocan patines en la

unidad para que se pueda desplazar por toda la línea, este tipo de operarios son contratados por una empresa que presta servicios a la principal, también conocidos como servicios comprados.



Figura 3.6 Utilización de operarios auxiliares.

3.2.7 Utilización de Máquinas Auxiliares.

Cuando las operaciones que se realizan en la línea de ensamble tienen tiempos demasiado largos o cuando no se puede mejorar la operación para reducir su tiempo, se necesitan de equipos auxiliares para poder equilibrar las operaciones, en la mayoría de los casos este método se emplea cuando las operaciones son realizadas por equipos mecanizados aunque no siempre es así, ya que también se puede optar por equipos auxiliares para satisfacer la demanda independientemente de que esas operaciones se realicen de manera manual.

En algunas operaciones se implementan líneas paralelas, ya sea a lo largo de toda la línea o simplemente en algunas operaciones, a pesar de que se cuente con máquinas auxiliares es importante que se le considere a estas máquinas independientes de la estación con las mismas operaciones, aunque se necesiten el mismo número de materiales este equipo auxiliar no depende de su similar.

Las operaciones que se realizan fuera de la línea de ensamble son un ejemplo de la utilización de máquinas auxiliares debido a que se necesitan esos subensambles en las líneas pero no puede colocarse la maquinaria arriba de la línea de ensamble.

3.2.8 Utilización de Horas Extras.

Un último recurso que se aplica como método para balancear las operaciones es la utilización de horas extras, el uso de las horas extras no debe tomarse como una solución factible, sin embargo, para los momentos críticos se puede utilizar esta opción como temporal. Un uso que se le da a este método es fabricar subensambles de más durante la jornada laboral para hacer que se trabaje tiempo extra en las máquinas más lentas que producen un cuello de botella, al día siguiente con el material de reserva producido durante las horas extras se ayudará combatir el cuello de botella.

En la mayoría de las ocasiones se hace uso de este método cuando la demanda no se puede cumplir durante las horas disponibles para la elaboración de los productos. Las horas extras solo se pueden utilizar en empresas donde solo se labore en uno o dos turnos, si se cuentan con tres turnos es difícil realizar la labor aun cuando se piense que en los tres turnos se puede producir lo necesario en ocasiones no sucede así.

Para organizar una línea de ensamble de manera que se puedan nivelar las operaciones en el modo que se desea se pueden utilizar otros métodos o soluciones, no siempre va ser necesario cambiar la velocidad en las máquinas o utilizar operarios auxiliares, mientras la operaciones nos brinden flexibilidad al momento de optar por un método, podemos utilizar inclusive dos técnicas al mismo tiempo, además de poder realizar cambios o movimientos en las estaciones de trabajo las veces que se necesite sin perder días laborales, el objetivo de estos métodos es alcanzar el nivel de producción deseado con el mayor porcentaje de eficiencia en las líneas.

3.3 Principios Básicos de las Líneas de Producción.

Como ya se mencionó anteriormente en las líneas de ensamble debe existir un flujo continuo en las estaciones de trabajo y en los materiales necesarios para el ensamble del producto, para que se pueda conseguir ese objetivo las líneas de ensamble cuentan con principios básicos que deben de tomarse en cuenta al momento de realizar la distribución de la planta, lo más importante es mantener estos principios a lo largo de la vida de las instalaciones sin importar cambios en la distribución o en el diseño del producto.

3.3.1 Principio de la Mínima Distancia Recorrida.

El objetivo de este principio es acortar lo más posible las distancias del recorrido en el material involucrado para la manufactura del producto, un diseño ideal es aquel en donde las prensas que se utilizan para el ensamble del producto estén unas seguidas de otras, con esto el trabajo se encuentra adyacente en cada centro de trabajo.

El principio de la mínima distancia recorrida beneficia en mucho al tipo de distribución orientada al producto, incluso este principio se aplica a la distribución orientada al proceso en donde lo que se busca es reducir las distancias en el recorrido de los materiales por los diferentes departamentos, en las líneas de ensamble este principio es lo primero que se debe considerar en el diseño de la distribución de planta.

Algunos grupos de trabajo cuentan con plataformas que ayudan al movimiento del material a través de la línea, en estos grupos la secuencia de las operaciones es muy notoria, sin embargo, normalmente las primeras operaciones en las líneas de producción dedicadas al ensamble de automóviles no utilizan plataformas por que es en estas operaciones en donde los materiales ensamblados no son de gran volumen dado que son las primeras operaciones que se llevan a cabo en dichas líneas, en estas primeras operaciones se debe cuidar el recorrido de los materiales.

En la figura 3.7 se observan dos prensas situadas una inmediatamente de la otra, en estas prensas cada trabajo comienza en donde termina la operación anterior, con esto se elimina enormemente el recorrido en los subensambles realizados en las prensas debido a que el trabajador toma el subensamble donde lo deja el trabajador de la estación anterior.

3.3.2 Principio de Circulación del Trabajo.

La circulación en el trabajo implica un movimiento continuo en el producto con un ritmo uniforme, la circulación en el trabajo se mide por medio del ritmo de producción, cuando se conoce cual es la secuencia de las operaciones y una vez realizado el balanceo en las líneas es fundamental mantener esa circulación en el trabajo. El manejo de materiales en las líneas de ensamble debe ser controlado

durante todo el proceso de producción, ese manejo de materiales es muy importante para las operaciones que se realizan en cualquier proporción de la línea de ensamble, cualquier faltante de material en cualquier estación de trabajo ocasiona el paro en todas las operaciones siguientes que se realizan en cada grupo de trabajo, progresivamente si un grupo de trabajo no produce piezas los grupos delante de el no tendrán más actividades por realizar ocasionando graves problemas en la producción de un día.



Figura 3.7. Mínima distancia recorrida.

Se pueden implementar dispositivos que ayudan a la circulación del trabajo, en la figura 3.8 se observa una grúa que levanta el ensamble realizado en un centro de trabajo para poder colocarlo inmediatamente después en otro centro para que los robots puedan comenzar a trabajar, al mismo tiempo que levanta el ensamble recorre el trabajo realizado por los robots para que pase el trabajo a la operación siguiente, este sistema ayuda a mantener ese flujo además de ser un buen ejemplo del principio anterior.



Figura 3.8. Circulación del trabajo.

3.3.3 Principio de la División del Trabajo.

Este principio es utilizado también como método para equilibrar las operaciones en las líneas de ensamble, la importancia de este principio radica en la utilización más eficiente de la mano de obra por medio de la separación de las actividades. La división del trabajo para este principio consiste en asignar una operación o un centro de trabajo a un trabajador, se puede asignar dos o más operarios a un solo centro de trabajo si el tiempo en esa actividad rebasa el tiempo de equilibrado.

En la figura 3.9 se observan a dos trabajadores realizando sus actividades correspondientes, cada trabajador realiza un subensamble en una sola prensa, como se mencionó en el apartado de la selección del operario en el capítulo anterior, todas las operaciones que se realizan en los grupos de trabajo cuentan con un solo operario o dos para el caso de operaciones largas o pesadas, es por eso que cada operario se considera como titular en sus actividades ya que él o

ellos son los únicos que las realizan, a pesar de que en algunas ocasiones se rolan sus actividades para romper con la monotonía consiguen la habilidad necesaria para realizar las operaciones sin importar que se rolen en sus actividades, sin embargo, el operario titular siempre mantiene mayor grado de especialidad en su operación aunque la role con otra persona.



Figura 3.9. División del trabajo.

3.3.4 Principio de Operaciones Simultáneas.

Este principio es conocido también como principio de simultaneidad, se aplica también a cualquier otro tipo de distribución de planta, el principio de operaciones simultáneas se basa en la idea de que los trabajadores estén realizando sus operaciones a lo largo de toda la línea, desde el comienzo de la línea hasta el final de ella, en lugar de terminar con un subensamble en cada operación, si no se cuenta con el material necesario para cada estación no va a existir la circulación

adecuada en el trabajo ocasionando una interrupción en las operaciones, el principio de las operaciones simultáneas está ligado de manera directa al principio de la circulación del trabajo, el objetivo principal de éste principio es que se puedan realizar dos o más operaciones simultáneamente en el producto.

En la figura 3.10 se observa como dos operadores trabajan simultáneamente en la parte de enfrente de la unidad.



Figura 3.10. Operaciones simultáneas.

3.3.5 Principio de Operación en Bloque.

Este principio se genera a partir de los principios de la mínima distancia recorrida, del principio de circulación del trabajo y el principio de simultaneidad, con la idea principal de que no puede faltar ninguno de ellos. A pesar de que en cada centro de trabajo se cuenta con operarios titulares asignados a la manufactura de un solo

producto, se deben considerar todas las operaciones como un solo bloque, en las líneas de ensamble se cuentan con grupos de trabajo los cuales tienen a su cargo la elaboración de ciertas piezas en particular, la asignación de operaciones por medio de grupos de trabajo facilitan a los operarios la comprensión de que todos y cada uno de los grupos forman parte de la línea y deben funcionar como un solo grupo a la vez con el objetivo de que toda la línea se considere como una sola unidad de producción.

En la elaboración de la carrocería de los automóviles se utiliza este principio para cubrir un volumen bajo de producción, en la primera mitad del turno los trabajadores realizan sus actividades correspondientes para poder saturar la línea, en la segunda mitad del turno todos los trabajadores pasan a la otra línea por donde las carrocerías de las unidades que fabricaron durante la primera mitad del turno tienen que pasar para seguir con la fabricación de las unidades.

3.3.6 Principio de Trayectoria Fija.

El principio de trayectoria fija se basa en los recorridos en el material, ese recorrido en el producto debe ser siempre el mismo, contrario a lo que sucede en otro tipo de distribuciones de planta, en la distribución de planta orientada al proceso este principio no se puede lograr por más esfuerzos que se hagan por tratar de que el recorrido en el producto sea siempre el mismo, originado por la propia naturaleza de ese tipo de distribución en donde el material circula de acuerdo a las operaciones que se necesitan realizar en el producto.

Una vez manufacturada la primer parte del producto pasa a centros de trabajo localizados en plataformas que rigen la trayectoria en los productos, en la figura 3.11 se muestran las mesas por donde pasa el producto, estas mesas son conocidas normalmente como mesas de espera puesto que el producto se tiene

que detener mientras los trabajadores realizan sus actividades en el producto, cada mesa está constituida de varios rodillos metálicos que facilitan el movimiento y la circulación del producto.



Figura 3.11. Trayectoria fija del producto.

Cuando se utilizan dispositivos mostrados en la figura 3.11 se deben disponer de equipos que ayuden a desviar el producto cuando este tiene defectos o cuando se debe cambiar la trayectoria o el sentido de las unidades, la utilización de guías para mover los productos son muy flexibles cuando este es muy pesado y voluminoso como en el caso de las líneas de ensamble automotriz, en la figura 3.12 se muestra un dispositivo en forma circular que ayuda en el cambio de la dirección del producto.

3.3.7 Principio de Mínimo de Tiempo y Material en Proceso.

El objetivo de balancear las líneas es obtener el mayor flujo en las operaciones, este principio se ve beneficiado con un balance en las líneas y en las

operaciones. El principio de mínimo de tiempo y material en proceso requiere que las operaciones sean lo más cortas posibles siempre que la naturaleza de las operaciones así lo permita.



Figura 3.12. Guías rotatorias en la trayectoria del producto.

No debe mantenerse el material en proceso durante mucho tiempo en los centros de trabajo para poder asegurar la circulación del producto durante toda la línea, este principio reduce la posibilidad de desviaciones y de trabajo perdido, si se cuenta con una línea bien establecida y con estándares adecuados en cada operación este principio no se usa para esos fines, incluso cuando se comienza con la manufactura del producto en donde las operaciones no tienen plataforma o mesas de espera, el recorrido del material es el mismo y no debe existir desviación alguna en la secuencia de operaciones, ni trabajo perdido.

3.3.8 Principio de Intercambiabilidad.

La intercambiabilidad de piezas y componentes constituye un imperativo. La producción en línea se beneficia de esta condición de identidad y, al mismo tiempo, depende de ella en sumo grado.¹⁶ El intercambio de las piezas y los componentes se emplea en las líneas conocidas como líneas para multiproductos, estas líneas se benefician en buena medida gracias a que las piezas y los componentes utilizados en los diversos productos que pasan por ella son muy parecidos ya que los productos manufacturados ahí solo cambian algunas características puesto que son productos similares con cambios mínimos en cada producto.

3.4 Requisitos Previos.

Las líneas de ensamble deben cumplir con ciertos requisitos para que sean prácticas, desde su implementación tienen que existir estos requisitos para que puedan ser productivas de manera eficiente. A continuación se describen estos requisitos de manera breve considerando que ya se han mencionado en temas anteriores.

3.4.1 Volumen de Producción.

La cantidad en el volumen de producción debe ser la adecuada como para compensar el costo de los recursos empleados en la constitución de la línea sobre todo del equipo especializado que se emplea en este tipo de distribución, el

¹⁶ H. B. Maynard. Manual de Ingeniería de la Producción Industrial. Tomo II. Editorial Reverte. 1ª Edición. 1956.

volumen de la producción depende a su vez del ritmo en las operaciones y del tiempo requerido para el ensamblado del producto.

Las líneas de ensamble se caracterizan por un alto volumen de producción en los productos que se elaboran en ellas, una línea de ensamble con poco volumen de producción es un desperdicio en varios aspectos y no puede considerarse mucho menos como una línea eficiente, todos los recursos que se emplean en las líneas deben tener una utilización adecuada, recursos tales como los trabajadores, los materiales empleados para la manufactura del producto, las máquinas y herramientas. La estandarización en las operaciones que se realizan en las líneas de ensamble juega un papel muy importante, esta estandarización además de brindar calidad en el producto genera la secuencia continua en las operaciones de manera controlada.

A diferencia de otro tipo de distribución, la distribución de planta orientada al producto debe satisfacer este requisito, en la distribución de planta orientada al proceso no importa si el volumen de producción no es tan elevado como el que se tiene en las líneas de ensamble por que las operaciones que se realizan en esa distribución no son repetitivas, en el caso de que en la distribución de planta orientada al proceso se tengan que realizar muchos productos generado por una demanda excesiva se puede optar por una distribución de manera lineal con la ayuda de las células de trabajo, pudiendo cubrir así con la demanda del cliente, esta situación es un buen ejemplo del por que las líneas de ensamble deben tener altos volúmenes de producción.

3.4.2 Equilibrio de la Línea.

El equilibrio existente en las líneas de ensamble es otro requisito indispensable para poder satisfacer la demanda originada por el cliente, el problema principal de

las líneas de ensamble es mantener las operaciones con tiempos aproximadamente iguales, conocido también como problema de balanceo de líneas de producción.

Una vez puesta en marcha la línea se necesita llevar a cabo de manera periódica un rebalanceo en las líneas para poder equilibrar las operaciones ante los cambios generados por la demanda, el volumen de producción marca también la pauta para estimar los tiempos en que deben realizarse las operaciones cubriendo así con la capacidad deseada, debido a que el equilibrio de las líneas es el problema principal de las distribuciones de planta orientadas al producto debe realizarse un estudio previo para poder planear las líneas de manera que se facilite el equilibrado de las operaciones, comenzando con un análisis sobre las características del producto y los materiales que se requieren para su manufactura logrando un diseño adecuado que facilite la producción de dicho producto.

El equilibrio en las líneas de ensamble depende de la naturaleza del producto, esta naturaleza nos indica hasta que grado podemos modificar las operaciones en las líneas, además del ritmo de producción, los tiempos necesarios en cada operación y de la secuencia que deben seguir estas operaciones para conseguir los ensambles correspondientes, estos datos son los que se necesitan para poder comenzar con el equilibrado de las líneas.

Es muy importante conocer cuales son los métodos que podemos utilizar para conseguir el equilibrio en las operaciones debido a que también se tiene que considerar la distribución de planta existente y el manejo de materiales así como los métodos adecuados para conseguir la sincronización entre las operaciones y la entrega de material en los centros de trabajo.

3.4.3 Continuidad en la Línea.

Una vez que se pone en marcha la línea de acuerdo al balance establecido para las operaciones es necesario que se tenga controlada la línea y todo lo referente a ella, se hace hincapié en el manejo de materiales puesto que es de suma importancia la entrega oportuna de estos materiales para que las operaciones no se detengan consiguiendo así un flujo continuo en las operaciones, si el material no se entrega a tiempo no se pueden realizar los subensambles correspondientes y al mismo tiempo, no se puede pasar más trabajo a los centros de trabajo siguientes, esto es lo mismo para cada grupo de trabajo, si un centro de trabajo no opera se ocasiona un paro en el grupo de trabajo generando también que los grupos siguientes no puedan continuar con la producción, así hasta que la línea se tiene que detener.

Es muy importante sincronizar todos los recursos que se utilizan en las líneas de ensamble para poder asegurar que la línea esté en funcionamiento, sea mencionado que el equilibrio en las operaciones debe ser el correcto para que el trabajo pueda ser entregado a tiempo, pero también es importante el uso de maquinaria y equipo correcto para conseguir más eficiencia en las líneas, si no se cuenta con equipos apropiados se hace más complicado el balanceo en las operaciones, sin embargo, todavía se debe prestar más importancia al mantenimiento de esas máquinas y dispositivos para asegurar la continuidad en la línea.

Si un equipo falla en cualquier etapa de la línea se genera el mismo problema que en la falta de material entregado, incluso, en ocasiones es más complicado resolver este tipo de problema que el ocasionado por la falta de material, aunque a los dos casos se les debe prestar suma importancia. El mantenimiento para las líneas de ensamble tiene que ser preventivo y no correctivo comparado con la

distribución orientada al proceso en donde la descompostura de una máquina no dificulta la manufactura del producto.

3.5 Técnicas Adicionales para el Balanceo de Líneas.

Para balancear las líneas de ensamble se puede hacer uso de técnicas adicionales para obtener un mejor equilibrado en las operaciones, incluso se pueden utilizar todas las herramientas que faciliten esa labor además de sistemas que facilitan la realización de las operaciones consiguiendo mayor utilización de los recursos empleados en las líneas de producción.

3.5.1 Utilización de Rutas Críticas.

El empleo de rutas críticas es necesario para poder equilibrar las operaciones en las líneas de montaje, las operaciones que se realizan en la línea deben tener un orden ya que no se podría manufacturar ningún producto sin tener contemplada la secuencia en sus operaciones, la secuencia en el proceso tiene demasiada importancia y no debe romperse con esa secuencia, si por algún motivo las operaciones se ejecutan fuera de secuencia causan demora y costos extras en los procesos. La secuencia de ruta crítica es conocida como la secuencia que cumple con las restricciones de precedencia y que lleva a cabo la manufactura de un producto al mínimo de tiempo posible.

Las técnicas de planeación, programación y control comúnmente utilizadas en los proyectos en gran escala se conocen como planeación y programación de redes, con los nombres más comunes de PERT (Técnica de Evaluación y Revisión

de Programas) y CPM (Método de la Ruta Crítica).¹⁷ La diferencia entre el PERT y el CPM se establece por medio de la preparación del diagrama de flechas dado que en el PERT se emplean actividades fantasmas además de utilizar en los tiempos de las operaciones métodos probabilísticos, contrario a lo que sucede en el CPM que utiliza en los tiempos de las operaciones modelos determinísticos, aunque en cualquiera de los dos procedimientos no hay razón que impida el desarrollo mediante métodos probabilísticos o modelos determinísticos.¹⁸

3.5.1.1 Descripción de los Modelos PERT y CPM.

Un proyecto es un conjunto de actividades interrelacionadas que llevan a la realización final de todas las actividades necesarias para la terminación del proyecto, todo este procedimiento es conocido como fase de planeación, el cual contempla únicamente las actividades y la interrelación que existe entre todas las actividades sin tomar en cuenta el tiempo que se toma en llevar a cabo cada actividad. No existe ninguna desventaja o ventaja si se contemplan los tiempos en esta fase por que el objetivo es solo establecer las actividades que se necesitan contemplar y su relación mutua para la terminación del proyecto.

Esta fase de planeación consta de tres aspectos: el análisis de las actividades, la construcción de un diagrama de flechas y la numeración de los nudos.

¹⁷ Elwood S. Buffa, William H. Taubert. Sistemas de Producción e Inventario. Planeación y Control. Editorial Limusa. 1ª Edición. México D.F.

¹⁸ El modelo determinístico tiene la peculiaridad de que los tiempos utilizados en él son tiempos estimados por esta razón se consideran tiempos no probables, mientras que en el método probabilístico se emplean tiempos derivados de la estadística como son la utilización del tiempo optimista, tiempo pesimista y el tiempo más probable.

Análisis de las Actividades.

El análisis de las actividades o lista de actividades se refiere a establecer cual es la mejor secuencia en las operaciones para obtener los resultados deseados, para el caso de la manufactura la terminación del proyecto es similar a la obtención de nuestro producto, el análisis en las actividades se consigue formulando preguntas tales como: ¿Qué operaciones se requieren para ensamblar el producto?, ¿Cómo deberán ejecutarse las operaciones?, ¿Qué operaciones se pueden ejecutar simultáneamente?, ¿Qué operación debe realizarse antes que otra? y ¿Cuáles son los tiempos requeridos para todas las operaciones en la línea? si es que en esta fase se quieren contemplar los tiempos en las operaciones, una vez encontradas las respuestas a estas preguntas podemos comenzar con la construcción de la lista de actividades. En la tabla 3.1 se muestra un ejemplo con doce operaciones y sus precedencias para una lista de actividades.

Actividad.	Precedencia.
A	Ninguna
B	Ninguna
C	A
D	A, B
E	C
F	C
G	D
H	F, G
I	H
J	E, H
K	I
L	J, K

Tabla 3.1. Lista de actividades.

Diagrama de Flechas.

La realización del diagrama de flechas se obtiene en base de la lista de actividades una vez que se ha verificado y aprobado, el diagrama de flechas es

una representación gráfica de todas las actividades y su interrelación o precedencia.

Para el procedimiento del PERT las actividades en la lista están representadas por una flecha, la longitud, su orientación y dirección no representan nada en particular, sin embargo, la cola de la flecha indica la iniciación de la actividad y la cabeza su terminación.

La secuencia en las flechas representa la secuencia que deben seguir las actividades, los nudos están representados por círculos y son considerados como eventos, en la figura 3.13 se observa un nudo, en que las actividades *A*, *B*, *C* tienen este nudo como un evento final, ese nudo es el punto de partida para las actividades *D* y *E*, en la figura 3.13 se observa como es que las actividades *D* y *E* no pueden comenzar hasta que las actividades *A*, *B* y *C* hayan concluido.

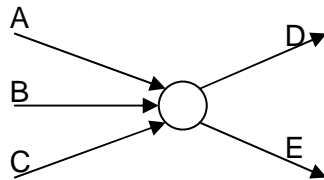


Figura 3.13. Precedencia en las actividades.

En la construcción del diagrama de flechas se pueden presentar diferentes situaciones, como la que se presenta en la figura 3.14(a), en esta figura las actividades *A* y *B* deben completarse antes de que inicie *C*, y *B* debe realizarse antes de que inicie *D*, esta figura muestra de manera correcta las precedencias en esas actividades, sin embargo, no se puede utilizar en el diagrama de precedencias por que muestra dos flechas para la actividad *B*.

Esta situación se puede solucionar con la utilización de actividades fantasmas¹⁹ por medio de una flecha con una línea punteada, esta flecha no representa una actividad real, en la figura 3.14 (b) se observa que la actividad C depende de la terminación de A y X, en este caso la actividad X es una actividad que ocurre inmediatamente después de que la actividad B termina, por lo tanto, la actividad C va a depender solo de la actividad A y B, por otro lado la actividad D solo va a depender de B.

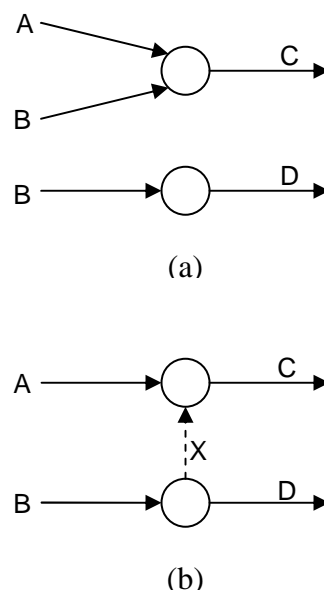


Figura 3.14. Utilización de actividades fantasmas.

Si se utiliza el procedimiento del CPM la utilización de las flechas se hace de manera diferente, en este procedimiento los nudos representan las actividades y las flechas son la secuencia que se debe seguir para cada actividad, este procedimiento no requiere la utilización de actividades fantasmas para poder establecer la secuencia en las actividades, la figura 3.15 muestra la misma relación de precedencias para las actividades A y B, mostradas en la figura 3.14,

¹⁹ Cuando se hace uso de una actividad fantasma se le asigna a esta en su tiempo un valor de cero, con el fin de que esta actividad no tenga un efecto adicional en los costos, sin embargo, si se considera la relación de precedencia en estas actividades.

se observa como es que se cumple la interrelación en las actividades de manera correcta: la actividad C no puede comenzar hasta que A y B hayan concluido y D no puede iniciarse si B no se concluye.

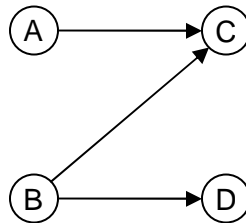


Figura 3.15. Precedencias utilizando el CPM.

Numeración de los Nudos.

En el procedimiento CPM no se requiere la numeración de los nudos, debido a que las actividades están representadas por los nudos. La técnica PERT por el contrario si requiere de la numeración en los nudos, esta numeración se basa en una regla muy sencilla pero importante: Se designa una flecha por los números de los nudos que conecta, ij , donde i representa la cola y j la cabeza en cada flecha, posteriormente se numeran los nudos de forma tal que para cada una de las flechas i siempre es menor que j .

En la figura 3.16 se muestra el diagrama de flechas para la tabla 3.1 por medio del procedimiento del PERT, así mismo se muestra la numeración de los nudos para que se pueda visualizar como es que se lleva a cabo la designación de números a cada nudo.

En la figura 3.17 se muestra el diagrama de flechas para las mismas actividades de la tabla 3.1 con el procedimiento CPM, se puede observar que las precedencias para cada actividad son las mismas notando también la diferencia entre las técnicas PERT y CPM.

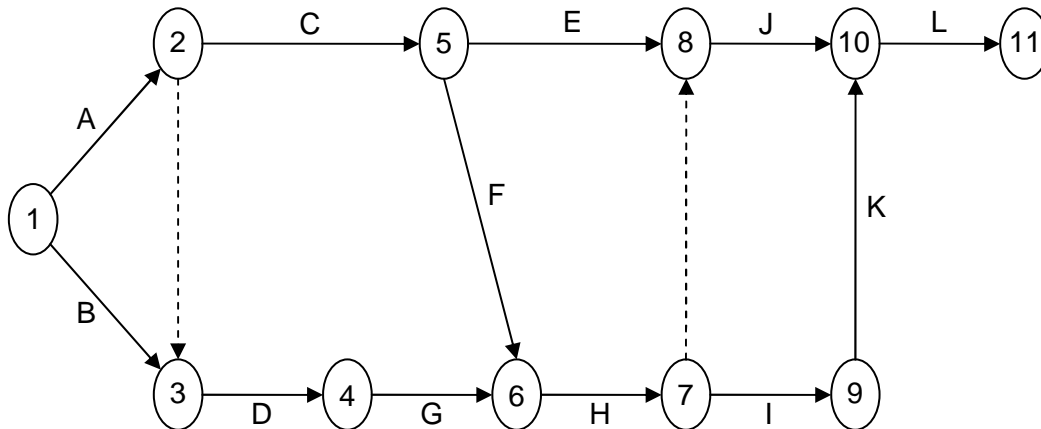


Figura 3.16. Diagrama de flechas con PERT.

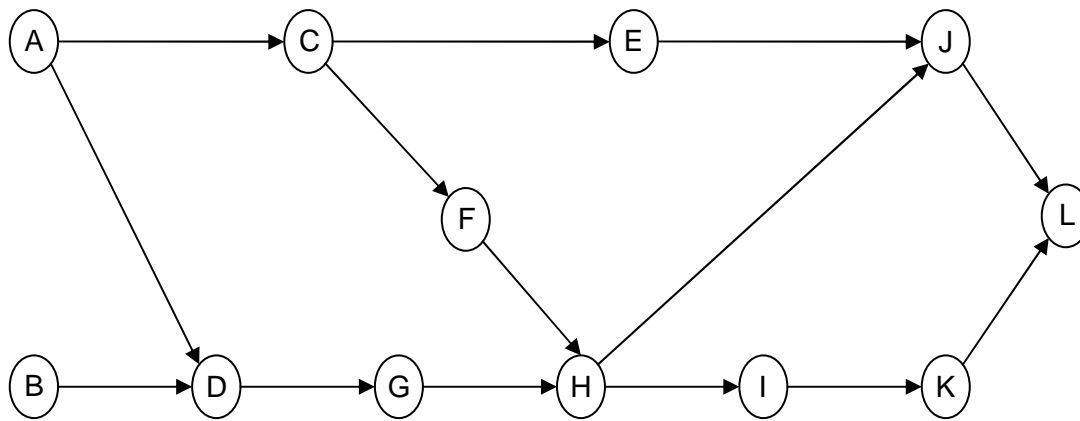


Figura 3.17. Diagrama de flechas con CPM.

3.5.2 Utilización de Yamazumi's.

El Yamazumi o Yamazumi Board es una herramienta Japonesa que ayuda en la elaboración del diseño efectivo en las operaciones que se llevan a cabo en las líneas de ensamble, dando una visión clara de las principales oportunidades de mejora a través de la identificación de desperdicios mediante la representación gráfica de las operaciones.

Esta herramienta es utilizada también por los operadores para que puedan visualizar la eficiencia de sus operaciones, se puede utilizar esta herramienta para cada operación, para cada grupo de trabajo o para toda la línea si así se desea, por lo regular se utiliza para cada operación y a su vez se grafican todas las operaciones correspondientes a cada grupo de trabajo.

El Yamazumi no es más que la representación gráfica de las operaciones que lleva a cabo cada trabajador con sus respectivos tiempos, clasificando cada elemento de trabajo en valor agregado, no valor agregado y no valor agregado necesario, ayuda a crear procesos más eficientes en cambios de patrón de operación como puede ser en los cambios de volumen y en las mezclas, se puede utilizar esta herramienta para el diseño de una estación ideal por medio de mejoras en dicha estación ya que ayuda en la identificación de desperdicios como pueden ser tiempos de espera o cargas de trabajo no equilibradas.

Es una herramienta que se utiliza en la elaboración de QPS's para que el trabajo este estandarizado, logrando mayor calidad, seguridad y eficiencia en las operaciones, obteniendo así un mejor producto para ofrecer.

Los pasos para la obtención de los Yamazumis son los siguientes:

1. Realizar el estudio de tiempos de las operaciones, obteniendo los elementos de cada operación de las QPS's, posteriormente obtener el tiempo estándar para cada elemento de trabajo.
2. Identificar en cada elemento de trabajo el Valor Agregado (VA), No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado Necesario (NVAN).
3. Graficar los tiempos estándares de cada elemento de trabajo y posteriormente asignarle el color correspondiente a cada elemento de

acuerdo al tipo de valor: para el VA asignar al elemento de trabajo el color verde, para el NVA asignar el color rojo y para el NVAN asignar el color amarillo.

El valor agregado es todo trabajo que cambia o altera la forma, las propiedades y el valor del producto que el cliente esta dispuesto a pagar como puede ser el soldar la carrocería o montaje de subensambles, el valor no agregado es todo trabajo que no cambia o altera la forma, las propiedades y el valor del producto que el cliente no esta dispuesto a pagar como puede ser el recorrido que tiene que realizar el trabajador para obtener una herramienta y el valor no agregado necesario es el trabajo que es requerido para lograr el cambio de forma, las propiedades y el valor del producto que no se puede eliminar como puede ser el tomar una punteadora y posicionarla en el lugar adecuado para poder aplicar unos puntos de soldadura a la unidad.

En la tabla 3.2 se muestran las operaciones que se realizan en el área de carrocerías y que le dan valor agregado al producto.

Operaciones de valor agregado	
Aplicar puntos	Colocar grapas
Aplicar sello	Colocar nut weld
Aplicar soldadura	Colocar parche
Atornillar	Colocar S/E en unidad
Barrenar	Colocar sellos
Colocar bolt weld	Colocar topes
Colocar clinch	Doblar pestañas
Colocar contras	Marcar No. de serie
Colocar gomas	Remachar

Tabla 3.2. Operaciones de valor agregado.

4. Con líneas de diferente color identificar en el Yamazumi el tiempo ciclo (TC) y el takt time (TT).
5. Una vez obtenido el yamazumi board en cada grupo de trabajo identificar los desperdicios que se generan en el grupo.
6. Analizar los elementos que no agregan valor tratando de eficientizar la operación eliminando los desperdicios y encontrando mejoras en el grupo de trabajo para implementarlas consiguiendo así más efectividad en el grupo.

En la figura 3.18 se muestra un ejemplo del Yamazumi Board realizado para 4 operaciones en un mismo grupo de trabajo.

3.5.3 Sistemas de Empujar y Jalar.

Más que una técnica para el balanceo de líneas de ensamble los sistemas de empujar o jalar son sistemas de origen japonés enfocados hacia las operaciones en la manufactura repetitiva en donde se fabrican varias unidades de un producto o varios modelos basados en un producto básico, como el caso del ensamblado de automóviles. Las decisiones de cuándo o cuántas unidades se deben producir en cada etapa del proceso varían considerablemente, dependiendo de la selección de un sistema de “empuje” o de “jalón” para realizar la planeación y el control.²⁰

²⁰ EVERETT E. Adam Jr, RONALD J. Ebert. Administración de la producción y las operaciones, Conceptos, modelos y funcionamiento, Prentice – Hall Hispanoamérica, S.A. 4ª Edición.

**HOJA DE BALANCE DEL TRABAJO
YAMAZUMI BOARD**

Grupo de Trabajo: Prensas
Condición Original: Julio 2007

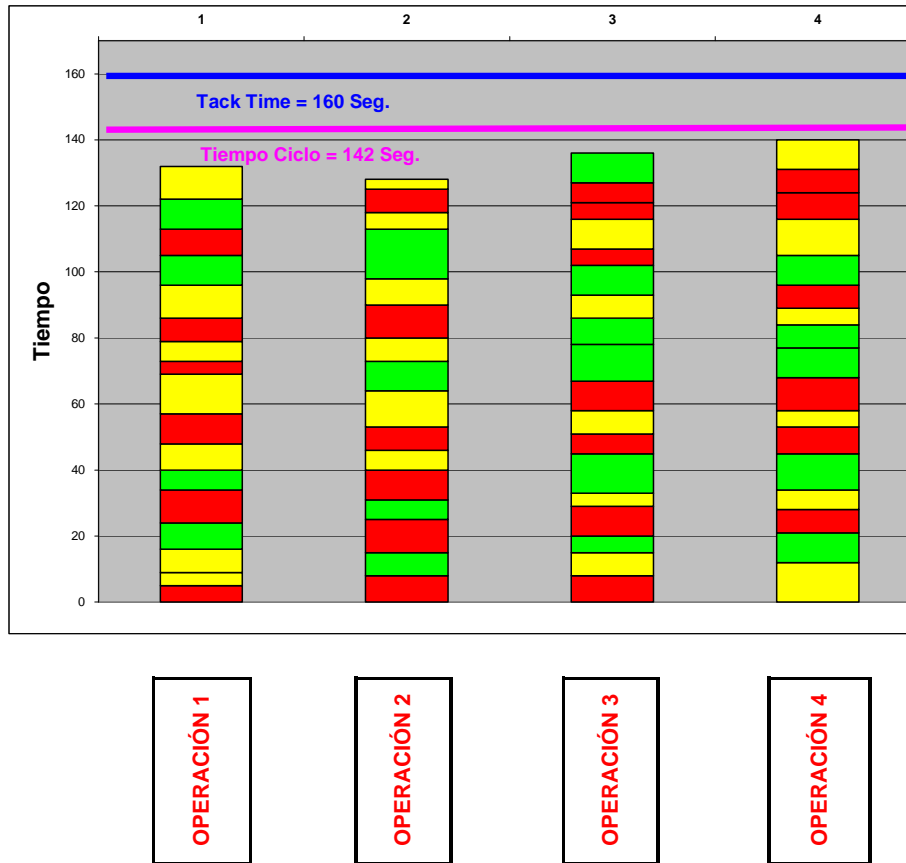


Figura 3.18. Yamazumi Board.

Sistemas de Empujar.

El sistema de planeación y control de empujar tiene la idea de producir anticipando las demandas en los productos, en donde previamente se planea qué se debe hacer, en el sistema de empujar se empieza con la fabricación de los primeros subensambles para mandarlos a las etapas siguientes de producción en los centros de trabajo en donde se requieren, se sigue con el ensamblado de esos

subensambles mandando a su vez el trabajo realizado en cada centro a las estaciones siguientes, se continua mandando las piezas a los centros de trabajo siguientes en donde se les requiere sin importar si ya existen las piezas necesarias en el proceso al que se mandan o bien se pueden mandar a un área de almacenamiento en donde esperan hasta que se hayan agotado las piezas y se requieran más, después de que un centro de trabajo a mandado todas las piezas que tenia que producir a concluido con su programa, por último se realizan los ensambles finales con el mismo procedimiento para que las unidades sigan avanzando en lotes hasta que se satisface la cantidad requerida cumpliendo así con la programación estipulada.

Este sistema también es utilizado en las distribuciones de planta orientada al proceso, en donde el trabajo que se realiza en cada departamento es enviado al siguiente para que continúe el siguiente departamento con el proceso que debe seguir el producto, empujando así cada departamento su trabajo realizado hasta que se obtenga el producto terminado.

Sistema de Jalar.

El sistema de planeación y control de jalar es más utilizado en las plantas ensambladoras comparado con el sistema de empujar, debido a la simplicidad, flexibilidad y coordinación que existe entre todos los centros de trabajo, este sistema a diferencia del sistema de empuje se basa en la idea de manufacturar unidades de acuerdo a la demanda existente y no hacia la manufactura para la programación estimando la demanda.

El trabajo realizado en cada centro de trabajo se elabora de acuerdo a las necesidades del centro que le sigue, de modo que los subensambles son manufacturados sólo si se requieren en las operaciones siguientes para que

puedan ser enviados a los centros de trabajo donde se necesiten, de esta manera los subensambles y las piezas son jaladas a lo largo de toda la línea para que se pueda obtener el producto final de acuerdo a la demanda. El objetivo de este sistema es que si las unidades no se requieren, no es necesario fabricarlas y cuando se necesiten, se deben fabricar de manera rápida de acuerdo a la cantidad requerida.

Aun cuando se lleva a cabo la programación en este sistema se reconoce que la demanda real puede variar de acuerdo a la demanda que se calculó, sin embargo, este sistema tiene la ventaja de adaptar la producción a medida que ocurren cambios en el volumen de producción originando nuevas mezclas para la elaboración de los productos.

3.5.4 Sistema KANBAN.

Este sistema se origina en Toyota, recibe este nombre por que Toyota llama Kanban al total de su sistema para controlar todo su sistema productivo, aunque en este sistema no solo participan las tarjetas, en Japón se llaman kanban a las señales, carteles o fichas pero en Toyota se adoptó esta palabra para designar una tarjeta ordenando un movimiento o una orden de producción.

El sistema Kanban es utilizado para controlar la producción que se requiere en las líneas de ensamble en donde se tiene adoptado el sistema de planeación y control de jalar. En el sistema kanban las existencias están controladas por sistemas manuales o electrónicos mediante dos tipos de tarjetas: tarjetas de envíos y tarjetas de producción, antes de implementar este sistema es necesario conocer cuales son los diagramas de flujo para cada componente o subensamble del producto, con el fin de que cada elemento tenga un camino definido a lo largo de la producción.

Las tarjetas kanban de envíos o de movimiento son utilizadas cuando se autoriza el retiro de un contenedor de materiales desde el centro de trabajo donde se realiza el ensamble o subensamble del trabajo requerido conocido como centro de trabajo proveedor al centro de trabajo donde se requiere dicho ensamble conocido también como centro de trabajo usuario, las tarjetas de envío van siempre adheridas a un contenedor, la información de una tarjeta de envío o movimiento debe comprender la siguiente información:

- ◆ Código de la pieza.
- ◆ Capacidad del contenedor.
- ◆ Número de tarjeta.
- ◆ Número del centro de trabajo suministrador conocido como punto de stock de salida.
- ◆ Número del centro de trabajo usuario conocido como punto de stock de entrada.

Las tarjetas kanban de producción son utilizadas cuando se autoriza la producción de un contenedor de materiales para poder remplazar al contenedor que fue retirado previamente, estas tarjetas se usan solamente en el centro de trabajo suministrador, las tarjetas de producción deben contener la siguiente información:

- ◆ Código del elemento o subensamble a fabricar.
- ◆ Capacidad del contenedor.
- ◆ Número de tarjeta.
- ◆ Número del centro de trabajo suministrador o punto de stock de salida.
- ◆ Materiales necesarios para fabricar el subensamble, herramientas necesarias y la situación de los puntos de stock de salida.

El funcionamiento del sistema de tarjetas se describe a continuación aunque puede no ser exactamente el mismo para todas las empresas en donde se cuenta con este sistema, debido a que cada empresa puede utilizar este sistema con algunas variantes.

- Cuando un contenedor con subensambles o piezas se selecciona para su uso en un centro de trabajo usuario, la tarjeta de movimiento se retira y se pone en una caja de recogida o buzón para llevarla de nuevo al centro de trabajo suministrador para autorizar la fabricación de otro contenedor el cual remplazará el que ha sido retirado previamente, por lo tanto, las tarjetas de movimiento circulan entre dos centros de trabajo solamente.
- Cuando la tarjeta de movimiento se lleva a un centro de trabajo suministrador para recoger las piezas, la tarjeta de producción se retira del contenedor que se enviará al centro de trabajo usuario, la tarjeta de producción que se retiro se coloca en una caja de recogida en el centro de trabajo suministrador, todas las tarjetas de producción recogidas equivalen a la autorización para fabricar el contenido de otro contenedor.

Las reglas que deben seguirse para usar el sistema de tarjetas kanban son las siguientes:

-
1. Una tarjeta de movimiento, o una de producción debe estar siempre adherida a los contenedores que tengan elementos, salvo cuando las tarjetas de producción se reducen en número en un centro de trabajo suministrador por cambios de programa o para reducir aun más el inventario, si es así, entonces los trabajadores deben tomar primero los contenedores sin tarjetas para evitar fabricar componentes innecesarios.

2. Los centros de trabajo usuarios deben obtener siempre los elementos de los centros suministradores, o indicar los centros de trabajo suministradores de elementos por medio de las tarjetas de movimiento. No transportar nunca un contenedor de elementos sin tarjeta de movimiento.
3. Siempre se usarán contenedores estandarizados. No usar nunca contenedores sin normalizar, ni llenar los normalizados con un número de elementos distinto del estándar.
4. Producir solo un número estándar de elementos, cuando una tarjeta lo autorice. Adherir siempre la tarjeta de producción al contenedor lleno, cuando se sitúa en el centro de trabajo suministrador.

Reglas para el sistema de tarjetas kanban.²¹

En el Apéndice C de la página 214 se describe el sistema de tarjetas kanban. Por medio de la utilización del sistema kanban todas las existencias quedan controladas por que las existencias o el inventario esta en cada centro de trabajo de manera controlada, si se logran reducir las tarjetas en circulación entre los centros de trabajo que interactúan los inventarios se reducen también a cero originando que las partes necesarias estén justo a tiempo en el lugar en donde se necesitan.

²¹ Robert W. Hall. Estrategias Modernas de Fabricación (Original Zero Inventories). Tecnologías de Gerencia y producción S.A. Madrid 1988.

Capítulo 4

BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNDERBODY Y PREENCLAMPADO.

- 4.1. Conceptos Básicos.
- 4.2. Etapas en el Balanceo de Líneas de Ensamble.
- 4.3. Balanceo de Línea para la Mezcla Futura.

BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNDERBODY Y PREENCLAMPADO.

4.1 Conceptos Básicos.

Para poder desarrollar un análisis sobre el diseño de las líneas de ensamble es necesario contemplar cuatro aspectos fundamentales: la capacidad, el tiempo ciclo, el número de estaciones de trabajo y la eficiencia que existe en las líneas. El problema del balanceo de las líneas de ensamble es encontrar el número de estaciones de trabajo, las actividades que se deben realizar en esas estaciones de trabajo y el número de trabajadores para cada estación con el propósito de alcanzar el nivel de producción deseado utilizando todos los recursos de manera eficiente, para conseguir esa eficiencia, la asignación de las actividades a cada estación de trabajo se debe realizar de acuerdo al tiempo ciclo adecuado.

4.1.1 Capacidad.

La capacidad de las líneas de ensamble se determina por medio de la operación más lenta, es decir, de todas las actividades que se realizan en la línea, la operación con mayor tiempo de duración controla el flujo en las operaciones, esta operación es conocida como tiempo del ciclo en el grupo de trabajo. La capacidad o el nivel en la producción se mide de acuerdo al número de unidades que se pueden producir y se determina mediante la ecuación 4.1.

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Tarea con mayor duración en la línea}} \quad (4.1)$$

Otra manera de representar la capacidad de producción es por medio de la ecuación 4.2, como se observa a continuación.

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo requerido del ciclo /unidad}} \quad (4.2)$$

4.1.2 Tiempo Ciclo.

El tiempo ciclo sirve para conocer cual es el tiempo en que deben pasar los productos por cada estación de trabajo para producir el nivel deseado de producción, para determinar cual es el tiempo ciclo que satisfaga el volumen de producción se emplea la ecuación 4.3.

$$\text{Tiempo Ciclo} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Número de unidades producidas en un día}} \quad (4.3)$$

Dicho de otra manera el Tiempo Ciclo es el tiempo disponible por día entre el volumen interno de producción, se utiliza este concepto debido a que se tienen que otorgar concesiones a las operaciones que se realizan en las líneas, estas concesiones son un suplemento adicional por paros del equipo, problemas de calidad, ausentismo y otros factores internos que afectan el desempeño de un área o varias áreas en la producción, el tiempo ciclo esta representado por la ecuación 4.4.

$$\text{Tiempo Ciclo} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Volumen interno de producción}} \quad (4.4)$$

Otro concepto que también se aplica en las líneas de ensamble es el Takt Time, este takt time no es más que el tiempo disponible por un día entre el volumen

requerido por el cliente, el takt time es el tiempo en que deben pasar los productos por cada estación de trabajo para cubrir la demanda originada por el cliente sin tomar en cuenta las concesiones en las operaciones, el takt time esta representado por la ecuación 4.5.

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Volumen originado por el cliente}} \quad (4.5)$$

4.1.3 Número de Estaciones de Trabajo.

Para calcular cual es el número mínimo de estaciones de trabajo se tiene que contemplar la duración total de las tareas dividida entre el tiempo ciclo necesario para satisfacer el volumen de producción, para calcular el número mínimo de las estaciones de trabajo se puede utilizar la ecuación 4.6.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{\sum \text{Tiempo de las tareas}}{\text{Tiempo Ciclo}} \quad (4.6)$$

Si existen operaciones paralelas en alguna parte de la línea, al realizar la sumatoria de los tiempos de todas las operaciones se considera únicamente la operación con mayor tiempo de duración entre las operaciones paralelas.

Otra manera de calcular cual es el número mínimo de estaciones de trabajo es con la utilización de la ecuación 4.7.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{\text{Tiempo total de las operaciones} \times \text{Volumen de Producción}}{\text{Tiempo disponible por día}}$$

4.1.4 Eficiencia.

Para calcular la eficiencia en las líneas de ensamble se divide el tiempo total de las tareas entre el producto del número de estaciones de trabajo por el tiempo ciclo, como se muestra en la ecuación 4.8.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{\text{Número de estaciones de trabajo} \times \text{Tiempo ciclo}} \quad (4.8)$$

Otra manera de calcular la eficiencia en las líneas de ensamble es por medio de la ecuación 4.9.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum_1^n M.E.}{\sum_1^n M.P.} \times 100 \quad (4.9)$$

Donde: M.E. = Minutos estándar por operación.

M.P. = Minutos estándar permitidos por operación.

En la tabla 4.1 se muestran 5 operaciones con sus respectivos tiempos, sus minutos estándar y minutos estándar permitidos por operación, en base a esta tabla se explica la manera de utilizar la ecuación 4.9.

Operario	Minutos estándar para realizar la operación	Tiempo de espera según el operario más lento	Minutos estándar permitidos
1	0.76	-	0.76
2	0.62	0.14	0.76
3	0.67	0.09	0.76
4	0.68	0.08	0.76
5	0.70	0.06	0.76
Totales	3.43		3.8

Tabla 4.1. Minutos estándar y minutos estándar permitidos.

Una vez obtenidos la sumatoria de los tiempos estándar y tiempos estándar permitidos de las cinco operaciones se sustituyen los valores en la ecuación 4.9, para este ejemplo la eficiencia en la línea es de 90.26 %.

$$Eficiencia = \frac{3.43}{3.8} \times 100 = 90.26\%$$

Para calcular el porcentaje del tiempo ocioso únicamente se hace la diferencia del 100 % menos la eficiencia en la línea, para este ejemplo el tiempo ocioso es del 9.74 %.

$$\% \text{ de inactividad} = 100 - 90.26 = 9.74$$

ó

$$\% \text{ de inactividad} = 1 - 0.9026 = 0.097$$

Otra manera de encontrar el porcentaje de inactividad es por medio de la sumatoria de los tiempos de espera entre la sumatoria del tiempo estándar permitido.

$$\% \text{ de inactividad} = \frac{0.14 + 0.09 + 0.08 + 0.06}{3.8} \times 100 = 9.73$$

4.2 Etapas en el Balanceo de Líneas de Ensamble.

El balanceo de las líneas de ensamble realizado manualmente consta de seis etapas indispensables, las cuales son muy importantes para poder obtener los resultados esperados y para poder realizar esta actividad de manera secuencial y organizada.

Lo primero que se debe hacer es identificar cuales son las actividades que se necesitan realizar para obtener el producto y al mismo tiempo identificar las precedencias para cada actividad, de estas actividades parte todo el

procedimiento que se lleva a cabo para balancear las líneas de ensamble, el cual se explica a continuación.

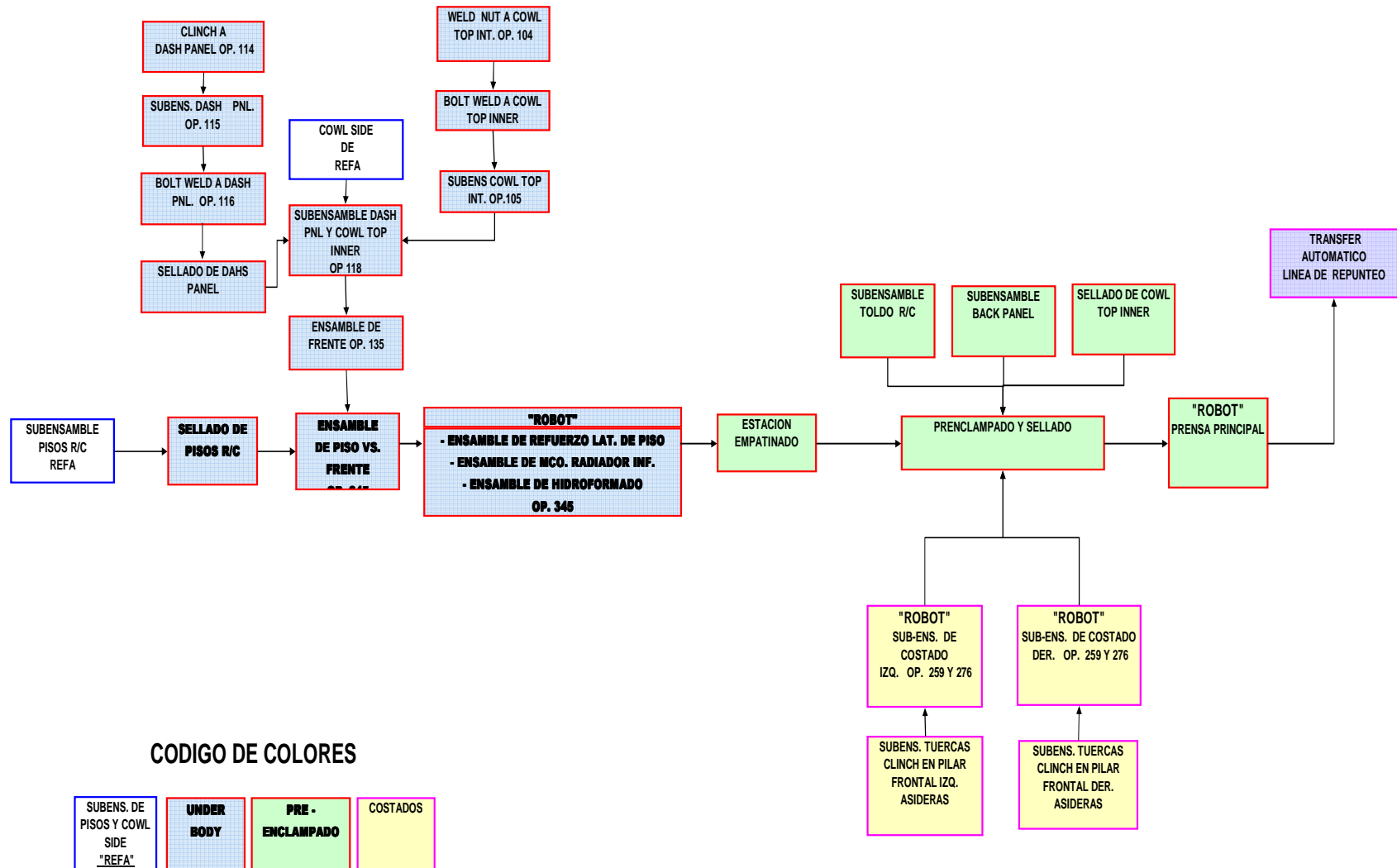
4.2.1. Definir las Actividades e Identificar los Requerimientos de Precedencia.

Para poder asignar actividades a las estaciones de trabajo se tiene que conocer cual es el orden en que se deben realizar dichas operaciones, con el objetivo de cumplir con la calidad en el producto y para evitar costos innecesarios originados por actividades realizadas fuera de tiempo.

El ensamblado de las carrocerías para las camionetas que fabrica Ford Motor Company en su planta de ensamble ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli consta de varias operaciones, en la figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo de las operaciones que se necesitan realizar para poder obtener los modelos de la serie F, en especial los modelos F-350, F-450 y F-550.

A partir de este diagrama de flujo se obtienen los requerimientos de precedencia para cada operación, sin embargo, este diagrama de flujo solo muestra las operaciones de manera general, tal y como las marca Ingeniería de Manufactura, cada operación mostrada en este diagrama consta de diversas tareas o elementos que no se pueden apreciar en este diagrama, en la tabla 4.2 se indican todas las operaciones que se deben realizar para poder obtener una unidad en esta línea de ensamble.

Figura 4.1. Diagrama de flujo para los modelos F-350, F-450 y F-550.



Actividad	Descripción	Tiempos con Concesiones		Precedencia
		8 %	12 %	
1	Nut Weld a Cowl Top	0.38	0.38	-
2	Stud Weld a Cowl Top	0.57	0.59	1
3	S/E de Cowl Top	1.26	1.33	2
4	Clinch a Dash Panel	0.34	0.35	-
5	Soportes a Dash Panel	1.13	1.19	4
6	Stud Weld a Dash Panel	0.97	1.01	5
7	Sello a Dash Panel	0.45	0.47	6
8	Dash Panel vs Cowl Top	1.94	2.01	3, 7
9	Sello a Cowl Side (+/-)	1.39	1.46	-
10	S/E de Frente	2.09	2.15	8, 9
11	Volteo de S/E de Frente	0.77	0.81	10
12	Surtido de Frente	0.47	0.47	11
13	Sello a Piso	0.64	0.66	-
14	Surtido de Piso	0.42	0.42	13
15	Punteo S/E de Frente y Piso	1.48	1.52	16
16	Recibir Piso y S/E de Frente	0.59	0.60	12, 14
17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso	0.66	0.70	16
18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso	0.97	1.0	16
19	Surtido de Hidroformado (+)	0.17	0.17	-
20	Surtido de Hidroformado (-)	0.16	0.16	-
21	Surtido de Soporte de Radiador	0.31	0.32	-
22	Robots de Pisos	4.59	4.59	15, 17, 18 19, 20, 21
23	S/E de Back Panel	2.86	2.96	-
24	S/E de Toldo	2.69	2.77	-
25	Sello negro a Piso (Parte trasera)	0.45	0.48	22
26	Preenclampado (-)	2.86	2.97	25
27	Colocación de Toldo	0.47	0.48	24, 26, 28
28	Preenclampado (+)	2.79	2.9	25
29	Sello y colocación de Cowl Top Outer	1.21	1.23	26, 28
30	Colocación de Back Panel	0.88	0.89	23, 27
31	Robots de Prensa Principal	3.68	3.68	30
Total de todas las operaciones		39.87	40.95	

Tabla 4.2. Actividades y sus Requerimientos de Precedencia.

En el Apéndice D de la página 222 se muestran las mismas operaciones mostradas en la tabla 4.2 con sus respectivos elementos de trabajo y sus tiempos de operación.

Una vez identificado el orden en que deben ejecutarse las operaciones y cual es su precedencia, se tiene que realizar un diagrama de flechas que nos ayude a identificar las precedencias para cada operación de manera visual, para este ejemplo el diagrama de precedencias es el que se muestra en la figura 4.2.

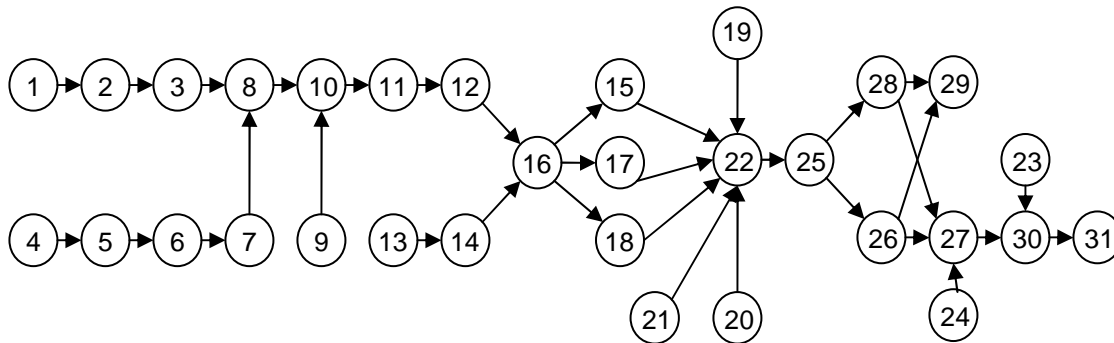


Figura 4.2. Diagrama de Precedencias.

4.2.2. Cálculo de la Capacidad y Eficiencia de la Línea Existente.

Antes de realizar el balanceo de las líneas de ensamble es necesario conocer cual es la capacidad máxima de producción de la línea que se desea balancear, para esto se tienen que tomar en cuenta todas y cada una de las operaciones que se realizan en la línea.

Para esta línea la capacidad máxima de producción esta determinada por la actividad no. 22, como se observa en la tabla anterior, que son los Robots de Piso ya que esta actividad es la operación más lenta y por consiguiente esta es la que controla el flujo en las operaciones, haciendo uso de la ecuación 4.1 se puede determinar cual es el nivel máximo de producción para esta línea, como se observa a continuación.

El tiempo que se dispone para poder trabajar por día es de 460 minutos, este tiempo se obtiene de manera sencilla, puesto que la jornada laboral tiene una duración de 8.5 horas, de estas 8.5 horas se descuenta el tiempo de los paros programados que son 50 minutos, estos 50 minutos son resultantes de media hora de comida y dos descansos de 10 minutos durante la jornada, es así como podemos calcular cual es el tiempo disponible de trabajo durante un día laboral.

$$\text{Tiempo disponible} = 8.5 \text{ horas} \times \left(\frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} \right) - (30 \text{ minutos} - 10 \text{ minutos} - 10 \text{ minutos})$$

$$\text{Tiempo disponible} = 460 \text{ minutos por día}$$

Una vez que se calcula el tiempo disponible por día y que se identifica cual es la operación más lenta en la línea podemos emplear la ecuación 4.1 para calcular cual es el nivel máximo de producción en la línea.

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{460 \text{ minutos por día}}{4.59 \text{ minutos}} = 100.2 \text{ unidades}$$

Por otra parte, es necesario calcular también cual es la eficiencia que existe en la línea que se desea balancear, este cálculo se puede efectuar de dos formas diferentes, haciendo uso de la ecuación de 4.8 o de la ecuación 4.9. Si se desconoce cual es el número de estaciones de trabajo se emplea la ecuación 4.9 como se indica a continuación.

Lo primero que se tiene que hacer es agrupar a la gente y a los robots, indicando sus tiempos de operación, es decir, indicando la sumatoria de los tiempos para cada operario considerando todas las actividades que realiza, posteriormente se obtienen los minutos estándar por operación y los minutos estándar permitidos por operación.

Los minutos estándar permitidos por operación se calculan en base al tiempo ciclo que se tiene, considerando la demanda actual, es decir, la demanda que se tiene antes de realizar el balanceo.

La demanda actual que se tiene es de 48 unidades por día, esta demanda es de acuerdo a lo que Ventas le pide a Producción, utilizando la ecuación 4.4 el tiempo ciclo que se tiene es de 9.58 minutos.

$$\text{Tiempo ciclo} = \frac{460 \text{ minutos}}{48 \text{ unidades}} = 9.58 \text{ minutos}$$

La tabla 4.3 muestra la sumatoria de los minutos estándar y la sumatoria de los minutos estándar permitidos.

Operario	Minutos estándar para realizar la operación	Tiempo de espera según el tiempo ciclo que se tiene	Minutos estándar permitidos
1	4.65	4.93	9.58
2	5.87	3.71	9.58
3	3.78	5.8	9.58
4	2.86	6.72	9.58
5	4.59	4.99	9.58
6	5.55	4.03	9.58
7	4.36	5.22	9.58
8	4.53	5.05	9.58
9	3.68	5.09	9.58
Totales	39.87		86.22

Tabla 4.3. Minutos estándar y minutos estándar permitidos.

Después de obtener los minutos estándar y los minutos estándar permitidos, con la ayuda de la ecuación 4.9 se puede obtener la eficiencia que se tiene en la línea existente.

$$\text{Eficiencia} = \frac{39.87 \text{ minutos}}{86.22 \text{ minutos}} \times 100 = 46.24 \%$$

Otra manera más rápida de calcular la eficiencia es utilizando la ecuación 4.8, como se muestra a continuación.

$$\text{Eficiencia} = \frac{39.87 \text{ minutos}}{9 \text{ estaciones} \times 9.58 \text{ minutos}} = 46.24 \%$$

4.2.3. Cálculo de las Estaciones de Trabajo para la Nueva Línea.

Para calcular cual es el número de estaciones de trabajo u operarios, si consideramos que cada operario conforma una estación de trabajo, se tiene que calcular primero el tiempo ciclo conforme a la demanda que se necesita y para la cual se va a realizar el balanceo en la línea.

Dado que el tiempo ciclo sirve para conocer cual es el tiempo en que deben pasar los productos por cada estación de trabajo para producir el nivel deseado de producción, no podemos utilizar el mismo tiempo ciclo y es por esto que se tiene que realizar un nuevo cálculo.

La demanda programada para el periodo que comprende los meses de Agosto y Septiembre es de 69 unidades por día, sin embargo, se tienen que otorgar concesiones al sistema productivo, esto con la finalidad de tomar en cuenta los paros no programados que se presenten durante el día, la concesión que se otorga es del 15 % para poder cumplir con la demanda, es decir, las 69 unidades de demanda se consideran el volumen originado por el cliente, mientras que las 79 unidades son el volumen interno de producción.

Con esta nueva demanda de 79 unidades y con 460 minutos disponibles por día, el tiempo ciclo que se debe considerar es de 5.82 minutos.

$$\text{Tiempo ciclo} = \frac{460 \text{ minutos}}{79 \text{ unidades}} = 5.82 \text{ minutos}$$

Por cuestiones sindicales se le pide al Ingeniero Industrial que cada trabajador no tenga cargas de trabajo que superen una eficiencia del 85 %, por lo tanto, el tiempo ciclo que se debe considerar para cumplir con esa petición es de 4.95 minutos.

$$5.82 \times .85 = 4.95 \text{ minutos}$$

Si se hace una asignación de las actividades tomando el tiempo ciclo real en la línea es natural que cada trabajador tenga una eficiencia de por lo menos el 80 %, puesto que el propósito de la asignación de actividades es utilizar lo mejor posible a los trabajadores considerando ese tiempo ciclo.

Para calcular cual es el número mínimo de estaciones de trabajo se tiene que contemplar la duración total de todas las tareas con una concesión del 12% en las operaciones, multiplicada por el volumen de producción entre el tiempo disponible por día, como se observa a continuación utilizando la ecuación 4.7.

En la sumatoria de los tiempos de las operaciones se consideran 38.05 minutos, debido a que las operaciones 26 y 28 son paralelas, ver la tabla 4.2, así que del tiempo total (40.95 minutos) se le restan 2.9 minutos, puesto que de entre esas dos operaciones la de mayor tiempo de duración (2.97 minutos) es la que se toma en cuenta para la sumatoria.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos} \times 79 \text{ unidades}}{460 \text{ minutos}} = 6.53 \approx 7 \text{ estaciones}$$

Otra manera de calcular el número de estaciones de trabajo es mediante la utilización de la ecuación 4.6, como se detalla a continuación.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos}}{5.82 \text{ minutos}} = 6.53 \approx 7 \text{ estaciones}$$

Debido a que el tiempo ciclo que se va a considerar no es el real, para el cálculo de las estaciones de trabajo se tiene que tomar en cuenta un tiempo ciclo de 4.95 minutos, para esta situación nuestro número de estaciones de trabajo sería el siguiente.

$$\text{Numero mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos}}{4.95 \text{ minutos}} = 7.68 \approx 8 \text{ estaciones}$$

Se debe redondear al número entero siguiente, puesto que no puede haber 0.68 de estación.

4.2.4. Aplicación del Método de Kilbridge y Wester.

Como ya se mencionó anteriormente la técnica de Kilbridge y Wester tiene el propósito de balancear sistemas de producción lineales sin la necesidad de ayudarse de una computadora, el balanceo de las líneas de ensamble mediante métodos manuales se conoce también como pruebas de ensayo y error, debido a que se pueden probar con diferentes heurísticas para tratar de encontrar la mejor solución, en este caso es la que nos de un menor número de estaciones de trabajo y mayor eficiencia.

En esta técnica se utilizan 4 heurísticas para poder realizar la asignación de las tareas a las estaciones de trabajo:

- Tiempo de operación más largo (TOL).
- Más tareas siguientes.
- Tiempo de operación más corto (TOC).
- Menor número de tareas siguientes.

De ser necesario se puede realizar la asignación de las actividades con la utilización de las cuatro heurísticas, siempre y cuando se utilice una a la vez para cada balanceo con el objetivo de que se contemplen todas las posibles variaciones que se puedan presentar, es necesario recordar que con la utilización de las heurísticas se pueden encontrar soluciones pero no siempre se garantiza encontrar una solución óptima.

Por lo general se utilizan la heurística del tiempo de operación más largo y la heurística de mayor número de tareas siguientes, dado que son estas dos heurísticas las que generan mayor número de posibles soluciones.

Los pasos que deben seguirse para la asignación de actividades manualmente son los siguientes.

1. Asignar las actividades de acuerdo con la heurística de asignación que se haya seleccionado como primaria, si se presentará un empate en las posibles actividades a ser asignadas utilizar una segunda regla, con la finalidad de romper con los empates, manteniendo siempre las relaciones de precedencia para cada actividad.
2. Después de asignar una actividad a una estación, determinar cuanto tiempo no asignado queda en la estación.
3. Determinar si se pueden asignar otras actividades a la estación, en caso de que se puedan asignar más actividades hacer la asignación cuidando de no superar con el tiempo disponible para la estación de acuerdo a las heurísticas seleccionadas como reglas de asignación y manteniendo las relaciones de precedencia.

4. Si no es posible asignar más actividades a una estación de trabajo, cerrar la estación y abrir una nueva para que se sigan asignando las actividades restantes.
5. Continuar con el proceso hasta que todas las actividades hayan sido asignadas a todas las estaciones de trabajo necesarias.

Para comenzar con esta técnica lo primero que se debe hacer es escoger cuales son las heurísticas que se van a seleccionar para la asignación de las actividades, para este trabajo se va a realizar la asignación de las actividades de acuerdo a las siguientes reglas.

- ❖ Regla primaria. Heurística del tiempo de operación más largo.
- ❖ Regla secundaria. Heurística de mayor número de tareas siguientes.

Posteriormente de acuerdo a nuestra regla primaria se deben ordenar las actividades en orden descendente de tiempo de operación, como se muestra en la tabla 4.4.

Actividad	Descripción	Duración	Precedencia
22	Robots de Pisos	4.59	15, 17, 18 19, 20, 21
31	Robots de Prensa Principal	3.68	30
26	Preenclampado (-)	2.97	25
23	S/E de Back Panel	2.96	-
28	Preenclampado (+)	2.9	25
24	S/E de Toldo	2.77	-
10	S/E de Frente	2.15	8, 9
8	Dash Panel vs Cowl Top	2.01	3, 7
15	Punteo S/E de Frente vs Piso	1.52	16
9	Sello a Cowl Side (+/-)	1.46	-
3	S/E de Cow Top	1.33	2
29	Sello y colocación de Cowl Top Outer	1.23	26, 28

5	Soportes a Dash Panel	1.19	4
6	Stud Weld a Dash Panel	1.01	5
18	Punteo Cowl Side (-) vs piso	1.0	16
30	Colocación de Back Panel	0.89	23, 27
11	Volteo de S/E de Frente	0.81	10
17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso	0.7	16
13	Sello a Piso	0.66	-
16	Recibir Piso y S/E de Frente	0.6	12, 14
2	Stud Weld a Cowl Top	0.59	1
27	Colocación de Toldo	0.48	24, 26, 28
25	Sello negro a Piso (Parte trasera)	0.48	22
12	Surtido de Frente	0.47	11
7	Sello a Dash Panel	0.47	6
14	Surtido de Piso	0.42	13
1	Nut Weld a Cowl Top	0.38	-
4	Clinch a Dash Panel	0.35	-
21	Surtido de Soporte de radiador	0.32	-
19	Surtido de Hidroformado (+)	0.17	-
20	Surtido de Hidroformado (-)	0.16	-

Tabla 4.4. Actividades en orden descendente de tiempo de operación.

Una vez ordenadas las actividades en cuestión de su tiempo de operación se procede con la asignación de las actividades a las estaciones de trabajo, a continuación se explica como es que se llevo a cabo dicha asignación.

Para la estación de trabajo no. 1.

Las actividades que se pueden asignar primeramente a esta estación son las actividades que no tienen precedencia, como son las actividades 1, 4, 9, 13, 19, 20, 21, 23 y 24, pero por restricciones de zonificación o zona solo se pueden asignar las estaciones 1 o 4, recordando que la regla primaria es la de tiempo de operación más largo y la secundaria es la de mayor número de tareas siguientes, por tiempo de operación más largo (TOL) se asigna la actividad 1.

Se cuenta con un tiempo disponible para esta estación de 4.57 minutos (4.95-0.38), la actividad elegible restante fue la 4, ahora tenemos que las actividades elegibles son la 2 y la 4, debido a que la actividad 1 ya fue asignada se puede considerar a la actividad 2 como elegible, por TOL se selecciona la actividad 2 para ser asignada, el tiempo disponible para esta estación es de 3.98 minutos.

Como ya se asignó la actividad 2, las actividades que se pueden elegir son las actividades 3 y 4, por TOL se asigna la actividad 3, el tiempo disponible es de 2.65 minutos.

La única actividad elegible para asignar es la número 4, la actividad 9 no se puede asignar por restricciones de zona puesto que esta muy retirada de las que ya han sido asignadas, como la actividad 4 es la única actividad elegible se asigna esta actividad, una vez asignada la actividad 4 la única actividad elegible es la número 5, así que esta es la actividad que se asigna, el tiempo disponible para esta estación es de 1.11 minutos

Las actividades elegibles son la 6 y 9, la actividad 9 tiene un tiempo de operación más largo pero no cumple con el tiempo disponible, así que se asigna la actividad 6 y se cierra la estación quedando un tiempo disponible de 0.10 minutos.

Para la estación de trabajo no. 2.

Las actividades elegibles son las actividades 7 y 9, por TOL se asigna la actividad 9, quedando un tiempo disponible para esta estación de 3.49 minutos.

Las actividades elegibles ahora son las actividades 7 y 13, no se puede elegir la actividad 8 debido a que no cumple con los requerimientos de precedencia, por

TOL se asigna la actividad 13, el tiempo disponible para la estación de trabajo es de 2.83 minutos.

La actividad elegible es la actividad 7, se asigna esta actividad quedando un tiempo disponible de 2.86 minutos, la actividad 14 pudo haber sido elegida pero por restricciones de zona no se puede elegir, debido a que sería demasiado el recorrido que tendría que realizar este trabajador provocando fatiga más rápida de lo habitual.

La única actividad elegible es la actividad 8, en esta ocasión como ya se asignaron las actividades 3 y 7 se puede asignar, el tiempo disponible para esta estación es de 0.35 minutos, por cuestiones de precedencia no se pueden asignar más actividades así que se cierra la estación.

Para la estación de trabajo no. 3.

Las actividades elegibles son las actividades 10 y 14, por tiempo de operación más largo se asigna la actividad 10 quedando un tiempo disponible de 2.8 minutos. La actividad elegible restante es la actividad no. 14.

Ahora las actividades elegibles restantes son las actividades 11 y 14, por TOL se asigna la actividad 11, el tiempo disponible para esta estación es de 1.99 minutos.

Una vez asignada la actividad 11 se puede elegir la actividad 12, ahora las actividades elegibles son la actividad 12 y 14, por TOL se asigna la actividad 12.

La única actividad elegible que queda es la 14 así que esta es la actividad que se asigna, quedando un tiempo disponible de 1.10 minutos, las actividades 19, 20 y 21 no se asignan por restricción de zonificación, puesto que si se asignan estas

actividades sería demasiado el recorrido del trabajador originado por la asignación de la actividad 10.

Para la estación de trabajo no. 4.

Las actividades elegibles para esta estación son las actividades 16, 19, 20 y 21, por TOL se asigna la actividad 16, quedando un tiempo disponible de 4.35 minutos.

Una vez asignada la actividad 16 las actividades que se podrían asignar a la estación son las actividades 15, 17, 18, 19, 20 y 21, por TOL se asigna la actividad 15, quedando un tiempo disponible de 2.83 minutos.

Las actividades elegible son las actividades 17, 18, 19, 20 y 21, nuevamente por TOL se asigna la actividad 18, ahora se descarta la actividad 18 y las nuevas actividades elegibles son 17, 19, 20 y 21, por TOL se asigna la actividad 17, se continua así hasta que es asignada la actividad 20, quedando un tiempo disponible de 0.48 minutos y como no hay más actividades elegibles se cierra la estación.

Para la estación de trabajo no. 5.

La única actividad elegible es la actividad 22, con un tiempo de duración de 4.59 minutos, se asigna esta actividad y el tiempo disponible es de 0.36 minutos, a esta estación no se le pueden agregar más operaciones

Independientemente de que ninguna actividad cumple con el tiempo disponible y con las precedencias, la razón por la cual no pueden asignarse más operaciones

es por que esta actividad la realizan cuatro robots y por consiguiente no podrían asignarse más actividades.

Para la estación de trabajo no. 6.

Las actividades elegibles son las actividades 23, 24 y 25, por TOL se asigna la actividad 23 con un tiempo de duración de 2.96 minutos quedando un tiempo disponible de 1.99 minutos.

La actividad elegible es la actividad 25, se asigna quedando un tiempo disponible de 1.51 minutos y se cierra la estación, la actividad 24 no fue elegible debido a que se pasa por mucho del tiempo disponible, si se hubiera asignado esa actividad la eficiencia del operario se hubiera elevado a un 98.4 %, si no existiera la petición del sindicato si se hubiera podido asignar esa actividad.

Para la estación de trabajo no. 7.

Las actividades elegibles son las actividades 24, 26 y 28, por TOL se asigna la actividad 26 quedando un tiempo disponible de 1.98 minutos, se cierra la estación dado que no hay operaciones que se puedan asignar debido a las restricciones de precedencia y al tiempo disponible restante.

Para la estación de trabajo no. 8.

Las actividades elegibles son las actividades 24 y 28, por tiempo de operación más largo se asigna la actividad 28 quedando un tiempo disponible de 2.05 minutos, este paso se pudo ver omitido dado que la operación 28 es paralela a la

operación 26, y cuando se asignó esta última operación automáticamente también fue asignada la operación 28, sin embargo, se tuvo que abrir esta estación por que se le tiene que asignar la operación 28 a un operario diferente.

La actividad elegible es la actividad 29 siguiendo con las restricciones de precedencia, se asigna quedando un tiempo disponible de 0.72 minutos y se cierra la estación. La actividad 24 no fue elegible debido a que excede el tiempo disponible.

Para la estación de trabajo no. 9.

La única actividad elegible es la no. 24 así que se asigna, quedando un tiempo disponible de 2.18 minutos, la única actividad elegible ahora es la actividad 27, se asigna, por último se selecciona la actividad 30 que es la única actividad elegible, quedando un tiempo disponible de 0.81 minutos y se cierra la estación.

Para la estación de trabajo no. 10.

Por último se asigna la actividad 31 a esta estación de trabajo ya que es la actividad restante, quedando para esta estación un tiempo disponible de 1.27 minutos y se cierra la estación por que no hay más actividades por asignar.

Todo este procedimiento se observa en la tabla 4.5, brindando más comprensión sobre los pasos seguidos con esta técnica.

Estación	Act. elegibles	Act. seleccionada	Tpo. de Ope. de la act. elegida	Tpo acumulado	Tiempo disponible	Act. elegibles restantes
1	1, 4, 9, 13, 19, 20, 21, 23, 24,	1	0.38	0.38	4.57	4
1	2, 4	2	0.59	0.97	3.98	4
1	3, 4	3	1.33	2.3	2.65	4
1	4	4	0.35	2.65	2.3	-
1	5	5	1.19	3.84	1.11	-
1	6, 9	6	1.01	4.85	0.10	9
2	7, 9	9	1.46	1.46	3.49	7
2	7, 13	13	0.66	2.12	2.83	7
2	7	7	0.47	2.59	2.36	-
2	8	8	2.01	4.6	0.35	-
3	10, 14	10	2.15	2.15	2.8	14
3	11, 14	11	0.81	2.96	1.99	14
3	12, 14	12	0.47	3.43	1.52	14
3	14	14	0.42	3.85	1.10	-
4	16, 19, 20, 21	16	0.60	0.60	4.35	19, 20, 21
4	15, 17, 18, 19, 20, 21	15	1.52	2.12	2.83	17, 18, 19, 20, 21
4	17, 18, 19, 20, 21	18	1.0	3.12	1.83	17, 19, 20, 21
4	17, 19, 20, 21	17	0.70	3.82	1.13	19, 20, 21
4	19, 20, 21	21	0.32	4.14	0.81	19, 20
4	19, 20	19	0.17	4.31	0.64	20
4	20	20	0.16	4.47	0.48	-
5	22	22	4.59	4.59	0.36	-
6	23, 24, 25	23	2.96	2.96	1.99	24, 25
6	25	25	0.48	3.44	1.51	-
7	24, 26, 28	26	2.97	2.97	1.98	24, 28
8	24, 28	28	2.9	2.9	2.05	24
8	29	29	1.33	4.23	0.72	-
9	24	24	2.77	2.77	2.18	-
9	27	27	0.48	3.25	1.7	-
9	30	30	0.89	4.14	0.81	-
10	31	31	3.68	3.68	1.27	-

Tabla 4.5. Descripción de la asignación de actividades.

Se puede notar que no fue necesaria la utilización de la segunda regla puesto que no se presentaron empates al momento de decidir que actividad asignar. En caso de que se hubieran presentado empates en los tiempos de las actividades elegibles, lo que se tendría que hacer sería asignar la actividad que tuviera mayor número de tareas siguientes.

En la figura 4.3 se muestran cuales son las actividades que se deben realizar en cada estación de trabajo.

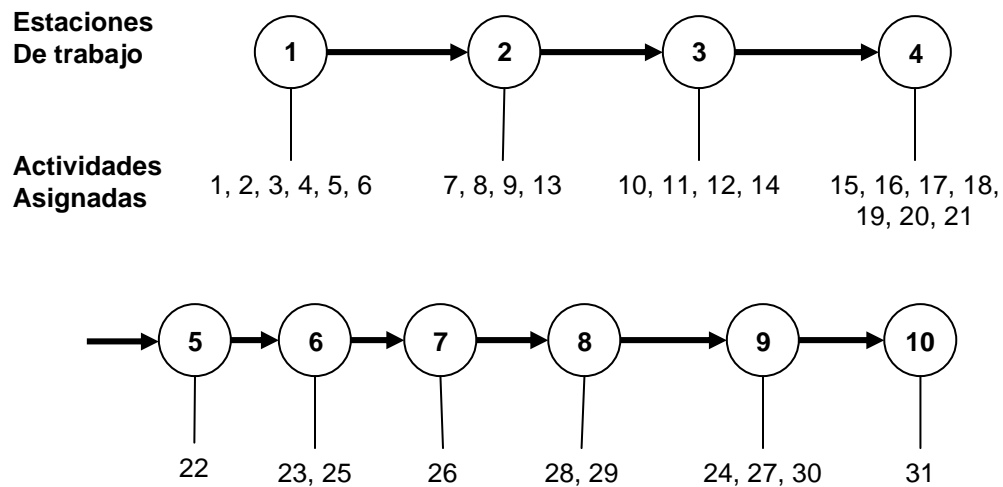


Figura 4.3. Diagrama de las actividades asignadas a cada estación.

En la tabla 4.6 se muestra la descripción de las actividades que se asignaron a cada estación de trabajo.

Estación de trabajo	Número de la actividad asignada	Descripción de la actividad.
1	1	Nut Weld a Cowl Top
	2	Stud Weld a Cowl Top
	3	S/E de Cowl Top
	4	Clinch a Dash Panel
	5	Soportes a Dash Panel

	6	Stud Weld a Dash Panel
2	7	Sello a Dash Panel
	8	Dash Panel vs Cowl Top
	9	Sello a Cowl Side (+/-)
	13	Sello de Piso
3	10	S/E de Frente
	11	Volteo de S/E de Frente
	12	Surtido de Frente
	14	Surtido de Piso
4	15	Punteo S/E de Frente y Piso
	16	Recibir Piso y S/E de Frente
	17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso
	18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso
	19	Surtir Hidroformado (+)
	20	Surtir Hidroformado (-)
	21	Surtir soporte de Radiador
5	22	Robots de Pisos
6	23	S/E de Back Panel
	25	Sello negro parte trasera
7	26	Preenclampado (-)
8	28	Preenclampado (+)
	29	Sello y colocación de Cowl Top Outer
9	24	S/E de Toldo
	27	Colocación de Toldo
	30	Colocación de Back Panel
10	31	Robots de Prensa Principal.

Tabla 4.6. Descripción de actividades asignadas.

2.2.5. Cálculo de la Eficiencia.

Después de realizar la asignación de actividades se continúa con el cálculo de la eficiencia para el balanceo propuesto, haciendo uso de la ecuación 4.8 obtenemos una eficiencia del 76.86 % para el balance de la línea con la asignación de actividades realizada anteriormente.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{(\text{número de estaciones de trabajo}) \times (\text{tiempo ciclo})}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{38.05}{10 \times 4.95} = 76.86 \%$$

Sin embargo, esta eficiencia no es la real, esta eficiencia es la que se obtiene considerando un tiempo ciclo de 4.95 minutos la cual se utilizó para hacer la asignación de las actividades con el fin de no asignar cargas de trabajo que provoquen una eficiencia mayor al 85 % por petición del sindicato.

La eficiencia real que se tiene en la línea es del 65.37 %, ya que el tiempo ciclo que se debe considerar para este cálculo es el de 5.82 minutos.

$$\text{Eficiencia} = \frac{38.05}{10 \times 5.82} = 65.37 \%$$

Para calcular la eficiencia por operario tenemos que considerar el tiempo de las operaciones asignadas a las estaciones de trabajo, que es el tiempo acumulado para cada estación, el tiempo productivo es resultante de la multiplicación del tiempo de operaciones asignadas por el volumen de producción, por otra parte la eficiencia por operario es el resultado de la división del tiempo productivo entre el tiempo disponible por día, que es de 460 minutos.

En la tabla 4.7 se muestra cual es la eficiencia de cada operario.

Operario	Tiempo de Operaciones Asignadas	Tiempo Productivo	Eficiencia Por Operario
1	4.85	383.15	83.29 %
2	4.6	363.4	79 %
3	3.85	304.15	66.11 %
4	4.47	353.13	76.76 %
5 (Robots)	4.59	362.61	78.82 %
6	3.44	271.76	59.07 %
7	2.97	234.63	51 %

8	4.23	334.17	72.64 %
9	4.14	327.06	71.1 %
10 (Robots)	3.68	290.72	63.2 %

Tabla 4.7. Eficiencias por operario.

Se considera que es un buen diseño de balance dado que:

1. Se satisface la capacidad de producción deseada.
2. La asignación de las actividades es técnicamente factible.
3. Es una línea eficiente considerando la petición del sindicato.

Si no existiera tal petición por parte del sindicato se podría hacer una asignación que proporcione mejores resultados, puesto que se podrían asignar más actividades, con esta petición se puede notar que se desperdician 52.2 segundos $((5.82-4.95) \times 60)$ por estación, aproximadamente 1 minuto, causando con esto la disminución en la eficiencia de la línea.

4.2.6. Buscar Mejoras Subsecuentes.

Es necesario buscar mejoras subsecuentes una vez realizado el balance, es este punto se pueden probar con diferentes heurísticas para llevar a cabo el balanceo con la finalidad de encontrar una mejor solución. Otra opción es con la utilización de los métodos para equilibrar las operaciones en las líneas de ensamble, se puede proponer al principio de las operaciones una distribución en las instalaciones en forma de U, con el propósito de que el operario asignado a la estación 1 reduzca sus recorridos y por consiguiente se elimine tiempo muerto por recorridos y la fatiga en el operario.

Por otro lado los operarios asignados a las estaciones 3 y 4 respectivamente, se pueden rolar sus actividades 1 día y 1 día, además se pueden dividir las operaciones y repartir sus cargas de trabajo para conseguir más eficiencia. En los operarios asignados a las estaciones 6, 7, 8 y 9 respectivamente se pueden aplicar los mismos métodos para poder conseguir más eficiencia, también es posible dejar que los operarios sean quienes se repartan las actividades una vez que se les explicó cuales son las actividades que deben realizar, ya que son ellos quienes saben quien es el mejor para cada operación además de que conocen las operaciones que se llevan a cabo en la línea.

4.2.7. Comparación del Método de Kilbridge y Wester con el Método de Helgeson y Birnie.

El método creado por Helgeson y Birnie también conocido como la Técnica de Peso Posicional Clasificado consta de las mismas etapas que se aplicaron en la técnica descrita anteriormente, la idea principal de esta técnica es asignar un peso o factor de ponderación a cada actividad, de acuerdo con los tiempos de las actividades siguientes a cada operación más el tiempo de la actividad en la cual se desea obtener su peso posicional, así la asignación de las actividades esta determinada por los pesos posicionales en vez de la aplicación del TOL o mayor número de tareas siguientes.

Las actividades y sus precedencias son las mismas que se utilizaron para la técnica anterior, el diagrama de precedencias también es el mismo, el número de las estaciones de trabajo que se deben considerar es el mismo que para la Técnica de Kilbridge y Wester que es de 8 estaciones de trabajo, lo mismo sucede con el tiempo ciclo que es de 4.95 minutos utilizado para la asignación de las actividades.

En esta técnica a diferencia de la descrita anteriormente se necesita del cálculo de los pesos posicionales para cada actividad, para calcular esos pesos posicionales o factor de ponderación se tiene que realizar una matriz de precedencias, para las actividades mostradas en la tabla 4.2, la matriz de precedencias es la que se muestra en la tabla 4.8. En esta matriz de precedencias mostrada en la tabla 4.8 el número 1 indica la relación “debe preceder”, además se pueden observar de manera clara cuales son las actividades que no tienen precedentes.

En esta matriz de precedencias se puede observar como es que la actividad 1 debe terminar antes de las actividades: 2, 3, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31, mientras que la actividad 2 debe terminar antes de: 3, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 y así sucesivamente.

Cálculo del Peso Posicional.

El cálculo del peso se obtiene sumando el tiempo de una operación con los tiempos de todas las operaciones que le siguen, puesto que el propósito de esta técnica es asignar en primer termino las operaciones que resulten con mayor valor en la sumatoria, el valor en esa sumatoria se conoce como Factor de ponderación.

Para la actividad 1, el factor de ponderación es el siguiente.

$$\sum_{1,2,3,8,10,11,12,15,16,17,18,22,25,26,27,28,29,30,31}.$$

$$\begin{aligned} \sum &= 0.38 + 0.59 + 1.33 + 2.01 + 2.15 + 0.81 + 0.47 + 1.52 + 0.60 + 0.70 + 1.0 + 4.59 \\ &\quad + 0.48 + 2.97 + 0.48 + 2.9 + 1.23 + 0.89 + 3.68 \\ &= 28.78 \end{aligned}$$

Para la actividad 2, el factor de ponderación es:

$$\sum_{2,3,8,10,11,12,15,16,17,18,22,25,26,27,28,29,30,31}$$

$$\begin{aligned}\sum &= 0.59 + 1.33 + 2.01 + 2.15 + 0.81 + 0.47 + 1.52 + 0.60 + 0.70 + 1.0 + 4.59 \\ &\quad + 0.48 + 2.97 + 0.48 + 2.9 + 1.23 + 0.89 + 3.68 \\ &= 28.4\end{aligned}$$

Se continúa de la misma manera para calcular el peso posicional de las demás actividades con la ayuda de la matriz de precedencias, posteriormente se crea una lista con los pesos posicionales de todas las actividades en orden descendente como la que se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.8. Matriz de Precedencias.

Act .	Actividad.																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1		1	1				1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
2			1				1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
3							1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
4				1	1	1	1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
5					1	1	1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
6						1	1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
7							1		1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
8									1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
9									1	1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
10										1	1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
11											1			1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
12														1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
13													1	1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
14														1	1	1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
15																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
16														1		1	1			1				1	1	1	1	1	1	1	1	
17																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
18																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
19																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
20																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
21																				1				1	1	1	1	1	1	1	1	
22																								1	1	1	1	1	1	1	1	
23																															1	1
24																															1	1
25																										1	1	1	1	1	1	1
26																											1		1	1	1	1
27																															1	1
28																												1		1	1	1
29																																
30																																1
31																																

Act.	Descripción	Peso Posicional	Duración	Precedencia
4	Clinch a Dash Panel	29.5	0.35	-
5	Soportes a Dash Panel	29.15	1.19	4
1	Nut Weld a Cowl Top	28.78	0.38	-
2	Stud Weld a Cowl Top	28.4	0.59	1
6	Stud Weld a Dash Panel	27.96	1.01	5
3	S/E de Cowl Top	27.81	1.33	2
7	Sello a Dash Panel	26.95	0.47	6
8	Dash Panel vs Cowl Top	26.48	2.01	3, 7
9	Sello a Cowl Side (+/-)	25.93	1.46	-
10	S/E de Frente	24.47	2.15	8, 9
11	Volteo de S/E de Frente	22.32	0.81	10
13	Sello a Piso	22.12	0.66	-
12	Surtido de Frente	21.51	0.47	11
14	Surtido de Piso	21.46	0.42	13
16	Recibir Piso y S/E de Frente	21.04	0.60	12, 14
15	Punteo de S/E de Frente vs Piso	18.74	1.52	16
18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso	18.22	1.0	16
17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso	17.92	0.70	16
21	Surtido de Soporte de Radiador	17.54	0.82	-
19	Surtido de Hidroformado (+)	17.39	0.17	-
20	Surtido de Hidroformado (-)	17.38	0.16	-
22	Robots de Piso	17.22	4.59	15, 17, 18, 19, 20, 21
25	Sello negro a Piso (Parte trasera)	12.63	0.48	22
26	Preenclampado (-)	9.25	2.97	25
28	Preenclampado (+)	9.18	2.9	25
24	S/E de Toldo	7.82	2.77	-
23	S/E de Back Panel	7.53	2.96	-
27	Colocación de Toldo	5.05	0.48	24, 26, 28
30	Colocación de Back Panel	4.57	0.64	23, 27
31	Robots de Prensa Principal	3.68	3.68	30
29	Sello y colocación de Cowl Top Outer	1.23	1.13	26, 28

Tabla 4.9. Lista de Pesos Posicionales.

A continuación se procede con la asignación de las actividades a las estaciones de trabajo, la manera de asignar las actividades es prácticamente la misma que

para la Técnica de Kilbridge y Wester pero con pequeñas variaciones como se describe a continuación.

1. Asignar las actividades de acuerdo con los pesos posicionales de cada actividad, asignando en primer lugar las actividades con mayor peso posicional o factor de ponderación.
2. Después de asignar una actividad a una estación, determinar cuanto tiempo no asignado queda en la estación.
3. Determinar si se pueden asignar otras actividades a la estación, en caso de que se puedan asignar más actividades hacer la asignación cuidando de no superar con el tiempo disponible para la estación y manteniendo las relaciones de precedencia.
4. Si no es posible asignar más actividades a una estación de trabajo, cerrar la estación y abrir una nueva para que se sigan asignando las actividades restantes.
5. Continuar con el proceso hasta que todas las actividades hayan sido asignadas a todas las estaciones de trabajo necesarias.

Si se llegara a presentar un empate se puede hacer uso de alguna heurística que ayude a romper con el empate. Una vez ordenadas las actividades en orden descendente de acuerdo a los pesos posicionales de cada actividad se procede con la asignación de las actividades a las estaciones de trabajo, a continuación se explica como es que se llevo a cabo dicha asignación.

Para la estación de trabajo no. 1.

Las actividades elegibles son las actividades 1 y 4, como la actividad 4 es la que cuenta con mayor peso posicional es esta la actividad que se asigna, quedando un tiempo disponible de 4.6 minutos, la actividad elegible restante es la 1.

Con la asignación de la actividad 4 las actividades elegibles son ahora las actividades 1 y 5, por mayor peso posicional se asigna la actividad 5, quedando un tiempo disponible 3.41 minutos.

Las actividades elegibles son ahora las actividades 1 y 6 por mayor peso posicional se asigna la actividad 1, con la asignación de esta actividad el tiempo disponible para esta estación es de 3.04 minutos.

Las actividades que podemos considerar para asignar son la actividad 2 y 6, por peso posicional asignamos la actividad 2, quedando un tiempo disponible de 2.44 minutos.

Continuamos con la asignación de la actividad 6, se seleccionó esta actividad por que de las actividades 3 y 6, la actividad 6 tiene mayor peso posicional, quedando un tiempo disponible de 1.43 minutos.

Las actividades elegibles son la 3 y 7, de igual manera por factor de ponderación se asigna la actividad 3, quedando un tiempo disponible de 0.10 minutos y se cierra la estación por que no hay ninguna actividad que cumpla con los requerimientos de precedencia y con el tiempo disponible.

Para la estación de trabajo no. 2.

Para esta estación de trabajo las actividades elegibles son las actividades 7 y 9, por peso posicional se asigna la estación 7, quedando un tiempo disponible de 4.48 minutos.

Las actividades elegibles que tenemos ahora son las actividades 8 y 9, por peso posicional asignamos la actividad 8, quedando un tiempo disponible en esta estación de 2.47 minutos.

Puesto que ya se asignó la actividad 8, ahora las actividades disponibles son las actividades 9 y 10, nuevamente por peso posicional se asigna la actividad 9, quedando un tiempo disponible de 1.01 minutos.

Las posibles actividades a asignar son las actividades 10 y 13, la actividad 10 es la que tiene mayor peso posicional pero no cumple con el tiempo disponible, así que se asigna la actividad 13, quedando un tiempo disponible de 0.35 minutos y se cierra la estación.

Para la estación de trabajo no. 3.

Las actividades elegibles son las actividades 10 y 14, por peso posicional se asigna la actividad 10 que tiene un tiempo de duración de 2.15 minutos, con esta asignación el tiempo disponible es de 2.8 minutos.

Las nuevas actividades elegibles son las actividades 11 y 14, nuevamente por mayor peso posicional se asigna la actividad 11, quedando un tiempo disponible de 1.99.

Las actividades elegibles para este paso son las actividades 12 y 14, por mayor peso posicional se asigna la actividad 12, quedando un tiempo disponible de 1.52 minutos.

La única actividad elegible es la 14 así que directamente esta es la actividad que se asigna, quedando un tiempo disponible de 1.10 minutos y se cierra esta estación, para este paso las actividades 19, 20 y 21 a pesar de que si cumplen con el tiempo disponible y con los requerimientos de precedencia no fueron elegibles por que como se asignó la actividad 10 el recorrido seria demasiado así que las actividades 19, 20 y 21 no cumplen con las restricciones de zona.

Para la estación de trabajo no. 4.

Para esta estación de trabajo las actividades elegibles son las actividades 16, 19, 20 y 21, por mayor peso posicional se asigna la actividad 16, quedando un tiempo disponible de 4.35 minutos, las actividades elegibles restantes son la 19, 20 y 21.

Como ya se asignó la actividad 16 ahora las actividades elegibles son la 15, 17, 18, 19, 20 y 21, nuevamente por peso posicional se asigna la actividad 15, quedando un tiempo disponible de 2.83 minutos.

Las actividades elegibles son las actividades 17, 18, 19, 20 y 21, por peso posicional se asigna la actividad 18, quedando un tiempo disponible de 1.83 minutos, las actividades disponibles son ahora las actividades 17, 19, 20, 21, por peso posicional se asigna la actividad 17 y se continua con este procedimiento hasta que sea asignada la actividad 20, quedando un tiempo disponible de 0.48 y se cierra la estación, no se asignan más actividades por que no se cumple con el tiempo disponible y con los requerimientos de precedencia.

Para la estación de trabajo no. 5.

La única actividad elegible es la actividad 22 así que se asigna quedando un tiempo disponible de 0.36 minutos y se cierra esta estación por que como es una actividad que realizan los robots no se les puede asignar alguna otra actividad.

Para la estación de trabajo no. 6.

Las actividades elegibles son las actividades 23, 24 y 25, por peso posicional se asigna la actividad 25, quedando un tiempo disponible de 4.47 minutos.

Como ya fue asignada la actividad 25, las nuevas actividades elegibles son la 23, 24, 26 y 28, por factor de ponderación se asigna la actividad 26 quedando un tiempo disponible de 1.5 minutos, se cierra la estación debido a que las posibles actividades a asignar rebasan el tiempo disponible.

Para la estación de trabajo no. 7.

Las actividades elegibles son las actividades 23, 24 y 28 por mayor peso posicional la actividad 28 es la que se asigna, quedando un tiempo disponible de 2.05 minutos. Nuevamente se pudo omitir este paso por que la actividad 28 es paralela con la actividad 26, pero se tiene que abrir esta estación para asignar a un operario diferente que se encargue de la actividad 28.

Las posibles actividades a asignar son las actividades 23, 24 y 29, las actividades con mayor peso posicional son 23 y 24 respectivamente, sin embargo, como estas actividades requieren de un tiempo de más de 2.05 minutos no se pueden asignar,

así que la actividad que se asigna es la actividad 29, quedando un tiempo disponible de 0.82 minutos, se cierra la estación por que no se pueden asignar más actividades por las restricciones de precedencia y por el tiempo disponible en la estación.

Para la estación de trabajo no. 8.

Las actividades elegibles son las actividades 23 y 24, por peso posicional se asigna la actividad 24 quedando un tiempo disponible de 2.18 minutos.

Como ya se asignaron las actividades 24, 26 y 28 se puede asignar la actividad 27, así que ahora las actividades elegibles son las actividades 23 y 27, por factor de ponderación se asigna la actividad 27, quedando un tiempo disponible de 1.7 minutos, se cierra la estación por que no hay actividades que se puedan asignar por el tiempo disponible que queda en la estación.

Para la estación de trabajo no. 9.

La única actividad elegible es la actividad 23 así que directamente se asigna, quedando un tiempo disponible de 1.99 minutos, posteriormente se asigna la actividad 30 ya que es la única actividad que cumple con los requerimientos de precedencia, quedando un tiempo disponible para la estación de 1.35 minutos, se cierra esta estación por que no se pueden asignar más actividades.

Para la estación de trabajo no. 10.

Por último se asigna la actividad 31 que es la única actividad que falta por asignar, quedando un tiempo disponible de 1.27 minutos en esta estación.

Con la utilización de esta técnica no fue necesario utilizar alguna heurística para romper los empates, todo el procedimiento que se explicó para la asignación de las actividades se muestra en la tabla 4.10.

Estación	Act. elegibles	Act. seleccionada	Tpo. de Ope. de la act. elegida	Tpo acumulado	Tiempo disponible	Act. elegibles restantes
1	1, 4	4	0.35	0.35	4.6	1
1	1, 5	5	1.19	1.54	3.41	1
1	1, 6	1	0.38	1.92	3.03	6
1	2, 6	2	0.59	2.51	2.44	6
1	3, 6	6	1.01	3.52	1.43	3
1	3, 7	3	1.33	4.85	0.10	7
2	7, 9	7	0.47	0.47	4.48	9
2	8, 9	8	2.01	2.48	2.47	9
2	9, 10	9	1.46	3.94	1.01	10
2	10, 13	13	0.66	4.6	0.35	10
3	10, 14	10	2.15	2.15	2.8	14
3	11, 14	11	0.81	2.96	1.99	14
3	12, 14	12	0.47	3.43	1.52	14
3	14	14	0.42	3.85	1.10	-
4	16, 19, 20, 21	16	0.60	0.60	4.35	19, 20, 21
4	15, 17, 18, 19, 20, 21	15	1.52	2.12	2.83	17, 18, 19, 20, 21
4	17, 18, 19, 20, 21	18	1.0	3.12	1.83	17, 19, 20, 21
4	17, 19, 20, 21	17	0.70	3.82	1.13	19, 20, 21
4	19, 20, 21	21	0.32	4.14	0.81	19, 20
4	19, 20	19	0.17	4.31	0.64	20
4	20	20	0.16	4.47	0.48	-
5	22	22	4.59	4.59	0.36	-
6	23, 24, 25	25	0.48	0.48	4.47	23, 24
6	23, 24, 26, 28	26	2.97	3.48	1.5	23, 24, 28
7	23, 24, 28	28	2.9	2.9	2.05	23, 24
7	23, 24, 29	29	1.23	4.13	0.82	23, 24
8	23, 24	24	2.77	2.77	2.18	23
8	23, 27	27	0.48	3.25	1.7	23
9	23	23	2.96	2.96	1.99	-
9	30	30	0.64	3.6	1.35	-
10	31	31	3.68	3.68	1.27	-

Tabla 4.10. Descripción de la asignación de actividades.

En la figura 4.4 se muestran cuales son las actividades que se deben realizar en cada estación de trabajo.

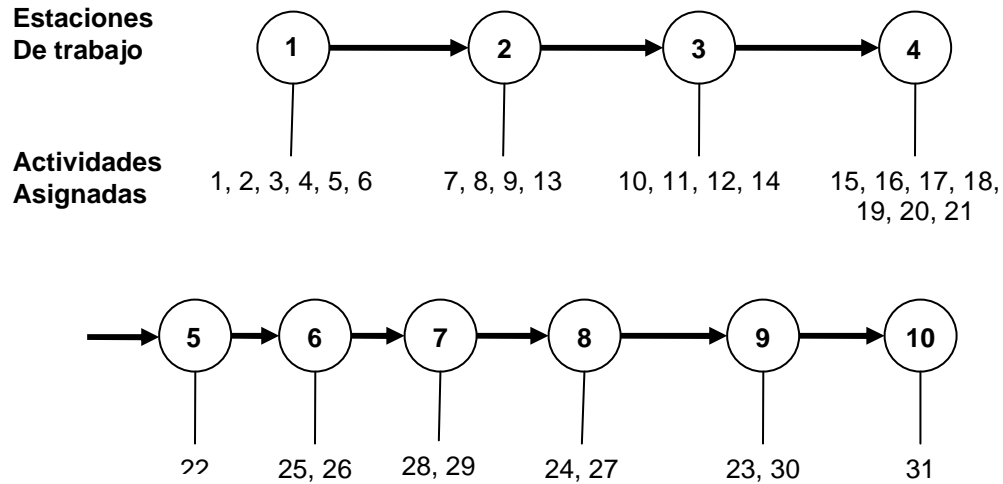


Figura 4.4. Diagrama de las actividades asignadas a cada estación.

En la tabla 4.11 se muestra la descripción de las actividades que se asignaron a cada estación de trabajo.

Estación de trabajo	Número de la actividad asignada	Descripción de la actividad.
1	1	Nut Weld a Cowl Top
	2	Stud Weld a Cowl Top
	3	S/E de Cowl Top
	4	Clinch a Dash Panel
	5	Soportes a Dash Panel
	6	Stud Weld a Dash Panel
2	7	Sello a Dash Panel
	8	Dash Panel vs Cowl Top
	9	Sello a Cowl Side (+/-)
3	13	Sello de Piso
	10	S/E de Frente
	11	Volteo de S/E de Frente
	12	Surtido de Frente
4	14	Surtido de Piso
	15	Punteo S/E de Frente y Piso
	16	Recibir Piso y S/E de Frente

	17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso
	18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso
	19	Surtir Hidroformado (+)
	20	Surtir Hidroformado (-)
	21	Surtir soporte de Radiador
5	22	Robots de Pisos
6	25	Sello negro parte trasera
	26	Preenclampado (-)
7	28	Preenclampado (+)
	29	Sello y colocación de Cowl Top Outer.
8	24	S/E de Toldo
	27	Colocación de Toldo
9	23	S/E de Back Panel
	30	Colocación de Back Panel
10	31	Robots de Prensa Principal.

Tabla 4.11. Descripción de actividades asignadas.

Cálculo de la Eficiencia.

Después de realizar la asignación de actividades se continua con el cálculo de la eficiencia igual que con las etapas que se explicaron anteriormente, haciendo uso de la ecuación 4.8 obtenemos una eficiencia del 76.86 % para el balance de la línea con la asignación de actividades realizada anteriormente.

$$\text{Eficacia} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{(\text{número de estaciones de trabajo}) \times (\text{tiempo ciclo})}$$

$$\text{Eficacia} = \frac{38.05}{10 \times 4.95} = 76.86 \%$$

Nuevamente esta eficiencia no es la real, esta eficiencia es la que se obtiene considerando un tiempo ciclo de 4.95 minutos la cual se utilizó para hacer la asignación de las actividades con el fin de no asignar cargas de trabajo que provoquen una eficiencia mayor al 85 % por petición del sindicato.

La eficiencia real que se tiene en la línea es del 65.37 %, ya que el tiempo ciclo que se debe considerar para este cálculo es el de 5.82 minutos.

$$\text{Eficacia} = \frac{38.05}{10 \times 5.82} = 65.37 \%$$

La eficiencia que se obtiene con Técnica de Kilbridge y Wester es la misma que se obtiene con la Técnica de Helgeson y Birnie puesto las estaciones de trabajo resultantes con las dos técnicas fueron las mismas. Para calcular la eficiencia por operario se realiza el mismo procedimiento que se realizó en la técnica anterior, se considera el tiempo de operaciones asignadas y el tiempo productivo para calcular la eficiencia por operario. En la tabla 4.12 se muestra cual es la eficiencia de cada operario.

Operario	Tiempo de Operaciones Asignadas	Tiempo Productivo	Eficiencia Por Operario
1	4.85	383.15	83.29 %
2	4.6	363.4	79 %
3	3.85	304.15	66.11 %
4	4.47	353.13	76.76 %
5 (Robots)	4.59	362.61	78.82 %
6	3.45	272.55	59.25 %
7	4.13	326.27	70.92 %
8	3.25	256.75	55.81 %
9	3.6	284.4	61.82 %
10 (Robots)	3.68	290.72	63.2 %

Tabla 4.12. Eficiencias por operario.

Se considera que es un buen diseño de balance dado que:

1. Se satisface la capacidad de producción deseada.
2. La asignación de las actividades es técnicamente factible.

3. Es una línea eficiente considerando la petición del sindicato.

Buscar Mejoras Subsecuentes.

Es necesario buscar mejoras subsecuentes una vez realizado el balance independientemente de la técnica utilizada, nuevamente se aconseja la utilización de los métodos para equilibrar las operaciones en las líneas de ensamble, además también se propone una distribución en las instalaciones en forma de U en las primeras operaciones como se mencionó con el método anterior, para reducir recorridos en el operario asignado a la estación 1.

Para los operarios encargados de las estaciones 3 y 4 la mejora es la división de sus operaciones tratando de encontrar el mejor aprovechamiento en esos operarios.

Para las estaciones 6, 7, 8 y 9 se pueden aplicar los mismos métodos para poder conseguir más eficiencia, en general las mejoras que se intenten realizar son las mismas ya que la asignación de las actividades a pesar de que varía un poco es muy parecida.

La eficiencia que se obtiene con estos dos métodos es la misma debido a que las estaciones de trabajo que se necesitan son las mismas, sin embargo, por medio de los yamazumis mostrados en el Apéndice E de la página 240, se puede apreciar que la técnica de peso posicional consigue un mejor equilibrio en los tiempos de las operaciones asignadas a cada estación de trabajo, los yamazumis mostrados en este apéndice no clasifican las actividades de acuerdo al tipo de valor para cada elemento de trabajo en cada actividad.

4.3. Balanceo de Línea para la Mezcla Futura.

Ya se realizó el balanceo de línea para el periodo que comprende los meses de Agosto y Septiembre con una demanda de 79 unidades considerando las concesiones otorgadas al sistema productivo en el Área de Carrocerías. Sin embargo, también se presenta a continuación el balanceo de líneas para el periodo que comprende los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.

Para llevar a cabo este balance se hace uso de las dos técnicas descritas anteriormente, que son la Técnica de Kilbridge y Wester utilizando heurísticas para la asignación de las actividades y la Técnica de Helgeson y Birnie por medio del factor de ponderación en las actividades para su asignación a las estaciones de trabajo.

4.3.1. Cálculo de las Estaciones de Trabajo.

Para calcular cual es el número de estaciones de trabajo, se tiene que calcular primero el tiempo ciclo conforme a la demanda que se necesita.

La demanda programada para el periodo que comprende los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre es de 83 unidades por día, sin embargo, como se otorga un 15% de concesión al sistema productivo, se tiene que cumplir con un volumen de producción de 95 unidades por día.

Con esta nueva demanda de 95 unidades y con 460 minutos disponibles por día, el tiempo ciclo que se debe considerar es de 4.84 minutos.

$$\text{Tiempo ciclo} = \frac{460 \text{ minutos}}{95 \text{ unidades}} = 4.84 \text{ minutos}$$

Nuevamente se le pide al Ingeniero Industrial que cada trabajador no tenga cargas de trabajo que superen una eficiencia del 85 % por cuestiones sindicales, por lo tanto, el tiempo ciclo que se debe considerar para cumplir con esa petición es de 4.11 minutos.

$$4.84 \times .85 = 4.11 \text{ minutos}$$

Para calcular cual es el número mínimo de estaciones de trabajo se tiene que contemplar la duración total de todas las tareas entre el tiempo ciclo necesario para satisfacer el volumen de producción, que es de 7.85 estaciones.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos} \times 95 \text{ unidades}}{460 \text{ minutos}} = 7.85 \text{ estaciones}$$

Si hacemos uso de la ecuación 4.6, el cálculo sería de la siguiente manera.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos}}{4.84 \text{ minutos}} = 7.86 \approx 8 \text{ estaciones}$$

Debido a que el tiempo ciclo que se va a considerar no es el real, para el cálculo de las estaciones de trabajo se tiene que tomar en cuenta un tiempo ciclo de 4.11 minutos, para esta situación nuestro número de estaciones de trabajo sería el siguiente.

$$\text{Número mínimo de estaciones} = \frac{38.05 \text{ minutos}}{4.11 \text{ minutos}} = 9.25 \approx 10 \text{ estaciones}$$

4.3.2. Aplicación del Método de Kilbridge y Wester.

Las heurísticas que se van a seleccionar como reglas de asignación son las siguientes:

- ❖ Regla primaria. Heurística del tiempo de operación más largo.
- ❖ Regla secundaria. Heurística de mayor número de tareas siguientes.

La lista de actividades y los requerimientos de precedencia son los mismos dado que no cambia el orden de llevar a cabo las operaciones, las actividades ordenadas en orden descendente son también las mismas como las que se muestran en la tabla 4.4.

A continuación se explica como es que se llevo a cabo la asignación de las actividades a las estaciones de trabajo considerando ahora un tiempo ciclo de 4.11 minutos originado por el incremento en la demanda.

Asignación de actividades a las estaciones de trabajo.

Las actividades que se pueden asignar a la estación 1 son las actividades que no tienen precedencia, como son las actividades 1, 4, 9, 13, 19, 20, 21, 23 y 24, pero por restricciones de zonificación o zona solo se pueden asignar las actividades 1 o 4, se asigna la actividad 1 por tiempo de operación más largo.

Se cuenta con un tiempo disponible para esta estación de 3.73 minutos, ahora tenemos que las actividades elegibles son la 2 y la 4, debido a que la actividad 1 ya fue asignada se puede considerar a la actividad 2 como elegible, por TOL se selecciona la actividad 2 para ser asignada, el tiempo disponible para esta estación es de 3.14 minutos.

Como ya se asignó la actividad 2, las actividades que se pueden elegir son las actividades 3 y 4, por TOL se asigna la actividad 3, el tiempo disponible para esta estación es de 1.81 minutos. La única actividad elegible para asignar es la número 4, así que se asigna esta actividad, una vez asignada la actividad 4 la única actividad elegible es la número 5, así que esta es la actividad que se asigna, el tiempo disponible para esta estación es de 0.27 minutos, como no hay ninguna actividad con ese tiempo se cierra la estación.

Para la estación de trabajo 2, las actividades que se asignan por TOL son las actividades 6, 9, 13, 7 respectivamente. Para la estación de trabajo 3 se asigna la actividad 8 por TOL, posteriormente entre las actividades 10 y 14 se asigna la actividad 10 también por TOL, la actividad 10 tiene un tiempo mayor que el tiempo disponible de 0.05 minutos que equivalen a 3 segundos, como es muy poco el tiempo que se excede se asignó la actividad 10 por que con esta asignación no se eleva mucho la eficiencia del operario.

Para la estación de trabajo 4 se asignan las actividades 11, 12 y 14 por tiempo de operación más largo, una vez asignadas las actividades 11, 12 y 14, en esta ocasión si se pueden asignar las actividades 19, 20 y 21 por que el operario que se asigne a esta estación se va a encargar únicamente del volteo de S/E de Frente y de surtidos de material, así que se asignan las actividades 21, 19 y 20 respectivamente por TOL.

Para la estación de trabajo no. 5 se asigna la actividad 16 ya que es la única actividad que cumple con los requerimientos de precedencia, posteriormente se asignan las actividades 15, 18 y 17 respectivamente por TOL.

Para la estación de trabajo no. 6 se asigna la actividad 22 por que es la única actividad que se puede asignar, en cuanto al tiempo disponible y a la eficiencia no existe ningún problema por que la actividad 22 la realizan los robots, es necesario

recordar que el tiempo ciclo real es de 4.84 minutos y la actividad necesita un tiempo de 4.59 minutos, sin embargo, si es necesario tomar en cuenta a esta operación como cuello de botella además de realizar un análisis sobre las condiciones que pueden presentarse debido al tiempo que se necesita para la actividad 22.

Para la estación de trabajo no. 7 se asignan las actividades 23 y 25 respectivamente por TOL, en la estación de trabajo no. 8 la única actividad que se asigna es la 26 y se cierra la estación por que no hay más actividades que cumplan con los requerimientos de precedencia.

Para la estación de trabajo no. 9 por TOL se asigna la actividad 28, posteriormente es asignada la actividad 29 a pesar de que se excede en 0.02 minutos con el tiempo disponible, la eficiencia para el operario que se asigne a esta estación de trabajo no se elevara a más del 86 %. Una vez más se pudo omitir este paso en la asignación de la actividad 28 pero se abre esta estación para asignar a un operario diferente.

Para la estación de trabajo no. 10 se asigna la actividad 24 y 27 respectivamente, posteriormente se asigna la actividad 30 a pesar de que excede con 0.03 minutos en el tiempo disponible para esta estación.

Por último se asigna la actividad 31 a la estación de trabajo no. 11 por que es la única actividad que falta por asignar.

Todo el procedimiento que se realizó para la asignación de las actividades se observa en la tabla 4.13 para que se pueda facilitar su comprensión sobre los pasos que se realizaron en la asignación de las actividades.

Estación	Act. elegibles	Act. seleccionada	Tpo. de Ope. de la act. elegida	Tpo acumulado	Tiempo disponible	Act. elegibles restantes
1	1, 4, 9, 13, 19, 20, 21, 23, 24,	1	0.38	0.38	3.73	4
1	2, 4	2	0.59	0.97	3.14	4
1	3, 4	3	1.33	2.3	1.81	4
1	4	4	0.35	2.65	1.46	-
1	5	5	1.19	3.84	0.27	-
2	6, 9	6	1.01	1.01	3.1	9
2	7, 9	9	1.46	2.47	1.64	7
2	7, 13	13	0.66	3.13	0.98	13
2	7	7	0.47	3.6	0.51	-
3	8, 14	8	2.01	2.01	2.1	14
3	10, 14	10	2.15	4.16	-0.05	14
4	11, 14	11	0.81	0.81	3.3	14
4	12, 14	12	0.47	1.28	2.83	14
4	14	14	0.42	1.7	2.41	-
4	19, 20, 21	21	0.32	2.02	2.09	19, 20,
4	19, 20,	19	0.17	2.19	1.92	20
4	20	20	0.16	2.35	1.76	-
5	16	16	0.60	0.60	3.51	-
5	15, 17, 18	15	1.52	2.12	1.99	17, 18
5	17, 18	18	1.0	3.12	0.99	17
5	17	17	0.70	3.82	0.29	-
6	22	22	4.59	4.59	-0.48	-
7	23, 24, 25	23	2.96	2.96	1.15	24, 25
7	24, 25	25	0.48	3.44	0.67	24
8	24, 26, 28	26	2.97	2.97	1.14	24, 28
9	24, 28	28	2.9	2.9	1.21	24
9	24, 29	29	1.23	4.13	-0.02	24
10	24	24	2.77	2.77	1.34	-
10	27	27	0.48	3.25	0.86	-
10	30	30	0.89	4.14	-0.03	-
11	31	31	3.68	3.68	0.43	-

Tabla 4.13. Descripción de la asignación de actividades.

Para este análisis de balanceo de líneas no fue necesario la utilización de la segunda regla puesto que no se presentaron empates al momento de decidir que actividad asignar.

En la figura 4.5 se muestran cuales son las actividades que se deben realizar en cada estación de trabajo.

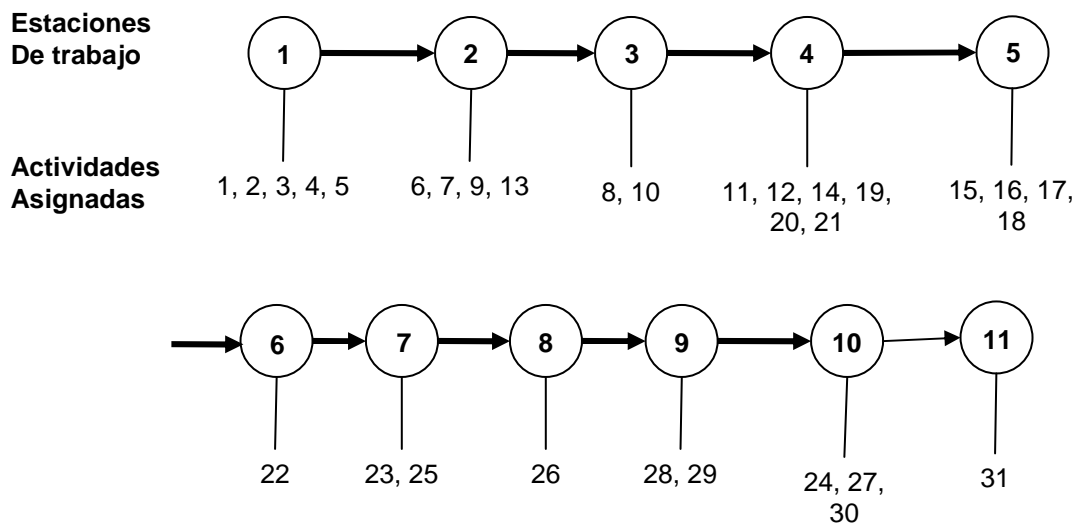


Figura 4.5. Diagrama de las actividades asignadas a cada estación.

En la tabla 4.14 se muestra la descripción de las actividades que se asignaron a cada estación de trabajo.

Estación de trabajo	Número de la actividad asignada	Descripción de la actividad.
1	1	Nut Weld a Cowl Top
	2	Stud Weld a Cowl Top
	3	S/E de Cowl Top
	4	Clinch a Dash Panel
	5	Soportes a Dash Panel
2	6	Stud Weld a Dash Panel
	7	Sello a Dash Panel
	9	Sello a Cowl Side (+/-)

	13	Sello de Piso
3	8	Dash Panel vs Cowl Top
	10	S/E de Frente
4	11	Volteo S/E de Frente
	12	Surtido de Frente
	14	Surtido de Piso
	19	Surtir Hidroformado (+)
	20	Surtir Hidroformado (-)
5	21	Surtir soporte de Radiador
	15	Punteo S/E de Frente y Piso
	16	Recibir Piso y S/E de Frente
	17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso
6	18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso
	22	Robots de Pisos
7	23	S/E de Back Panel
	25	Sello negro a parte trasera
8	26	Preenclampado (+)
9	28	Preenclampado (-)
	29	Sello y colocación de Cowl Top Outer.
10	24	S/E de Toldo
	27	Colocación de Toldo
	30	Colocación de Back Panel
11	31	Robots de Prensa Principal.

Tabla 4.14. Descripción de actividades asignadas.

Cálculo de la Eficiencia.

Después de realizar la asignación de actividades se continua con el cálculo de la eficiencia para el balanceo propuesto, la eficiencia para este balanceo es del 84.16 % con la asignación de actividades como se propone.

$$\text{Eficacia} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{(\text{número de estaciones de trabajo}) \times (\text{tiempo ciclo})}$$

$$\text{Eficacia} = \frac{38.05}{11 \times 4.11} = 84.16 \%$$

Esta eficiencia no es la real, esta eficiencia es la que se obtiene considerando un tiempo ciclo de 4.11 minutos para la asignación de las actividades con el fin de no

asignar cargas de trabajo que provoquen una eficiencia mayor al 85 % por petición del sindicato.

La eficiencia real que se tiene en la línea es del 71.46 %, ya que el tiempo ciclo que se debe considerar para este cálculo es de 4.84 minutos.

$$\text{Eficiencia} = \frac{38.05}{11 \times 4.84} = 71.46 \%$$

A continuación se presentan las eficiencias que se tienen por operario considerando las actividades asignadas a cada estación, como se muestra en la tabla 4.15. En la tabla 4.15 se puede observar cual es la eficiencia para los operarios asignados a las estaciones 3, 9 y 10 en donde se asignaron actividades que superaban el tiempo disponible por no más de 0.05 minutos.

Operario	Tiempo de Operaciones Asignadas	Tiempo Productivo	Eficiencia Por Operario
1	3.84	364.8	79.3 %
2	3.6	342	74.34 %
3	4.16	395.2	85.91 %
4	2.35	223.25	48.53 %
5	3.82	362.9	78.89 %
6 (Robots)	4.59	436.05	94.79 %
7	3.44	326.8	71.04 %
8	2.97	282.15	61.33 %
9	4.13	392.35	85.29 %
10	4.14	393.3	85.5 %
11 (Robots)	3.68	349.6	76 %

Tabla 4.15. Eficiencias por operario.

Se considera que es un buen diseño de balance dado que:

1. Se satisface la capacidad de producción deseada.

2. La asignación de las actividades es técnicamente factible.
3. Es una línea eficiente considerando la petición del sindicato.

Nuevamente en el balance realizado para este incremento en el volumen de producción si no existiera la petición del sindicato se podría hacer una asignación que proporcione mejores resultados, pudiéndose asignar más actividades a las estaciones de trabajo, con esta petición se puede notar que se desperdician 43.8 segundos $((4.84 - 4.11) \times 60)$ por estación, causando con esto la disminución en la eficiencia de la línea.

4.3.3. Aplicación del Método de Helgeson y Birnie.

Para poder comparar los resultados obtenidos con la técnica anterior se presenta a continuación el balanceo de líneas por medio de la Técnica de Peso Posicional creada por Helgeson y Birnie.

Las actividades y los requerimientos de precedencia son los mismos que se han estado utilizando, esas actividades y sus precedencias únicamente cambian cuando se realizan cambios de ingeniería y cuando es necesario modificar las cargas de trabajo en las QPS's. La matriz de precedencia y los pesos posicionales para cada actividad son los mismos también, la lista de actividades con los pesos posicionales ordenados en orden descendente que se va a utilizar por lo tanto va a ser la mostrada en la tabla 4.8.

La manera de asignar las actividades es la misma que se utilizó con una demanda de 79 unidades utilizando esta misma técnica, pero se menciona nuevamente para evitar confusiones al momento de hacer la asignación de las actividades.

1. Asignar las actividades de acuerdo con los pesos posicionales de cada actividad, asignando en primer lugar las actividades con mayor peso posicional o factor de ponderación.
2. Después de asignar una actividad a una estación, determinar cuanto tiempo no asignado queda en la estación.
3. Determinar si se pueden asignar otras actividades a la estación, en caso de que se puedan asignar más actividades hacer la asignación cuidando de no superar con el tiempo disponible para la estación y manteniendo las relaciones de precedencia.
4. Si no es posible asignar más actividades a una estación de trabajo, cerrar la estación y abrir una nueva para que se sigan asignando las actividades restantes.
5. Continuar con el proceso hasta que todas las actividades hayan sido asignadas a todas las estaciones de trabajo necesarias.

A continuación se describe la manera de realizar la asignación de las actividades tomando en cuenta una demanda de 95 unidades, por lo cual se tiene que realizar la asignación de las actividades con un tiempo ciclo de 4.11 minutos para poder cumplir con la petición del sindicato.

Asignación de actividades a las estaciones de trabajo.

Para la estación de trabajo no. 1 se asignan las actividades 4, 5, 1, 2, 6 y 7 respectivamente, la actividad 3 no se asigna debido a que su tiempo de operación rebasa el tiempo disponible.

Para la estación de trabajo no. 2 se asigna la actividad 3 y 8 respectivamente por sus pesos posicionales, quedando un tiempo disponible de 0.77 minutos, para la estación 3 las actividades que se asignan son la 9 y 10 cumpliendo con las restricciones de precedencia y de acuerdo a los factores de ponderación.

Para la estación no. 4 se asignan las actividades 11, 13, 12 y 14 respectivamente, nuevamente tomando en cuenta los pesos posicionales, una vez asignadas estas actividades se asignan las actividades 21, 19 y 20 respectivamente, quedando en esta estación un tiempo disponible de 1.1 minutos.

Para la estación de trabajo no. 5 se asigna primeramente la actividad 16 ya que es esta la actividad que se puede asignar, posteriormente las actividades 15, 18 y 17 se asignan a esta estación de acuerdo con sus pesos posicionales.

Para la estación no. 6 la única actividad que se puede asignar es la actividad 22, la misma situación se presenta que en la técnica de Kilbridge y Wester, se supera el tiempo disponible pero como esta actividad la realizan los robots no existe problema en cuanto a su eficiencia, nuevamente se hace la indicación de que esta es considerada operación cuello de botella, así que será necesario ver la manera de acortar el tiempo en la actuación de los robots, en especial en el tiempo del robot que tarda más en realizar sus operaciones.

Para la estación de trabajo no. 7 se asignan las actividades 25 y 26 de acuerdo a sus pesos posicionales. Para la estación no. 8 la actividad que se asigna es la actividad 28, posteriormente se asigna la actividad 29 aunque se supera el tiempo disponible en 0.02 minutos, ya que con estas actividades no se eleva demasiado la eficiencia del operario asignado a esta estación. Al asignar la actividad 26 queda asignada también la actividad 28, pero incluso si se realizara la operación por separado, es decir, sin considerar que son paralelas, la asignación de las actividades no sufriría ninguna alteración.

Para la estación de trabajo no. 9 se asignan las actividades 24 y 27 respectivamente considerando sus pesos posicionales, quedando un tiempo disponible de 0.86 minutos para esta estación. Para la estación de trabajo no. 10 primero se asigna la estación 23 ya que es la única actividad que cumple con los requerimientos de precedencia, posteriormente se asigna la actividad 30 una vez que se ha asignado la actividad 23, quedando en la estación un tiempo disponible de 0.51 minutos.

Por último se asigna la actividad 31 a la estación de trabajo no 11 puesto que esta es la única actividad que falta por asignar, como la duración de esta actividad es de 3.68 minutos el tiempo disponible que queda para esta estación es de 0.43 minutos.

En la tabla 4.16 se presenta todo el procedimiento que se siguió para poder realizar la asignación de actividades con la técnica de peso posicional clasificado.

Estación	Act. elegibles	Act. seleccionada	Tpo. de Ope. de la act. elegida	Tpo acumulado	Tiempo disponible	Act. elegibles restantes
1	1, 4	4	0.35	0.35	3.76	1
1	1, 5	5	1.19	1.54	2.57	1
1	1, 6	1	0.38	1.92	2.19	6
1	2, 6	2	0.59	2.51	1.6	6
1	3, 6	6	1.01	3.52	0.59	3
1	3, 7	7	0.47	3.99	0.12	7
2	3, 9	3	1.33	1.33	2.78	9
2	8, 9	8	2.01	3.34	0.77	9
3	9, 13	9	1.46	1.46	2.65	10
3	10, 13	10	2.15	3.61	0.50	10
4	11, 13	11	0.81	0.81	3.3	14
4	12, 13	13	0.66	1.47	2.64	14
4	12, 14	12	0.47	1.94	2.17	14
4	14	14	0.42	2.36	1.75	-
4	19, 20, 21	21	0.32	2.68	1.43	19, 20, 21
4	19, 20	19	0.17	2.85	1.26	17, 18, 19, 20, 21
4	20	20	0.16	3.01	1.1	17, 19,

						20, 21
5	16	16	0.60	060	3.51	19, 20, 21
5	15, 17, 18	15	1.52	2.12	1.99	19, 20
5	17, 18	18	1.0	3.12	0.99	20
5	17	17	0.70	3.82	0.29	-
6	22	22	4.59	4.59	-0.48	-
7	23, 24, 25	25	0.48	0.48	3.63	23, 24
7	23, 24, 26, 28	26	2.97	3.45	0.66	23, 24, 28
8	23, 24, 28	28	2.9	2.9	1.21	23, 24
8	23, 24, 29	29	1.23	4.13	-0.02	23, 24
9	23, 24	24	2.77	2.77	1.34	23
9	23, 27	27	0.48	3.25	0.86	23
10	23	23	2.96	2.96	1.15	-
10	30	30	0.64	3.6	0.51	-
11	31	31	3.68	3.68	0.43	-

Tabla 4.16. Descripción de la asignación de actividades.

En la figura 4.6 se muestran cuales son las actividades que se deben realizar en cada estación de trabajo.

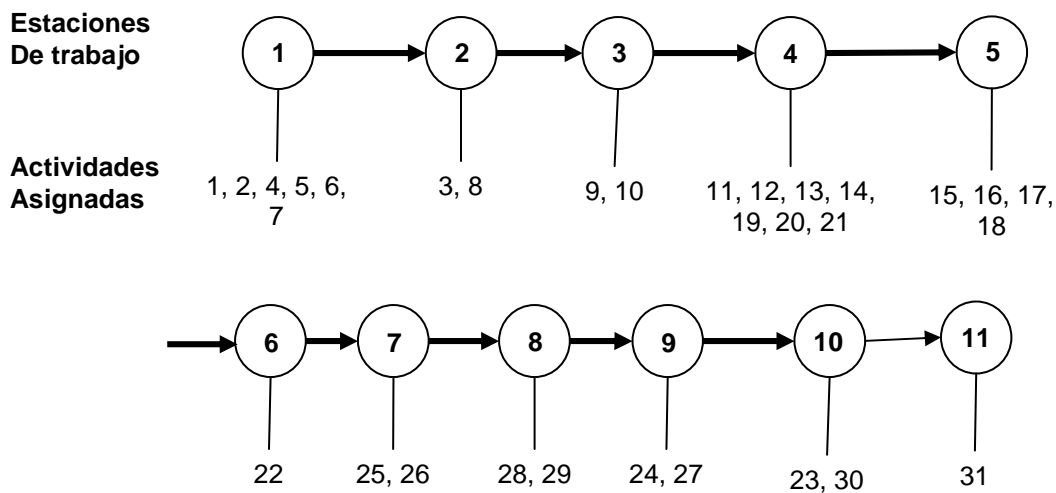


Figura 4.6. Diagrama de las actividades asignadas a cada estación.

En la tabla 4.17 se muestra la descripción de las actividades que se asignaron a cada estación de trabajo.

Estación de trabajo	Número de la actividad asignada	Descripción de la actividad.
1	1	Nut Weld a Cowl Top
	2	Stud Weld a Cowl Top
	4	Clinch a Dash Panel
	5	Soportes a Dash Panel
	6	Stud Weld a Dash Panel
	7	Sello a Dash Panel
2	3	S/E de Cowl Top
	8	Dash Panel vs Cowl Top
3	9	Sello Cowl Side (+/-)
	10	S/E de Frente
4	11	Volteo de S/E de Frente
	12	Surtido de Frente
	13	Sello de Piso
	14	Surtido de Piso
	19	Surtir Hidroformado (+)
	20	Surtir Hidroformado (-)
5	21	Surtir soporte de Radiador
	15	Punteo S/E de Frente y Piso
	16	Recibir Piso y S/E de Frente
	17	Punteo Cowl Side (+) vs Piso
6	18	Punteo Cowl Side (-) vs Piso
	22	Robots de Pisos
7	25	Sello negro parte trasera
	26	Preenclampado (-)
8	28	Preenclampado (+)
	29	Sello y colocación de Cowl Top Outer
9	24	S/E de Toldo
	27	Colocación de Toldo
10	23	S/E de Back Panel
	30	Colocación de Back Panel
11	31	Robots de Prensa Principal.

Tabla 4.17. Descripción de actividades asignadas.

Cálculo de la Eficiencia.

La eficiencia obtenida con esta técnica es la misma que la que se obtuvo por medio de heurísticas, dando como resultado una eficiencia de 84.16 %.

$$\text{Eficacia} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{(\text{número de estaciones de trabajo}) \times (\text{tiempo ciclo})}$$

$$\text{Eficacia} = \frac{38.05}{11 \times 4.11} = 84.16 \%$$

La eficiencia real que se tiene en la línea es del 71.46 %, ya que el tiempo ciclo que se debe considerar para este cálculo es el de 4.84 minutos.

$$\text{Eficacia} = \frac{38.05}{11 \times 4.84} = 71.46 \%$$

A continuación en la tabla 4.18 se presenta la eficiencia para cada operario con esta asignación de las actividades a las estaciones de trabajo. Se puede observar que para la estación 8 no se eleva la eficiencia a más del 86 %, mientras que en la actividad 22 que realizan los robots la eficiencia es del 94.79 %.

Operario	Tiempo de Operaciones Asignadas	Tiempo Productivo	Eficiencia Por Operario
1	3.99	379.05	82.4 %
2	3.34	317.3	68.97 %
3	3.61	342.95	74.55 %
4	3.01	285.95	62.16 %
5	3.82	362.9	78.89 %
6 (Robots)	4.59	436.05	94.79 %
7	3.45	327.75	71.25 %
8	4.13	392.35	85.29 %
9	3.25	308.75	67.11 %
10	3.6	342	74.34 %
11 (Robots)	3.68	349.6	76 %

Tabla 4.18. Eficiencias por operario.

Se considera que es un buen diseño de balance dado que:

1. Se satisface la capacidad de producción deseada.
2. La asignación de las actividades es técnicamente factible.
3. Es una línea eficiente considerando la petición del sindicato.

Una vez realizado el balance utilizando los dos métodos descritos en este capítulo, se puede observar que para el balanceo de línea para el periodo de Octubre – Noviembre – Diciembre también se consigue un mejor equilibrio en los tiempos de las actividades asignadas a cada estación de trabajo por medio de la Técnica de Peso Posicional Clasificado, como sucedió con el balance realizado para el periodo de Agosto – Septiembre.

En el Apéndice E se muestran los yamazumis de las estaciones de trabajo para cada técnica empleada y para cada volumen de producción, recordando que los yamazumis mostrados en este apéndice no clasifican las actividades de acuerdo al tipo de valor para cada elemento de trabajo en cada actividad, sin embargo, en el desglose de las actividades mostrado en el Apéndice B, los elementos de trabajo si muestran el tipo de valor para cada operación que se realiza en las líneas de ensamble de las carrocerías.

RESUMEN.

Una de las actividades más importantes que debe realizar un Ingeniero Industrial es mantener eficiente el sistema productivo en cualquier empresa, para conseguir esa eficiencia en la distribución de planta orientada al producto se deben tomar en cuenta varios aspectos que se presentan debido a la naturaleza del producto y a la manera de llevar a cabo las operaciones en las líneas de ensamble. Contar con los conocimientos básicos es indispensable pero lo más importante es saberlos aplicar en forma correcta para poder realizar el balanceo de las líneas de manera eficiente, no es necesario contar con el software más sofisticado si no se toman en cuenta todos los factores que se presentan en las líneas de ensamble, balancear las líneas con técnicas manuales basadas en el ensayo y error puede resultar tan viable como se desee, siempre y cuando el sistema productivo así lo permita.

Con el propósito de dar a conocer las herramientas básicas y los conocimientos necesarios se presenta en el capítulo I la distribución de planta en las líneas de ensamble, así como el manejo de materiales y la seguridad e higiene que se debe tener en las líneas , en el capítulo II se trata el estudio de tiempos dado que es una herramienta necesaria e indispensable para todo Ingeniero Industrial, en el capítulo III se mencionan las técnicas que se pueden emplear para conseguir el balanceo en las líneas, así como también se mencionan los métodos para conseguir más eficiencia en las operaciones y los principios básicos con que deben contar las líneas de ensamble, se mencionan también de manera clara y breve algunas técnicas que son necesarias para conseguir la eliminación de desperdicios como lo son la utilización de los Yamazumi Board, los sistemas de empuje y jalón y el sistema de tarjetas Kanban. Por último en el capítulo IV se describen los métodos manuales más utilizados para realizar el balanceo de líneas de ensamble considerando una mezcla en el volumen de producción para el mismo producto.

CONCLUSIONES.

El presente trabajo de tesis cumplió con las expectativas, dado que otorga información necesaria para el diseño adecuado del balanceo de líneas de ensamble, la cual es muy útil tanto para estudiantes como para profesionistas debido a que toda la información plasmada en este trabajo se obtuvo a partir de datos y situaciones reales en una empresa del ramo automotriz. Se hace hincapié sobre el manejo de materiales dado que para las líneas de ensamble es fundamental, se debe contar con un buen sistema que ayude a facilitar la manipulación de todos los materiales, desde la materia prima hasta los productos que se obtienen conforme avanzan por la línea, se mencionan los factores a considerar para la elección del equipo en el manejo de materiales, dado que la falta de cualquier componente en cualquier centro de trabajo ocasionaría un paro no deseado trayendo consigo tiempo muerto en las estaciones de trabajo.

Por otra parte el estudio de tiempos es pieza clave para poder desarrollar un balance adecuado en las líneas, es muy importante contar con un buen criterio para la realización del estudio de tiempos puesto que los datos a partir de este estudio son también fuente principal en cualquier sistema productivo, la importancia del estudio de tiempos radica en la exactitud del estudio para poder mejorar los métodos con que se realizan las operaciones en las líneas de ensamble consiguiendo así más eficiencia en las operaciones. Es muy importante dar a conocer los principios básicos en las líneas de ensamble y los métodos para mejorar las operaciones, es por eso que se hace por medio de explicaciones a base de ejemplos reales, sin duda alguna este trabajo brinda información muy útil sobre la manera de conseguir más eficiencia en las distribuciones de planta orientadas al producto. Sin embargo, es necesario conocer más afondo todas las herramientas necesarias para el balanceo correcto de las líneas, además de situaciones que se pueden presentar debido a la naturaleza del producto.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Balanceo de líneas. Es la asignación de todas las tareas a una serie de estaciones de trabajo, de manera tal que ninguna de ellas tenga más trabajo del que puede hacer en el tiempo del ciclo y que minimice la inactividad en todas las estaciones.

Carga de trabajo. Se le conoce como carga de trabajo a todas las actividades que el trabajador tiene que realizar para fabricar una parte específica del producto.

Centros de trabajo. Es el área de una empresa en la cual los recursos productivos se organizan para llevar a cabo una actividad, puede ser una sola máquina o incluso dos o tres máquinas en donde se realice un determinado tipo de trabajo.

Cuello de botella. De todas las estaciones de trabajo en una línea de ensamble la operación que requiere de más tiempo en todas las operaciones es considerada la operación cuello de botella. Es un recurso que no tiene la capacidad de satisfacer la demanda, puede ser una máquina, mano de obra o una herramienta.

Distribución de planta. Es la configuración de los departamentos, centros de trabajo y la disposición de los equipos que conforman el proceso de producción en cada departamento, grupo de trabajo o en la planta en general. Es la distribución física de todos los recursos involucrados para fabricar un producto.

Eficiencia. Es la virtud y la facultad para lograr una determinada actividad, aprovechando lo más posible todos los recursos que se necesiten en dicha actividad.

Elemento de trabajo. Es la parte delimitada de una tarea u operación que se puede seleccionar para facilitar la observación, la medición y análisis. La unión de los elementos de trabajo conforma una carga de trabajo.

Equipo de protección individual. Son los artefactos, la ropa apropiada y necesaria para proteger cualquier porción del cuerpo con el fin de evitar accidentes durante las horas de trabajo.

Estaciones de trabajo. Es un grupo de centros de trabajo u operaciones que se asignan y agrupan con el objetivo de equilibrar el tiempo en todas las operaciones, para generar un flujo continuo en los productos a medida que pasan a lo largo toda la línea de ensamble.

Estudio de tiempos. Es el análisis de las operaciones para poder determinar el tiempo necesario para realizar una tarea específica por un trabajador calificado, siguiendo una secuencia preestablecida en esa operación con la ayuda de un cronómetro por lo regular.

Factor de calificación. Conocido también como calificación de desempeño es la calificación que se otorga a un trabajador para realizar sus operaciones, considerando varios factores como pueden ser: habilidad, esfuerzo, consistencia y condiciones al momento realizar el estudio de tiempos.

Flexibilidad. Es la habilidad de ajustarse rápidamente al volumen de producción originado por las demandas del cliente.

Flujo de Material Sincronizado. Es un proceso o sistema que produce un flujo continuo de material y productos, impulsado por un programa fijo, en secuencia y nivelado de productos, usando los conceptos de flexibilidad y manufactura esbelta.

Es entregar los materiales y productos correctos en el lugar correcto, en el momento correcto y en la cantidad y calidad correcta.

Flujo continuo de material y productos. Son embarques pequeños y más frecuentes que reducen los niveles de inventario.

Grupos de trabajo. Un grupo de trabajo esta constituido por varios centros de trabajo u operaciones organizados para realizar una parte especifica de un producto.

Heurístico. Es un procedimiento de simplificación en el cual se aplica un conjunto de reglas sistemáticamente, su resultado es el descubrimiento de una solución satisfactoria para un problema. Es la solución de problemas mediante procedimientos y reglas, más que por optimización matemática. Es un método de ensayo y error para acercarse a la solución de un problema, no garantiza llegar a la solución pero puede acelerar el proceso de hallarla.

Kanban. Es un sistema de tarjetas empleado para controlar los movimientos y la producción de materiales en el área de trabajo, dentro de un sistema de manufactura sin existencias.

Línea de ensamble. Son los recursos, equipo, maquinaria y personal con los que se cuenta para poder armar o ensamblar un producto y que además están ordenados de manera lineal.

Manufactura esbelta. La manufactura esbelta pretende la eliminación de desperdicios en todas las áreas de producción incluyendo las relaciones con el cliente, diseño del producto, red de proveedores y gerencia. Su objetivo es conseguir menor esfuerzo humano, menos inventario, menor tiempo de desarrollo de productos y menor espacio para lograr una gran capacidad de respuesta a la

demanda del cliente a la vez que se producen productos de la más alta calidad, de la forma más eficiente y económica posible

Método probabilístico. El método probabilístico emplea tiempos derivados de la estadística como son la utilización del tiempo optimista, tiempo pesimista y el tiempo más probable, son tiempos cuyo origen parte de la estadística.

Mezcla de Productos. Es la combinación de las unidades que se manufacturan a medida que pasan por la línea, pudiéndose presentar una mezcla de 2 a 1 o incluso una mezcla con más variación.

Modelo determinístico. Los modelos determinísticos tienen la peculiaridad de que los tiempos utilizados en él son tiempos estimados, en este modelo se contemplan únicamente tiempos reales y no probables.

Ponderación. Es asignar un peso a cada tarea con base en el tiempo total requerido por todas las tareas posteriores a ella.

Productividad. Es el cociente entre la cantidad producida y la cuantía de los recursos que se hayan empleado en la manufactura del producto. Es la relación entre producción e insumo.

QPS. Son los Sistemas del Proceso de la Calidad en los productos, llevando un proceso estandarizado dentro de cada operación o centro de trabajo, en la industria automotriz se puede definir como la secuencia de construcción del vehículo o carrocería, asegurando la calidad con el mejor método para realizar el trabajo documentando todos los estándares de seguridad, sirve también para el adiestramiento en piso hacia los trabajadores.

Restricciones de precedencia. Es la especificación del orden en que se deben ejecutar las operaciones para conseguir progresivamente la manufactura del producto, conocido también como relación de precedencia.

Sistema de empujar. Es un sistema de producción en donde las partes se hacen para cumplir con un programa determinado y luego se les envía hacia la siguiente etapa o a formar parte del almacén en espera de un procesamiento posterior.

Sistema de jalar. Es un sistema de manufactura que implica que las partes se hagan solo cuando son requeridas por los consumidores, por lo que las partes y los materiales son obtenidos o jalados a lo largo del sistema debido a las demandas de ellas por los consumidores.

Takt time. Es el tiempo en que el producto debe permanecer o pasar en las estaciones de trabajo para cubrir la demanda originada por el cliente sin tomar en cuenta las concesiones en las operaciones.

Tiempo ciclo. Es el tiempo máximo en que el producto debe permanecer en las estaciones de trabajo para satisfacer el nivel deseado de producción, se pueden considerar concesiones para el cálculo del tiempo ciclo. Es el tiempo entre las unidades terminadas que salen de la línea de ensamble.

Tiempo estándar. Es el tiempo necesario para realizar una operación tomando en cuenta el factor de calificación y las concesiones que se le otorgan al trabajador al momento de realizar el estudio de tiempos.

Tiempo normal. Es el tiempo necesario para realizar una operación considerando la calificación de actuación del trabajador.

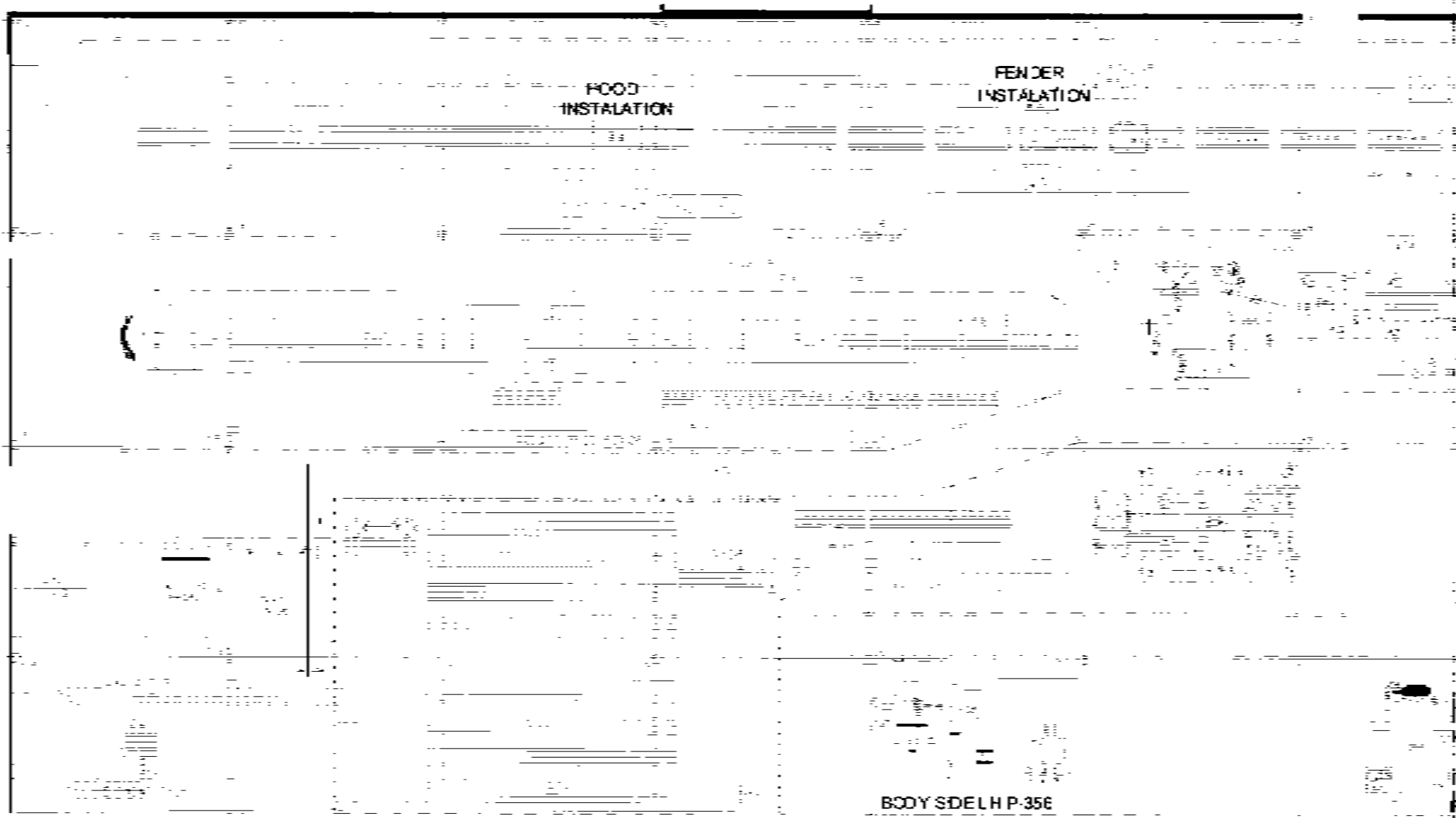
Tiempo ocioso. Es el tiempo de inactividad que se tiene en las líneas de producción cuando las operaciones no están equilibradas correctamente, es conocido también como tiempo muerto debido a que durante este lapso de tiempo no se está realizando ninguna actividad en el proceso productivo.

Yamazumi. También conocida como Yamazumi Board es una herramienta japonesa que ayuda en el diseño efectivo del trabajo; describe y visualiza el estatus ideal, muestra el balance de elementos de trabajo identificando VA (Valor Agregado), NVAN (No Valor Agregado Necesario) y NVA (No Valor Agregado).

APÉNDICE A

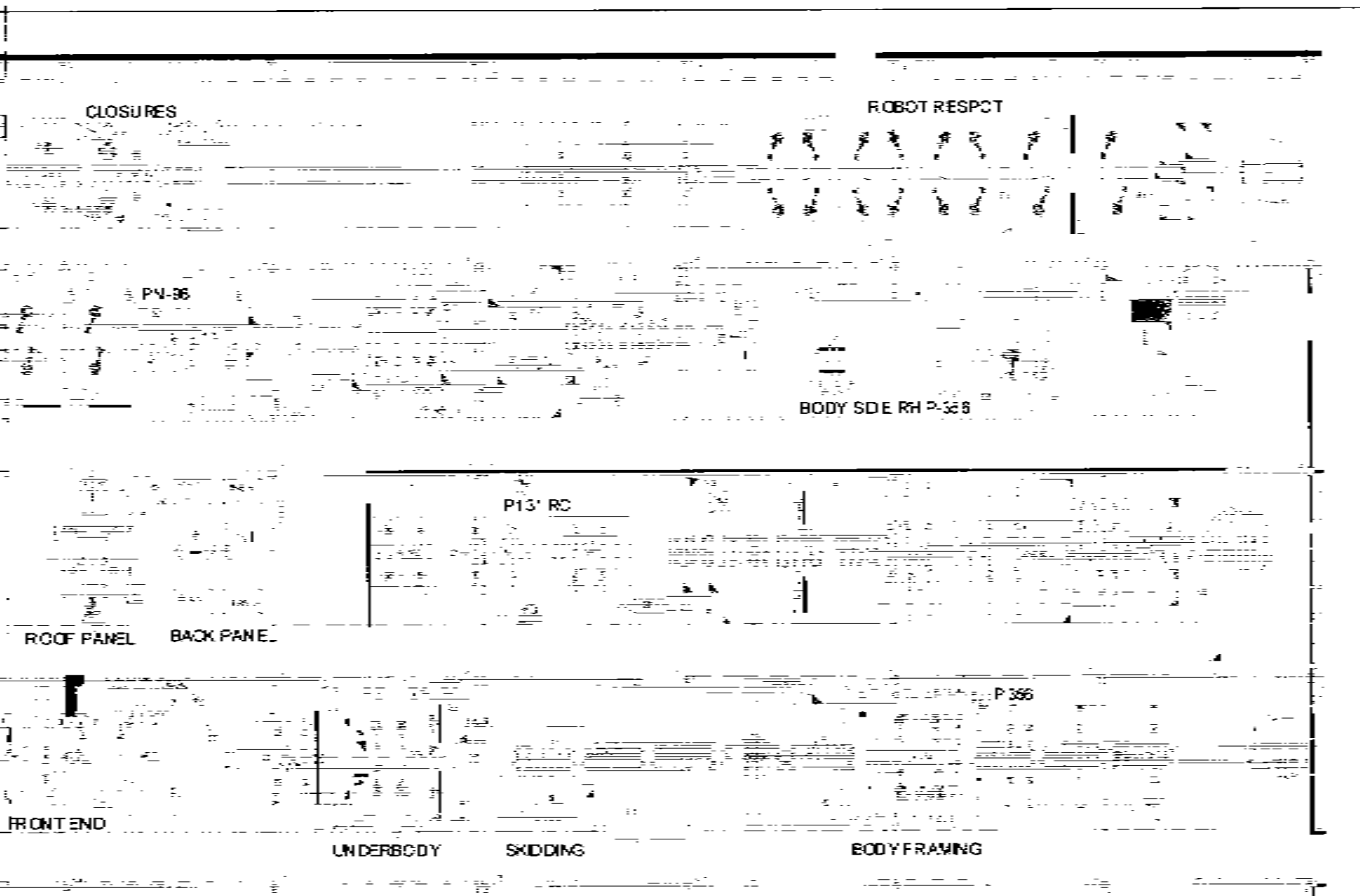
FOOD
INSTALLATION

FENDER
INSTALLATION



BODY SDELH P-356

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE LAS LÍNEAS



DE ENSAMBLE DE LAS CARROCERÍAS

APÉNDICE B

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA.

HOJA DE OBSERVACION Y ANALISIS DE ESTANDARES DE TRABAJO

NOMBRE DE LA OPERACION:					FECHA:					HOJA : 1		DE 2	
PTO. DE CONTROL:					INICIO:					TERMINO			
MODELO:					ANALISTA: EDGAR MÉNDEZ VÁZQUEZ								
N°	DESCRIPCION DEL ELEMENTO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10													
20													
30													
40													
50													
60													
70													
80													
90													
100													
110													
120													
130													
140													
150													
160													
170													
180													
190													
200													
210													
220													
230													
240													
250													
260													
270													
280													
290													
300													
310													
320													
330													
340													
350													
360													
370													
380													
390													
400													
410													
420													
430													
440													
450													
460													
470													
480													
490													
OBSERVACIONES:													

Figura 2.3 Formato utilizado en el estudio de tiempos.

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA.

HOJA DE OBSERVACION Y ANALISIS DE ESTANDARES DE TRABAJO

NOMBRE DE LA OPERACION:					FECHA:					HOJA : 2		DE 2	
PTO. DE CONTROL:					INICIO:					TERMINO			
MODELO:					ANALISTA: EDGAR MÉNDEZ VÁZQUEZ								
N°	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
500													
510													
520													
530													
540													
550													
560													
570													
580													
590													
600													
610													
620													
630													
640													
650													
660													
670													
680													
690													
700													
710													
720													
730													
740													
750													
760													
770													
780													
790													
800													
810													
820													
830													
840													
850													
860													
870													
880													
890													
900													
910													
920													
930													
940													
950													
960													
970													
980													
OBSERVACIONES:													

Figura 2.3 Formato utilizado en el estudio de tiempos (cont.)

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA.

HOJA DE OBSERVACION Y ANALISIS DE ESTANDARES DE TRABAJO

NOMBRE DE LA OPERACION:		FECHA:		HOJA : 1	DE: 2							
PTO. DE CONTROL:				INICIO:		TERMINO:						
MODELO:		ANALISTA: EDGAR MÉNDEZ VÁZQUEZ										
N°	DESCRIPCION DEL ELEMENTO	1	2	3	4	5	6	TPO. PROM.	CAL. ACT.	TPO. NOR.	CONCE	TPO. EST.
10												
20												
30												
40												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
110												
120												
130												
140												
150												
160												
170												
180												
190												
200												
210												
220												
230												
240												
250												
260												
270												
280												
290												
300												
310												
320												
330												
340												
350												
360												
370												
380												
390												
400												
410												
420												
430												
440												
450												
460												
470												
480												
490												
OBSERVACIONES:											Eficiencia	%

Figura 2.4. Formato de estudio de tiempos para cálculos manuales.

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA.

HOJA DE OBSERVACION Y ANALISIS DE ESTANDARES DE TRABAJO

NOMBRE DE LA OPERACION:		FECHA:		HOJA : 2		DE: 2						
PTO. DE CONTROL:				INICIO:				TERMINO:				
MODELO:		ANALISTA: EDGAR MÉNDEZ VÁZQUEZ										
N°	DESCRIPCION DEL ELEMENTO	1	2	3	4	5	6	TPO. PROM.	CAL. ACT.	TPO. NOR.	CONCE.	TPO. EST.
500												
510												
520												
530												
540												
550												
560												
570												
580												
590												
600												
610												
620												
630												
640												
650												
660												
670												
680												
690												
700												
710												
720												
730												
740												
750												
760												
770												
780												
790												
800												
810												
820												
830												
840												
850												
860												
870												
880												
890												
900												
910												
920												
930												
940												
950												
960												
970												
980												
OBSERVACIONES:											Eficiencia	%

Figura 2.4. Formato de estudio de tiempos para cálculos manuales (cont.)

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA															
Depto./Seccion: Modelo:					Dibujo de secuencia de trabajo.										
Grupo de trabajo: Estación de trabajo: Nombre de la pieza: Nº de la pieza:															
Fecha de realización: Inicio de estudio: Termino de estudio: Hoja: 1 DE 2															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 80%;">Operario.</th> <th style="width: 20%;">Nomina.</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>												Operario.	Nomina.		
Operario.	Nomina.														
Analista: Cargo:															
Máquinas y herramientas a utilizar.				Observaciones/Elementos extraños.											
Condiciones de trabajo.				Calificación de desempeño.											
Líder de Manufactura. Ingeniería de Procesos. Mantenimiento.				Coordinador de Grupo. Ingeniería Industrial. Seguridad Industrial.											
Secuencia.	Pasos de trabajo.					Tiempo del elemento.									
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10															
20															
30															
40															
50															
60															
70															
80															
90															
100															
110															
120															
130															
140															
150															
160															
170															
180															
190															
200															
TOTALES															

Figura 2.5. Propuesta del formato para el estudio de tiempos.

NOMBRE O LOGOTIPO DE LA COMPAÑÍA													
Depto./Seccion:				Analista:									
Modelo:				Cargo:									
Grupo de trabajo:				Fecha de realizacion:									
Proceso/Estacion de trabajo:				Inicio de estudio:									
Nombre de la pieza:				Termino de estudio:									
N° de la pieza				Hoja.		2		DE		2			
Secuencia.	Pasos de trabajo.			Tiempo del elemento.									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
210													
220													
230													
240													
250													
260													
270													
280													
290													
300													
310													
320													
330													
340													
350													
360													
370													
380													
390													
400													
410													
420													
430													
440													
450													
460													
470													
480													
490													
500													
510													
520													
530													
540													
550													
	TOTALES												

Figura 2.5. Propuesta del formato para el estudio de tiempos (cont.)

APÉNDICE C

Pasos para el uso de las tarjetas kanban.

Paso 1: El operador toma la tarjeta del contenedor al tomar la primera pieza.



Paso 2: El operador coloca la tarjeta en el buzón azul



Paso 3: El Coordinador de Entrega recolecta las tarjetas de los buzones azules.



Paso 4: El coordinador coloca las tarjetas en el buzón blanco



Proceso para manejo de materiales.

Paso 1. Recoger los contenedores vacíos retornables y tarjetas smart de la línea de producción (buzones blancos).



Paso 2: Dejar los contenedores retornables para proveedores externos en su área de retorno, clasificados por proveedor.



Paso 3: Pasar a la oficina SMART y escanear las tarjetas.



Paso 4: Recoger los contenedores llenos en el área de mercado para el próximo viaje de su ruta correspondiente.



Paso 5: Colocar las tarjetas smart en los contenedores llenos.



Paso 6: Entregar los contenedores llenos en el punto de ensamble en la línea de producción.



Paso 7: Reiniciar el ciclo de nuevo cada hora empezando por el paso número 1.

Pasos para el uso del sistema kanban por medio del sistema Call.

Paso 1: El operador presiona su botonera (alámbrica o inalámbrica) cuando el material ha llegado a su punto de reorden.



Paso 2: La señal llega a monitor Call, MTC toma la llamada y va a la ubicación de mercado que le indica el Ticket.



Paso 3: Toma material y coloca en dollie.



Paso 4: Remolcador toma material y lo lleva al punto de uso según marca el ticket.



APÉNDICE D

Desglose de los elementos de trabajo para cada actividad.**1. Nut Weld a Cowl Top.**

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A CONTENEDOR Y OBTENER COWL TOP	NVAN	0.03
2	CAMINAR A LA PRENSA CON COWL TOP	NVA	0.03
3	COLOCAR Y POSICIONAR EN LA PRENSA (131)	NVAN	0.05
4	PRESIONAR PEDAL CON PIE PARA COLOCAR 1 NUT WELD A COWL TOP	VA	0.07
5	POSICIONAR COWL TOP	NVAN	0.03
6	PRESIONAR PEDAL CON PIE PARA COLOCAR 1 NUT WELD A COWL TOP, SUJETANDOLO CON AMBAS MANOS	VA	0.07
7	TOMAR S/E DE COWL TOP, LLEVAR A RACK DE STOCK Y DEJARLO	NVAN	0.03
8	CAMINAR A LA SIG OPERACIÓN	NVA	0.07

2. Stud Weld a Cowl Top.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	OBTENER PNL DE COWL TOP INEER DEL CONTENEDOR	NVAN	0.02
2	CAMINAR CON COWL TOP INEER A MESA DE COLOCACION DE STUD WELD	NVA	0.05
3	LOCALIZAR EN PERNOS DE MESA EL COWL TOP INEER	NVAN	0.03
4	AVANZAR MANUALMENTE CLAMP DE GUIAS DE STUD WELD	NVAN	0.02
5	OBTENER PISTOLA DE STUDS WELD Y POSICIONAR	NVAN	0.03
6	SOLDAR 4 STUDS WELD EN COWLTOP INEER COMPARTIMIENTO DE MOTOR	VA	0.17
7	REPOCISIONAR PISTOLA DE STUDS WELD	NVAN	0.03
8	SOLDAR 2 STUDS WELD EN COWLTOP INEER COMPARTIMIENTO DE CABINA	VA	0.05
9	RETIRAR PISTOLA DE STUD WELD	NVAN	0.02
10	RETRAER MANUAL MENTE CLAMP DE GUIAS DE STUD WELD	NVAN	0.01
11	RETIRAR PNL DE COWL TOP INEER DE LA MESA	NVAN	0.03
12	CAMINAR A CONTENEDOR DE STOCK DE COWL TOP INEER DE OPERACIÓN #105 Y DEJARLO	NVA	0.03
13	CAMINAR A LA SIGUIENTE OPERACIÓN	NVA	0.10

3. Subensamble de Cowl Top.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	OPRIME DOBLE BOTONERA PARA AVANZAR PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.02
2	CAMINA A CONTENEDOR DE COWL TOP INNER	NVA	0.05
3	TOMA COWL TOP	NVAN	0.02
4	CAMINA A PRENSA	NVA	0.04
5	COLOCA EN PERNOS GUIA COWL TOP INEER	NVAN	0.02
6	OPRIME DOBLE BOTONERA PARA CERRAR CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.03
7	TOMA REFUERZO COMPUTADORA Y COLOCA EN PERNOS GUIA	NVAN	0.03
8	TOMA REFUERZO DE TABLERO Y COLOCA EN PERNOS GUIA	NVAN	0.04
9	TOMA REFUERZO DE MOTOR DE LIMPIADORES Y COLOCA EN PERNOS GUIA	NVAN	0.04
10	OPRIME DOBLE BOTONERA PARA CERRAR CILINDRO DE LA PRENSA -8-2	NVAN	0.05
11	OBTENER PUNTEADORA H - 01	NVAN	0.03
12	POSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.03
13	APLICA 3 PUNTOS EN REF. SOPORTE DE MOTOR LIMPIA PRBRISAS VS COWLTOP	VA	0.12
14	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.06
15	APLICA 5 PUNTOS EN REF. SUP DE CUBRE TABLERO	VA	0.18
16	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.04
17	APLICA 5 PUNTOS EN REF. SUP DE TABLERO VS COWLTOP	VA	0.21
18	RETIRA PUNTEADORA	NVA	0.03
19	TOMA REFUERZO REJILLA NEGRA Y COLOCA EN S/ENSAMBLE DE COWL TOP	NVAN	0.10
20	OPRIME DOBLE BOTONERA PARA ABRIR CLAMPS	NVAN	0.02
21	RETIRAR S/ENSAMBLE DE COWL TOP DE LA PRENSA	NVAN	0.02
22	COLOCA S/ENSAMBLE DE COWL TOP EN CONTENEDOR	NVA	0.07
23	CAMINAR A LA SIGUIENTE OPERACIÓN	NVA	0.08

4. Clinch a Dash Panel.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR Y OBTENER DEL CONTENEDOR EL DASH PANEL	NVAN	0.03
2	COLOCAR Y POSICIONAR DASH PANEL EN PRENSA	NVAN	0.08
3	PRESIONAR LOS 2 BOTONES PLATEADOS LATERALES PARA COLOCAR 3 CLINCH	VA	0.13
4	RETIRAR S/E DE DASH PANEL, LLEVAR A RACK DE	NVAN	0.05

	STOCK Y DEJARLO		
5	CAMINAR A LA SIG OPERACIÓN	NVA	0.06

5. Soportes a Dash Panel.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A CONTENEDOR DE DASH	NVA	0.03
2	TOMA DASH	NVAN	0.03
3	CAMINA A PRENSA	NVA	0.03
4	COLOCA DASH PANEL EN PRENSA	NVAN	0.02
5	CAMINA A CONTENEDOR DE SOPORTE DE PEDALES	NVA	0.03
6	TOMA SOPORTE DE PEDALES	NVAN	0.02
7	CAMINA A PRENSA Y COLOCA SPTE DE PEDALES EN PRENSA	NVAN	0.02
8	CAMINA A CONTENEDOR DE SOPORTE DE TABLERO	NVA	0.03
9	TOMA SOPORTE	NVAN	0.02
10	CAMINA A PRENSA Y COLOCA SPTE DE TABLERO EN PRENSA	NVAN	0.02
11	OPRIME BOTON PARA CERRAR CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.03
12	TOMA PUNTEADORA H - 02	NVAN	0.04
13	POSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.03
14	SOLDAR CON 2 PUNTOS EL SOPORTE DE PEDAL DE FRENOS AL DASH PNL	VA	0.05
15	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.03
16	SOLDAR CON 2 PUNTOS EL SOPORTE DE PEDAL DE FRENOS AL DASH PNL	VA	0.06
17	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.06
18	SOLDAR CON 5 PUNTOS EL SOPORTE INTERIOR DE FRENOS AL DASH PNL	VA	0.19
19	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.09
20	SOLDAR CON 6 PUNTOS EL SOPORTE INTERIOR DE FRENOS AL DASH PNL.	VA	0.25
21	REPOSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.03
22	SOLDAR CON 3 PUNTOS EL SOPORTE INTERIOR DE FRENOS AL DASH PNL.	VA	0.05
23	OPRIME BOTON PARA ABRIR CLAMPS	NVAN	0.01
24	RETIRA PUNTEADORA	NVAN	0.02

6. Stud Weld a Dash Panel.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	TOMA DASH PANEL Y COLOCA EN PRENSA PARA APLICAR STUD WELD	NVAN	0.05
2	CIERRA PRENSA MANUALMENTE	NVAN	0.03

3	TOMA PISTOLA DE STUD WELD	NVAN	0.04
4	POSICIONA Y APLICA 5 STUD WELD	VA	0.18
5	OPRIME BOTON - PALANCA PARA GIRAR LA PRENSA	NVAN	0.03
6	REPOSICINA Y APLICA 8 STUD WELD	VA	0.42
7	RETIRA PISTOLA	NVAN	0.03
8	OPRIME BOTON - PALANCA PARA GIRAR LA PRENSA	NVAN	0.04
9	ABRE MANUALMENTE LA PRENSA	NVAN	0.04
10	TOMA Y COLOCA DASH PANEL EN CONTENEDOR DE STOK	NVA	0.04
11	CAMINAR A LA SIGUIENTE OPERACIÓN	NVA	0.11

7. Sello a Dash Panel.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A OBTENER TIRAS DE SELLOS ESTRUCTURALES	NVA	0.04
2	OBTENER 1 SELLO ESTRUCTURAL Y COLOCARLO EN LA ESQUINA IZQ. DE DASH PANEL	VA	0.03
3	CAMINAR AL LADO DERECHO DEL DASH PANEL	NVA	0.02
4	OBTENER 1 SELLO ESTRUCTURAL Y COLOCARLO EN LA ESQUINA DER. DE DASH PANEL	VA	0.04
5	CAMINAR A MESA DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.03
6	OBTENER PISTOLA DE SELLO	NVAN	0.01
7	CAMINAR A CONTENEDOR DE DASH PANEL	NVA	0.02
8	POSICIONAR PISTOLA DE SELLO EN DASH PANEL	NVAN	0.02
9	APLICAR SELLO BLANCO DE MANERA CONTINUA Y UNIFORME	VA	0.20
10	RETIRAR PISTOLA DE SELLO	NVAN	0.01
11	CAMINAR A MESA DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.03
12	DEJAR PISTOLA	NVAN	0.02

8. Dash Panel vs Cowl Top.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA AL CONTENEDOR COWL TOP INNER	NVA	0.03
2	OBTENER COWL TOP INNER DEL CONTENEDOR	NVAN	0.02
3	CAMINA CON ENSAMBLE DE COWL TOP INNER	NVA	0.03
4	LOCALIZA EN UNIDADES 7-8 PRENSA EL COWL TOP INNER	NVAN	0.02
5	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA CERRAR CLAMPS DE UNIDADES	NVAN	0.02
6	CAMINAR A CONTENEDOR DE DASH PANEL CON SELLO	NVA	0.03
7	OBTENER EL DASH PANEL CON SELLO	NVAN	0.04
8	CAMINA CON S/ ENSAMBLE DE DASH PANEL	NVA	0.05

9	LOCALIZA EN UNIDADES 11-1 LH Y 17-1 RH LA PRENSA EL DASH PANEL	NVAN	0.04
10	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA CERRAR CLAMPS DE PERNOS LOCALIZADORES 9-1 LH Y 16-1 RH	NVAN	0.02
11	CAMINAR Y OBTENER PUNTEADORA H - 03	NVA	0.06
12	POSICIONAR PUNTEADORA EN DASH PANEL VS COWL TOP	NVAN	0.09
13	SOLDAR CON 17 PUNTOS EL DASH PNL VS COWL TOP INNER LADO LH	VA	0.59
14	REPOSICIONAR PUNTEADORA EN DASH PANEL VS COWL TOP PARTE CENTRAL	NVAN	0.06
15	SOLDAR CON 16 PUNTOS EL DASH PNL VS COWL TOP INNER LADO RH	VA	0.59
16	RETIRA PUNTEADORA	NVAN	0.07
17	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA ABRIR PERNOS LOCALIZADORES Y CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.02
18	CAMINA AL LADO DERECHO DE LA PRENSA	NVA	0.03
19	OBTENER GRUA CON GANCHO	NVAN	0.02
20	CAMINAR CON GRUA Y GANCHO AL CENTRO DE LA PRENSA	NVA	0.03
21	OPRIME BOTON PARA BAJAR GRUA	NVAN	0.01
22	LOCALIZA GANCHO EN S/ENSAMBLE DE DASH PNL. VS COWL TOP	NVAN	0.05
23	OPRIME BOTON PARA SUBIR GRUA CON GANCHO EL S/ENSAMBLE DE DASH PNL.	NVAN	0.01
24	CAMINAR AL LADO DERECHO DE LA PRENSA OP 118 CON GRUA Y S/ENSAMBLE	NVA	0.04
25	CAMINAR A LA SIG OPERACIÓN (PRENSA 135)	NVA	0.04

9. Sello a Cowl Side (+/-).

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A CONTENEDOR Y OBTIENE COWL SIDE DERECHO	NVAN	0.13
2	REGRESA Y ACOMODA COWL SIDE EN EL OTRO CONTENEDOR	NVAN	0.12
3	OBTENER PISTOLA DE APLICACION DE SELLO Y POSICIONAR	NVAN	0.09
4	APLICAR CORDON DE SELLO CONTINUO Y UNIFORME EN CONTORNOS DE TAPA COWL SIDE VS COWL TOP INNER	VA	0.25
5	RETIRAR Y DEJAR PISTOLA EN SU LUGAR	NVAN	0.09
6	CAMINA A CONTENEDOR Y OBTIENE COWL SIDE IZQUIERDO	NVAN	0.14
7	REGRESA Y ACOMODA COWL SIDE EN EL OTRO CONTENEDOR	NVAN	0.17
8	OBTENER PISTOLA DE APLICACION DE SELLO Y POSICIONAR	NVAN	0.10

9	APLICAR CORDON DE SELLO CONTINUO Y UNIFORME EN CONTORNOS DE TAPA COWL SIDE VS COWL TOP INNER	VA	0.23
10	RETIRAR Y DEJAR PISTOLA EN SU LUGAR	NVAN	0.10
11	REGRESA A LA OPERACIÓN SIGUIENTE.	NVA	0.04

10. Subensamble de frente.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA AL LADO IZQ. DE LA PRENSA	NVA	0.04
2	OBTENER GANCHO CON GRUA EL S/ENSAMBLE DE DASH VS COWL TOP INEER	NVAN	0.02
3	CAMINA CON GRUA Y S/ENSAMBLE DE DASH VS COWL TOP INEER	NVA	0.04
4	ACCIONA BOTON DE GRUA PARA BAJAR S/ENSAMBLE LOCALIZAR EN PRESA EN PERNOS 3-1 LH Y 4-1 RH	NVAN	0.10
5	ACCIONA BOTON PARA SUBIR GRUA Y GANCHO	NVAN	0.01
6	CAMINA CON LA GRUA AL LADO IZQ. DE LA PRENSA Y DEJA GRUA	NVA	0.03
7	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA AVANZAR SLIDE DE UNIDAD 19 Y CERRAR CLAMPS DE SUJECCION DE DASH PNL.	NVAN	0.01
8	CAMINAR Y OBTENER TAPA COWL SIDE DERECHA	NVAN	0.02
9	CAMINAR A PRENSA CON TAPA LATERAL COWL SIDE	NVA	0.02
10	LOCALIZAR EN LA PRENSA Y PERNO MASTER Y UNIDAD	NVAN	0.02
11	CAMINAR Y OBTENER TAPA COWL SIDE IZQUIERDA	NVAN	0.02
12	CAMINAR A PRENSA CON TAPA LATERAL COWL SIDE	NVA	0.02
13	LOCALIZAR EN LA PRENSA Y PERNO MASTER Y UNIDAD	NVAN	0.01
14	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA AVANZAR SLIDES DE LA PRENSA Y PERNOS LOCALIZADORES .3-1 IZQ Y 4-1 DER	NVAN	0.02
15	CAMINAR A PARTE TRASERA IZQUIERDA DE LA PRENSA	NVA	0.02
16	OBTENER PUNTEADORA	NVAN	0.02
17	POSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.06
18	SOLDAR CON 7 PUNTOS LA TAPA COWL SIDE VS COWL TOP INEER IZQ	VA	0.29
19	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.06
20	SOLDAR CON 7 PUNTOS LA TAPA COWL SIDE VS DASH PANEL LADO IZQ.	VA	0.27
21	OPRIMIR BOTON PARA ABRIR PERNO LOCALIZADOR	NVAN	0.01
22	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.02
23	SOLDAR CON 1 PUNTO LA TAPA COWL SIDE VS DASH	VA	0.03

	PANEL LADO IZQ.		
24	RETIRAR PUNTEADORA LADO IZQUIERDO	NVAN	0.02
25	CAMINAR AL LADO DERECHO DE LA PRENSA	NVA	0.02
26	OBTENER PUNTEADORA	NVAN	0.02
27	POSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.05
28	SOLDAR CON 7 PUNTOS LA TAPA COWL SIDE VS COWL TOP INEER DERECHO FRONTAL	VA	0.28
29	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.05
30	SOLDAR CON 7 PUNTOS LA TAPA COWL SIDE VS DASH PANEL LADO DERECHO	VA	0.26
31	OPRIMIR BOTON PARA ABRIR PERNO LOCALIZADOR	NVAN	0.01
32	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
33	SOLDAR CON 2 PUNTOS LA TAPA COWL SIDE VS DASH PANEL LADO DERECHO	VA	0.05
34	OPRIMIR BOTON PARA ABRIR CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.01
35	RETIRAR PUNTEADORA LADO DERECHO	NVAN	0.02
36	CAMINA AL FRENTE DE LA PRENSA	NVA	0.04
37	OBTENER GRUA CON GANCHO	NVAN	0.02
38	CAMINAR CON GRUA AL CENTRO DE LA PRENSA	NVA	0.03
40	OPRIME BOTON PARA BAJAR LA GRUA	NVAN	0.01
41	POSICIONA GANCHO EN S/ENSAMBLE DEL DASH	NVAN	0.05
42	OPRIME BOTON PARA SUBIR LA GRUA	NVAN	0.01

11. Volteo de Subensamble de Frente.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR HACIA EN FRENTE DE LA MESA VOLTEADORA	NVA	0.04
2	OBTENER GRUA Y GANCHO	NVAN	0.02
3	OPRIMIR PALANCA DE CONTROL DE LA GRUA PARA BAJAR EL GANCHO	NVAN	0.04
4	POSICIONAR GRUA vs S/ENSAMBLE DE FRENTE	NVAN	0.02
5	OBTENER S/ENSAMBLE DE FRENTE CON GRUA Y GANCHO	NVAN	0.02
6	OPRIMIR PALANCA DE CONTROL DE LA GRUA PARA SUBIR EL GANCHO	NVAN	0.05
7	BAJAR S/ENSAMBLE Y GRUA A PISO	NVAN	0.10
8	CAMINA HACIA BOTONERA DE LA MESA VOLTEADORA	NVA	0.04
9	OPRIMIR BOTON DE BOTONERA	NVAN	0.02
10	CAMINAR HACIA LA GRUA Y OBTENERLA (PARTE TRASERA DE LA MESA VOLTEADORA)	NVA	0.05
11	TRASLADAR S/ENSAMBLE A MESA VOLTEADORA	NVA	0.09
12	OPRIME BOTON PARA BAJAR LA GRUA Y LIBERAR S/ENSAMBLE	NVAN	0.14

13	OPRIMIR BOTON PARA SUBIR LA GRUA	NVAN	0.04
14	RETIRAR LA GRUA CON GANCHO	NVAN	0.05
15	CAMINAR HACIA LA BOTONERA Y ORIMIR BOTON PARA GIRAR MESA VOLTEADORA	NVA	0.09

12. Surtido de Frente.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR HACIA EL S/ENSAMBLE DE FRENTE COLOCADO EN PISO	NVA	0.08
2	LEVANTAR S/ENSAMBLE DE FRENTE CON GRUA	NVAN	0.10
3	OPRIMIR PALANCA DE CONTROL DE GRUA PARA AVANZAR GANCHO CON S/ENSAMBLE A PRENSA 245	NVAN	0.02
4	CAMINA CON S/ENSAMBLE DE FRENTE A PRENSA 245	NVA	0.07
5	POSICIONAR S/ENSAMBLE DE FRENTE VS EL PISO EN GUIAS DE LA PRENSA	VA	0.06
6	OPRIME PALANCA DE CONTROL DEL GANCHO Y BAJA S/ENSAMBLE	VA	0.04
7	LIBERA GANCHO CON GRUA S/ENSABLE DE FRENTE	NVAN	0.02
8	OPRIMIR BOTON PARA CERRAR UNIDADES Y CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.03
9	RETIRAR LA GRUA	NVAN	0.05

13. Sello a Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A OBTENER PISTOLA PARA SELLO	NVA	0.06
2	OBTENER PISTOLA PARA SELLO Y POSICIONAR	NVAN	0.05
3	APLICAR CORDON DE SELLO BLANCO AL PISO	VA	0.42
4	CAMINAR A DEJAR PISTOLA	NVA	0.05
5	DEJAR PISTOLA DE SELLO EN PEDESTAL	NVAN	0.01
6	REGRESAR A LA OPERACIÓN ANTERIOR	NVA	0.07

14. Surtido de Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A AREA DE SURTIDO DE PISOS (DESDE BOTONERA)	NVA	0.06
2	OBTENER GRUA CON GANCHO	NVAN	0.02
3	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA BAJAR GRUA	NVAN	0.06
4	POSICIONAR GANCHO EN PISO	NVAN	0.02

5	OPRIMIR BOTON PARA CERRAR CLAMPS DEL GANCHO	NVAN	0.03
6	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA SUBIR GRUA CON S/ENSAMBLE DE PISO	NVAN	0.07
7	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA ACTIVAR MOTOR DE LA GRUA	NVAN	0.03
8	TRASLADAR S/ENSAMBLE DEL PISO A PRENSA OP 245	NVA	0.13

15. Punteo Subensamble de Frente vs Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA Y OBTIENE PUNTEADORA H - 06	NVA	0.07
2	POSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.10
3	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON 4 PUNTOS	VA	0.10
4	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.05
5	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON 2 PUNTOS	VA	0.04
6	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
7	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL AL PANEL DE FUEGO Y PISO FRONTAL CON 5 PUNTOS	VA	0.17
8	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
9	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON 9 PUNTOS	VA	0.24
10	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.03
11	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON 5 PUNTOS	VA	0.15
12	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
13	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON RFZO. DE PISO CON 2 PUNTOS DOBLE CEDULA	VA	0.04
14	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
15	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON RFZO. DE PISO CON 2 PUNTOS	VA	0.04
16	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.03
17	SOLDAR ENSAMBLE DE PISO FRONTAL CON PANEL DE FUEGO CON RFZO. DE PISO CON 6 PUNTOS	VA	0.14
18	CAMINAR DE REGRESO AL LADO DERECHO DE PRENSA CON PUNTEADORA	NVA	0.09
19	COLOCA PUNTEADORA EN PEDESTAL	NVAN	0.03
20	OPRIMIR BOTON PARA RETRAER PERNOS LOCALIZADORES Y CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.04

16. Recibir Piso y Subensamble de Frente.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	OPERARIO RECIBE GRUA	NVAN	0.01
2	DESACTIVA PALANCA DE CONTROL DE GRUA	NVAN	0.01

3	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA BAJAR GRUA	NVAN	0.07
4	POSICIONAR GRUA EN PRENSA CON S/ENSAMBLE DE PISO	NVAN	0.05
5	OPRIME BOTON DE CONTROL DEL GANCHO PAR ABRIR CLAMPS	NVAN	0.03
6	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA SUBIR GRUA	NVAN	0.09
7	OPRIMIR BOTON (PALANCA) PARA ACTIVAR MOTOR DE LA GRUA	NVAN	0.04
8	ESPERA A QUE SU COMPAÑERO LLEVE EL S/E DE FRENTE	NVA	0.22
9	AYUDA A SU COMPAÑERO A COLOCAR S/E EN PRENSA	VA	0.08

17. Punteo Cowl Side (+) vs Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	ALCANZAR LA PUNTEADORA H-08	NVAN	0.03
2	OBTENER PUNTEADORA H - 08	NVAN	0.04
3	POSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.09
4	SOLDAR SUBENSAMBLE COLW TOP INR & DASH PANEL AL RFZO DE PISO CON 11 PUNTOS	VA	0.47
5	RETIRAR PUNTEADORA	NVAN	0.03
6	CHECAR QUE LA SOLDADURA ESTE DE MANERA CORRECTA	NVA	0.04

18. Punteo Cowl Side (-) vs Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA PARA OBTENER PUNTEADORA H-07	NVA	0.09
2	OBTENER PUNTEADORA H - 07	NVAN	0.04
3	POSICIONA PUNTEADORA	NVAN	0.11
4	SOLDAR SUBENSAMBLE COLW TOP INR & DASH PANEL AL RFZO DE PISO CON 12 PUNTOS	VA	0.50
5	RETIRAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
6	CHECAR QUE LA SOLDADURA ESTE DE MANERA CORRECTA	NVA	0.04
7	CAMINAR HACIA BOTONERA	NVA	0.10
8	OPRIMIR BOTON	NVAN	0.02
9	PASAR A LA OPERACIÓN DE HIDROFORMADO	NVA	0.06

19. Surtido de Hidroformado (+).

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A CONTENEDOR DE HIDROFORMADO LADO DERECHO	NVA	0.06

2	OBTENER HIDROFORMADO DEL CONTENEDOR	NVAN	0.02
3	CAMINAR A PRENSA DE OPERACION 345	NVA	0.05
4	LOCALIZAR EN PERNOS DE PRENSA EL HIDROFORMADO	NVAN	0.02
5	OPRIMIR BOTON DE CLAMPS	NVAN	0.02

20. Surtido de Hidroformado (-).

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A CONTENEDOR DE HIDROFORMADO LADO IZQUIERDO	NVA	0.03
2	OBTENER HIDROFORMADO DEL CONTENEDOR	NVAN	0.03
3	CAMINAR A PRENSA DE OPERACION 345	NVA	0.06
4	LOCALIZAR EN PERNOS DE PRENSA EL HIDROFORMADO	NVAN	0.02
5	OPRIMIR BOTON DE CLAMPS	NVAN	0.02

21. Surtido de Soporte de Radiador.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A CONTENERDOR DE SOPORTE DE RADIADOR	NVA	0.05
2	OBTENER SOPORTE DE RADIADOR DEL CONTENEDOR	NVAN	0.03
3	CAMINAR A PRENSA DE OPERACION 345	NVA	0.07
4	LOCALIZAR EL SOPORTE EN PERNOS LOCALIZADORES DE LA PRENSA	NVAN	0.03
5	CAMINAR HACIA LA BOTONERA	NVA	0.07
6	OPRIMIR DOBLE BOTONERA PARA INICIAR SECUENCIA DE ROBOTS	NVAN	0.02
7	REGRESAR A LA OPERACIÓN DE S/E PISO vs FRENTE	NVA	0.05

22. Robot de Pisos.

En esta actividad no se presenta el desglose de sus elementos debido a que son cuatro robots los que ejecutan la operación.

23. Subensamble de Back Panel.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR A CONTENEDOR DE RFZO INTERIOR	NVA	0.06
2	OBTENER RFZO. INTERIOR DE CONTENEDOR	NVAN	0.04
3	CAMINA A LA PRENSA	NVA	0.04
4	COLOCAR Y POSICIONAR RFZO. INTERIOR EN LA PRENSA	NVAN	0.04
5	CAMINAR A CONTENEDOR DE BACK PANEL	NVA	0.04
6	OBTENER BACK PANEL DE CONTENEDOR	NVAN	0.09
7	CAMINA A LA PRENSA	NVA	0.08
8	COLOCAR Y POSICIONAR BACK PANEL EN PRENSA	NVAN	0.03
9	PRESIONA BOTON	NVAN	0.04
10	OBTENER PUNTEADORA F37	NVAN	0.13
11	SOLDAR CON 7 PUNTOS BACK PANEL VS REFUERZO INT LADO DER INT.	VA	0.19
12	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
13	SOLDAR CON 7 PTOS BACK PANEL VS REFUERZO INT. LADO DERECHO EXTERIOR	VA	0.18
14	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.10
15	SOLDAR CON 15 PTOS BACK PANEL VS REFUERZO INT. PARTE CENTRAL INT.	VA	0.49
16	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.06
17	SOLDAR CON 15 PTOS BACK PANEL VS REFUERZO INT LADO IZQ INT	VA	0.49
18	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.09
19	SOLDAR CON 7 PTOS BACK PANEL VS REFUERZO INT LADO IZQ INT	VA	0.18
20	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.04
21	SOLDAR CON 7 PTOS BACK PANEL VS REFERZO INT LADO IZQ EXTERIOR	VA	0.18
22	DEJAR PUNTEADORA	NVAN	0.03
23	PRESIONA BOTON PARA ABRIR CLAMPS DE LA PRENSA	NVAN	0.04
24	CAMINA A PARTE TRASERA DE LA PRENSA	NVA	0.04
25	OBTENER ENSAMBLE DE BACK PANEL DE LA PRENSA	NVAN	0.06
26	CAMINA A CONTENEDOR DE S/E ENSAMBLE	NVA	0.06
27	COLOCA S/ENSAMBLE EN CONTENEDOR	NVAN	0.10

24. Subensamble de Toldo.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINAR HACIA BOTONERA	NVA	0.04
2	OPRIMIR BOTON PARA AVANZAR PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.02
3	CAMINA A CONTENEDOR DE REFUERZO FRONTAL DE TOLDO	NVA	0.03

4	TOMA REFUERZO FRONTAL DE TOLDO DEL CONTENEDOR (7C34-2503410-A)	NVAN	0.02
5	CAMINA HACIA LA PRENSA	NVA	0.02
6	COLOCA REFUERZO EN PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.02
7	CAMINAR A CONTENEDOR DE REFUERZO TRASERO DE TOLDO	NVA	0.05
8	TOMA PISTOLA DE SELLO Y POSICIONA	NVAN	0.05
9	APLICA CORDON DE SELLO CONTINUO Y UNIFORME EN RFZO TRASERO DE TOLDO	VA	0.25
10	RETIRA PISTOLA DE APLICACION DE SELLO	NVAN	0.05
11	OBTIENE DEL CONTENEDOR DE REFUERZO TRASERO DE TOLDO CON SELLO	NVAN	0.02
12	CAMINA HACIA LA PRENSA	NVA	0.05
13	COLOCA REFUERZO EN PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.03
14	CAMINAR A CONTENEDOR DE TOLDO	NVA	0.05
15	TOMA TOLDO	NVAN	0.06
16	CAMINAR A PRENSA	NVA	0.09
17	COLOCA TOLDO EN PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.12
18	OPRIMIR BOTON PARA CERRAR CLAMPS 2 , 3 , 4 ,5 , 9 Y 10	NVAN	0.02
19	CAMINA A LA PUNTEADORA	NVA	0.02
20	TOMA PUNTEADORA Y POSICIONA	NVAN	0.08
21	APLICAR 10 PUNTOS EN TOLDO VS. REFUERZO TRASERO DE TODO	VA	0.26
22	REPOSICIONAR PUNTEADORA	NVAN	0.05
23	APLICAR 10 PUNTOS EN TOLDO VS. REFUERZO TRASERO DE TODO	VA	0.26
24	COLOCAR PUNTEADORA EN PEDESTAL	NVAN	0.07
25	CAMINAR A LA SIGUIENTE PUNTEADORA	NVA	0.08
26	TOMAR PUNTEADORA Y POSICIONA	NVAN	0.08
27	APLICAR 6 PUNTOS EN TOLDO VS. REFUERZO FRONTAL DE TODO	VA	0.18
28	REPOSICIONOR PUNTEADORA	NVAN	0.05
29	APLICAR 6 PUNTOS EN TOLDO VS. REFUERZO FRONTAL DE TODO	VA	0.18
30	RETIRAR PUNTEADORA	NVAN	0.02
31	CAMINAR A BOTONERA	NVA	0.02
32	OPRIMIR BOTON PARA ABRIR CLAMPS 2 , 3 , 4 ,5 , 9 Y 10 Y RETRAER PERNOS LOCALIZADORES	NVAN	0.03
33	CAMINA A PARTE TRASERA DE LA PRENSA	NVA	0.05
34	TOMA CIZALLA Y POSICIONA	NVAN	0.03
35	CORTA LAMINA DE LOCALIZACION	NVAN	0.09
36	OBTENER Y DESCARGAR S/ENSAMBLE DE TOLDO	NVAN	0.08
37	CAMINAR CON S*ENSAMBLE DE TOLDO AL CONTENEDOR	NVA	0.08
38	COLOCAR Y POCISIONAR TOLDO EN CONTENEDOR	NVAN	0.07

25. Sello negro a Piso.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	TOMA PISTOLA DE SELLO NEGRO	NVAN	0.03
2	CAMINA A ESTACION DE APLICACION DE SELLO EN EXTENCION DE PISO TRASERO	NVA	0.09
3	APLICA CORDON DE SELLO EN PISO TRASERO EN AMBOS ESQUINEROS Y DEL EXTREMO DER AL EXTREMO IZQ	VA	0.28
4	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.06
5	DEJA PISTOLA DE SELLO 337	NVAN	0.02

26. Preenclampado (-).

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A CONTENEDOR DE SELLO	NVA	0.06
2	OBTIENE SELLO ADHESIVO 8C34-2502922-AB, SELLO ADHESIVO F81B-2502716-AA Y SELLO ADHESIVO 8C34-2554382-A	NVAN	0.12
3	CAMINA A TRANSPORTADOR DE COSTADO	NVA	0.03
4	COLOCA SELLO ADHESIVO 8C34-2554382-A EN EL BRAZO	VA	0.07
5	COLOCA SELLO ADHESIVO F81B-2502716-AA EN EL BRAZO	VA	0.10
6	RETIRA SEGURO DEL TRANSPIRTADOR	NVAN	0.04
7	COLOCA SELLO ADHESIVO 8C34-2502922-AB EN EL BRAZO	VA	0.08
8	CAMINA A OBTENER TIRA DE SELLOS	NVA	0.04
9	OBTIENE TIRA DE SELLOS ADHESIVOS 8C34-25025B00-AA)	NVAN	0.01
10	CAMINA A TRANSPORTADOR DE COSTADO	NVA	0.05
11	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.08
12	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.08
13	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.08
14	REGRESA A DEJAR TIRA DE SELLOS A SURTIDO DE MATERIALES	NVA	0.04
15	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO 4G60	NVA	0.06
16	TOMA PISTOLA DE SELLO BLANCO 4G60	NVAN	0.02
17	CAMINA A PARTE LATERAL DEL COSTADO IZQ.	NVA	0.05
18	COLOCA SELLO BLANCO 4G60 EN COSTADO SUPERIOR VS TOLDO	VA	0.21
19	REPOSICIONA PISTOLA	NVAN	0.05
20	COLOCA SELLO BLANCO 4G60 EN COSTADO INFERIOR	VA	0.27

21	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.04
22	DEJA PISTOLA DE SELLO 4G60	NVAN	0.02
23	CAMINA A BOTONERA DE TRASPORTADOR DE COSTADO IZQUIERO	NVA	0.03
24	OPRIME BOTON DE LIBERACION DE COSTADO ESTACION DE ESPERA	NVAN	0.02
25	CAMINA A ESTACION DE PREENCLAMPADO	NVA	0.04
26	CAMINA HACIA MANIPULADOR	NVA	0.07
27	LLEVA MANIPULADOR A UNIDAD	NVAN	0.08
28	COLOCA COSTADO EN UNIDAD	VA	0.14
29	OBTIENE MARTILLO	NVAN	0.01
30	DOBLA CEJAS DE PRECARGA	VA	0.13
31	OPRIME BOTON PARA ABRIR CLAMPS Y RETIRA MANIPULADOR	NVAN	0.10
32	OPRIME BOTON PARA AVANCE DE COSTADO	NVAN	0.03
33	RETIRA MANIPULADOR Y ENGANCHA EN PEDESTAL	NVAN	0.10
34	CAMINA A CONTENEDOR DE TOLDO	NVA	0.05
35	OBTIENE TOLDO	NVAN	0.05
36	REGRESA A LA PARTE TRASERA DE LA UNIDAD	NVA	0.13
37	COLOCA TOLDO EN UNIDAD	VA	0.25
38	CAMINA HACIA LA PISTOLA DE SELLO NEGRO	NVA	0.07
39	OBTIENE PISTOLA Y POSICIONA	NVAN	0.07
40	APLICA CORDON DE SELLO NEGRO A COSTADO	VA	0.20
41	DEJA PISTOLA DE SELLO	NVAN	0.03
42	CAMINA Y OBTIENE MANIPULADOR	NVA	0.04
43	COLOCAR MANIPULADOR EN COSTADO DEL TRASPORTADOR	NVAN	0.09
44	TOMA Y BAJA COSTADO CON MANIPULADOR	NVAN	0.09
45	CAMINA A BOTONERA SELECCIONA COSTADO	NVA	0.01
46	PRESIONA BOTON LIBERAR CARGADOR	NVAN	0.02

27. Colocación de Toldo.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A CONTENEDOR DE TOLDO	NVA	0.05
2	OBTIENE TOLDO	NVAN	0.05
3	REGRESA A LA PARTE TRASERA DE LA UNIDAD	NVA	0.13
4	COLOCA TOLDO EN UNIDAD	VA	0.25

28. Preenclampado (+).

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A CONTENEDOR DE SELLO	NVA	0.07
2	OBTENER SELLO ADHESIVO 8C34-2554382-A Y LO COLOCA EN EL BRAZO	VA	0.17
3	OBTENER TIRA DE SELLOS ADHESIVOS 8C34-25025B00-	NVAN	0.03

	AA)		
4	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.09
5	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.06
6	OBTIENE DE LA TIRA UN SELLO (8C34-25025B00-AA) Y LO COLOCA EN PILAR FRONTAL vs HIDROFORMADO	VA	0.07
7	OBTIENE SELLO ADHESIVO 8C34-2502922-AB Y LO COLOCA EN EL BRAZO	VA	0.20
8	OBTIENE SELLO ADHESIVO F81B-2502716-AA Y LO COLOCA EN EL BRAZO	VA	0.18
9	RETIRA SEGURO DEL TRANSPORTADOR	NVAN	0.04
10	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO 4G60	NVA	0.05
11	TOMA PISTOLA DE SELLO BLANCO Y POSICIONA 4G60	NVAN	0.08
12	COLOCA SELLO BLANCO 4G60 EN COSTADO SUPERIOR VS TOLDO	VA	0.12
13	REPOSICIONA PISTOLA	NVAN	0.06
14	COLOCA SELLO BLANCO 4G60 EN COSTADO INFERIOR	VA	0.25
15	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.04
16	DEJA PISTOLA DE SELLO 4G60	NVAN	0.03
17	CAMINA HACIA MANIPULADOR	NVA	0.07
18	LLEVA MANIPULADOR A UNIDAD	NVAN	0.06
19	COLOCA COSTADO EN UNIDAD	VA	0.12
20	OBTIENE MARTILLO	NVAN	0.02
21	DOBLA CEJAS DE PRECARGA	VA	0.16
22	OPRIME BOTON PARA ABRIR CLAMPS Y RETIRA MANIPULADOR	NVAN	0.08
23	RETIRA MANIPULADOR Y ENGANCHA EN PEDESTAL	NVAN	0.12
24	CAMINA A BOTONERA DE TRANSPORTADOR DE COSTADO DERECHO	NVA	0.05
25	OPRIME BOTON DE LIBERACION DE COSTADO ESTACION DE ESPERA	NVAN	0.06
26	CAMINA A ESTACION DE PREENCLAMPADO	NVA	0.05
27	OBTIENE PISTOLA Y POSICIONA	NVAN	0.04
28	APLICA CORDON DE SELLO NEGRO A COSTADO	VA	0.10
29	CAMINA A CONTENEDOR DE PISTOLA DE SELLO	NVA	0.03
30	DEJA PISTOLA DE SELLO	NVAN	0.03
31	CAMINA Y OBTIENE MANIPULADOR	NVA	0.05
32	COLOCA MANIPULADOR EN COSTADO DE DEL TRANSPORTADOR	NVAN	0.12
33	TOMA Y BAJA COSTADO CON MANIPULADOR	NVAN	0.07
34	ACOMODA MANIPULADOR EN PEDESTAL	NVAN	0.06
35	CAMINA A BOTONERA DE SELECCIÓN DE COSTADO	NVA	0.03
36	PRESIONA BOTON PARA LIBERAR CARGADOR	NVAN	0.04

29. Sello y colocación de Cowl Top Outer.

Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A PRENSA DE COWL TOP OUTER CON SELLO	NVA	0.06
2	OBTIENE COWL TOP OUTER	NVAN	0.04

3	CAMINA A UNIDAD	NVA	0.08
4	COLOCA TAPA DE COWL TOP OUTER EN LA UNIDAD	VA	0.17
5	CAMINA A RACK DE COWL TOP OUTER	NVA	0.06
6	OBTENER DEL CONTENEDOR PNL DEL COWL TOP OUTER	NVAN	0.07
7	CAMINAR CON PNL DEL CONTENEDOR A MESA DE APLICACIÓN DE SELLO	NVA	0.07
8	COLOCAR Y POSICIONAR EN PERNOS LOCALIZADORES DE LA MESA	NVAN	0.06
9	TOMA PISTOLA DE SELLO BLANCO ESM 4G60 Y POSICIONAR	NVAN	0.03
10	APLICA CORDON CONTINUO Y UNIFORME DE DIAMTETRO 3/8 SELLO BLANCO EN CEJA DE COWL TOP COMPARTIMIENTO CONDUCTOR	VA	0.28
11	REPOSICIONA PISTOLA DE SELLO	NVAN	0.03
12	APLICA CORDON CONTINUO Y UNIFORME DE DIAMTETRO 3/8 SELLO BLANCO EN CEJA DE COWL TOP COMPARTIMIENTO DE MOTOR	VA	0.25
13	RETIRA Y COLOCA PISTOLA DE SELLO EN RECOLECTOR (ENBUDO)	NVAN	0.03

30. Colocación de Back Panel.

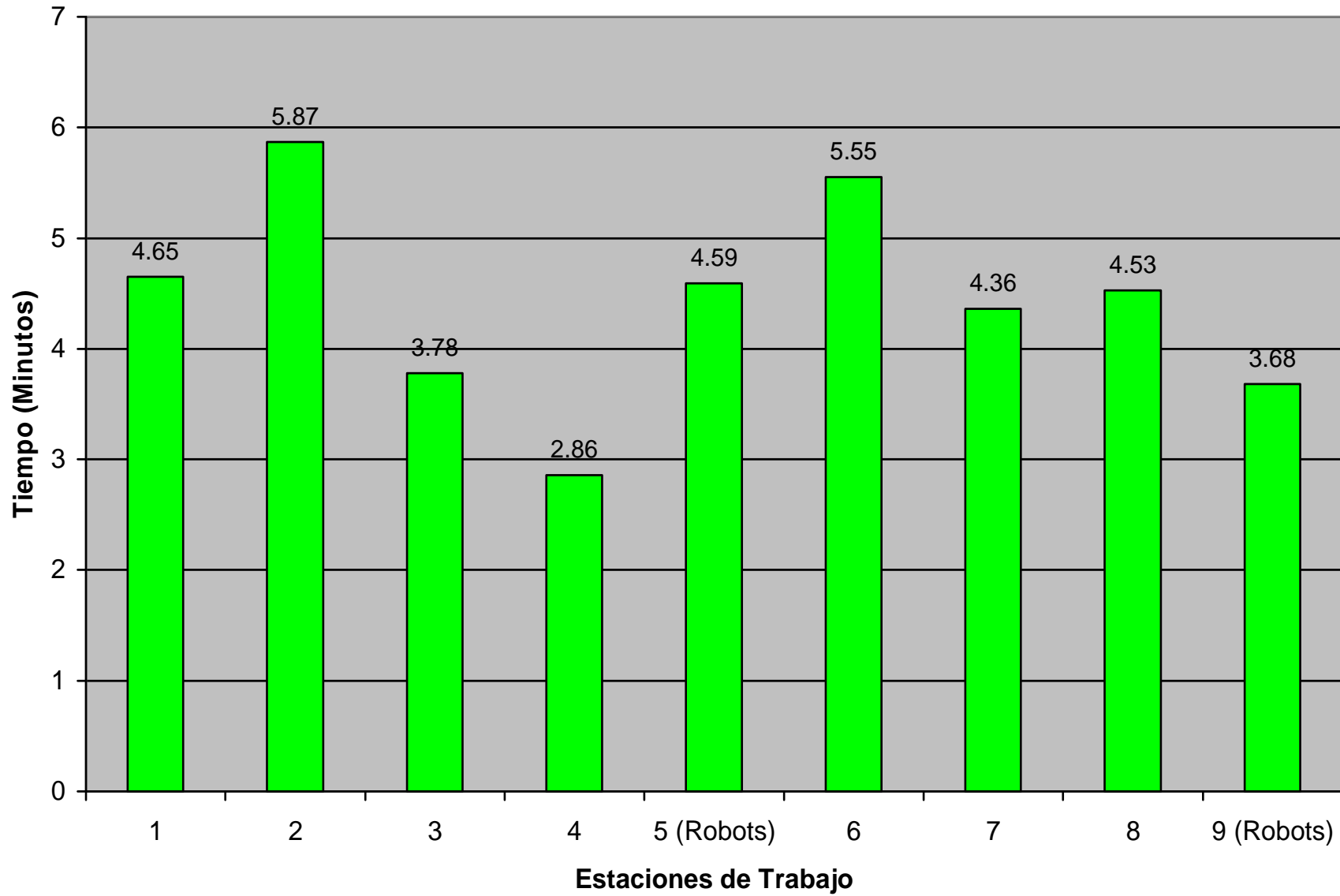
Paso.	Descripción del elemento.	Tipo de Valor	Tiempo en Minutos.
1	CAMINA A BOTONERA	NVA	0.04
2	OPRIME BOTON DE PRECARGA DE BACK PANEL	NVAN	0.03
3	OBTIENE GRAPAS DE SUJECCION DE BACK PANEL	NVAN	0.03
4	CAMINA A CONTENEDOR DE S/E DE BACK PANEL	NVA	0.04
5	OBTIENE BACK PANEL	NVAN	0.06
6	CAMINA A UNIDAD	NVA	0.09
7	COLOCA BACK PANEL EN UNIDAD	VA	0.07
8	COLOCA GRAPAS PARA SUJETAR BACK PANEL DEL LADO IZQUIERDO	VA	0.18
9	COLOCA GRAPAS PARA SUJETAR BACK PANEL DEL LADO DERECHO	VA	0.25
10	CAMINA A BOTONERA	NVA	0.06
11	OPRIME BOTON Y PASA UNIDAD A LA SIGUIENTE ESTACION	NVAN	0.04

31. Robots de Prensa Principal.

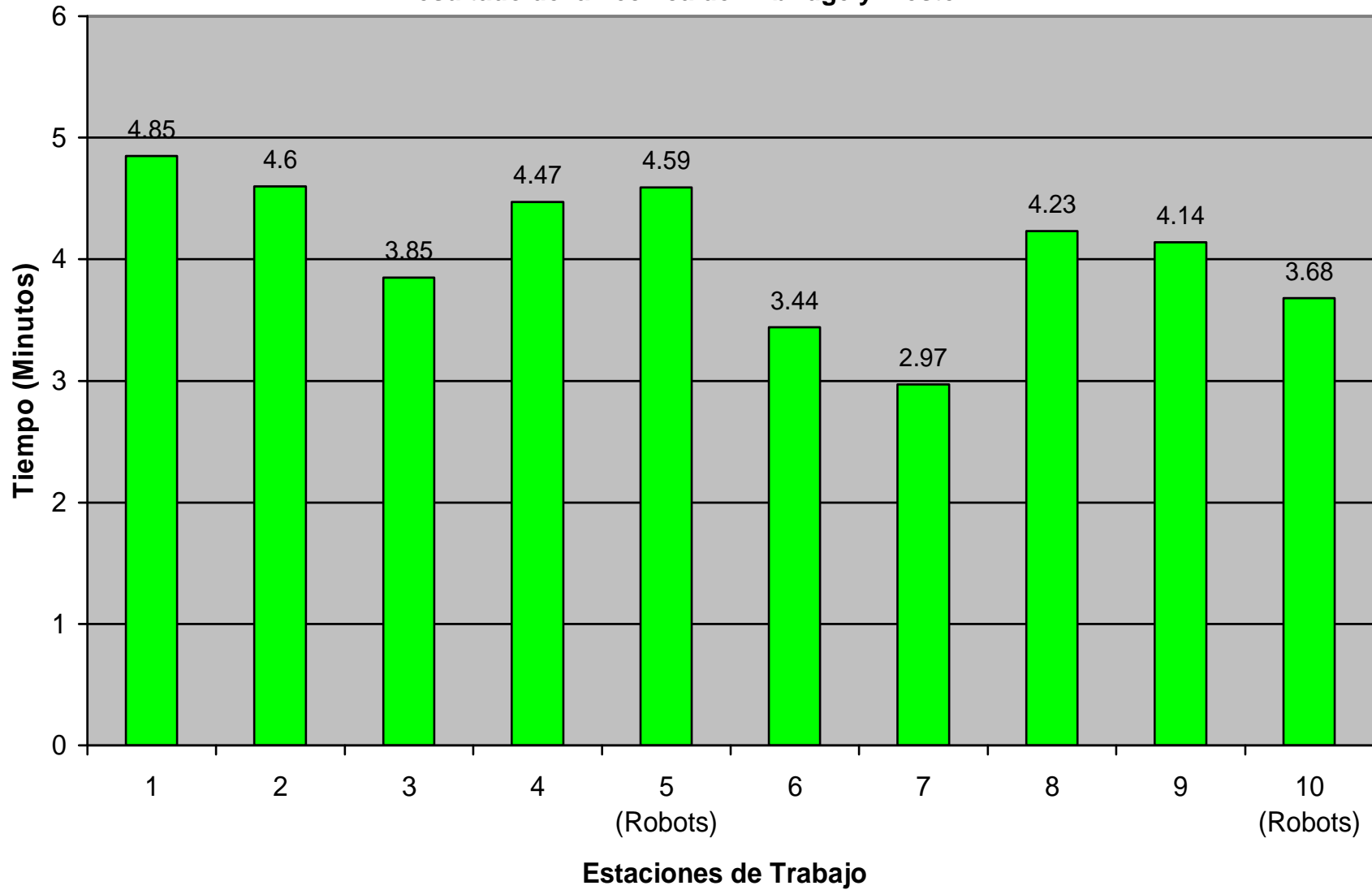
En esta actividad no se presenta el desglose de sus elementos debido a que son cuatro robots los que ejecutan la operación.

APÉNDICE E

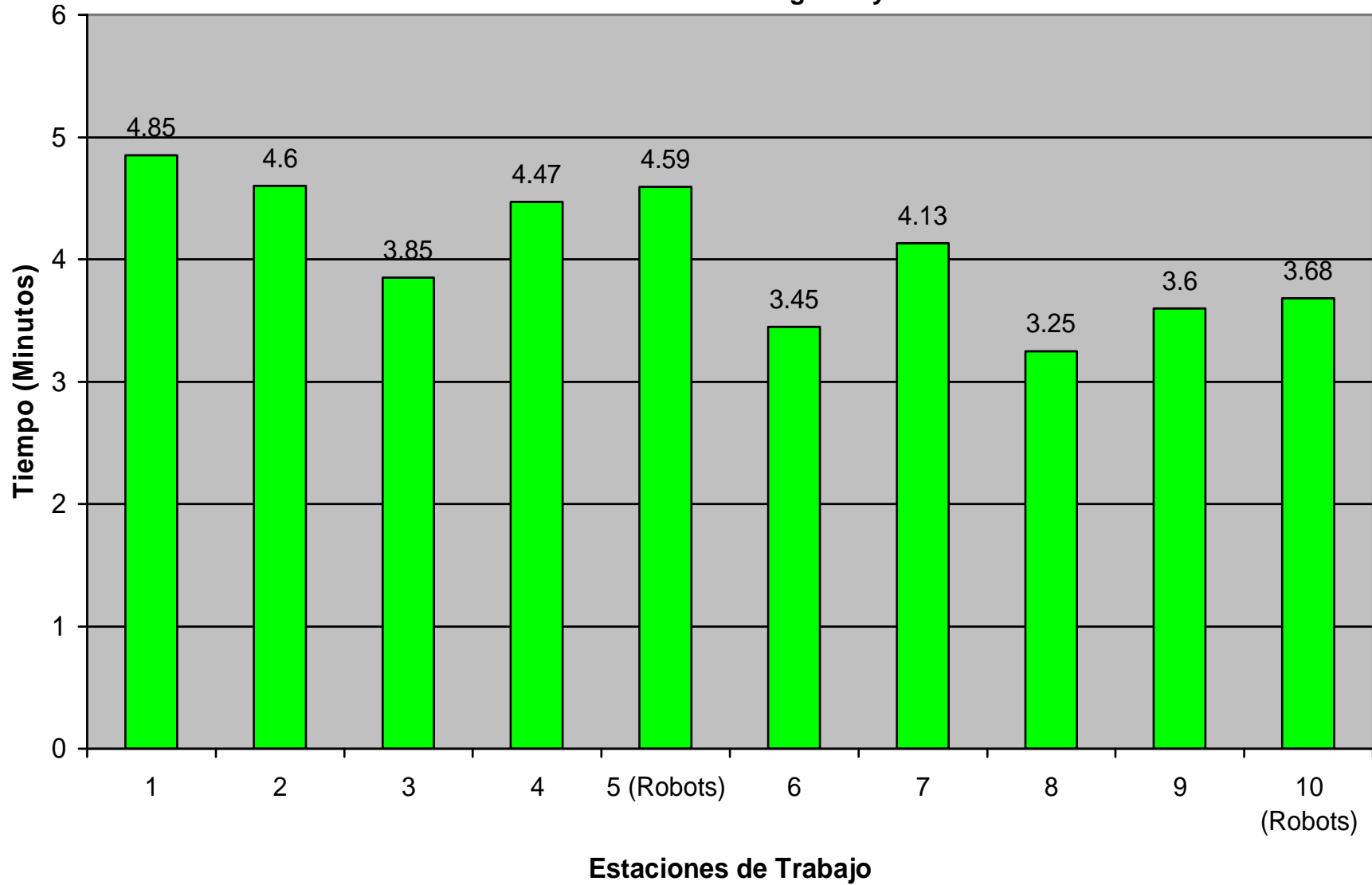
Yamazumi Board anterior con una demanda de 48 unidades.



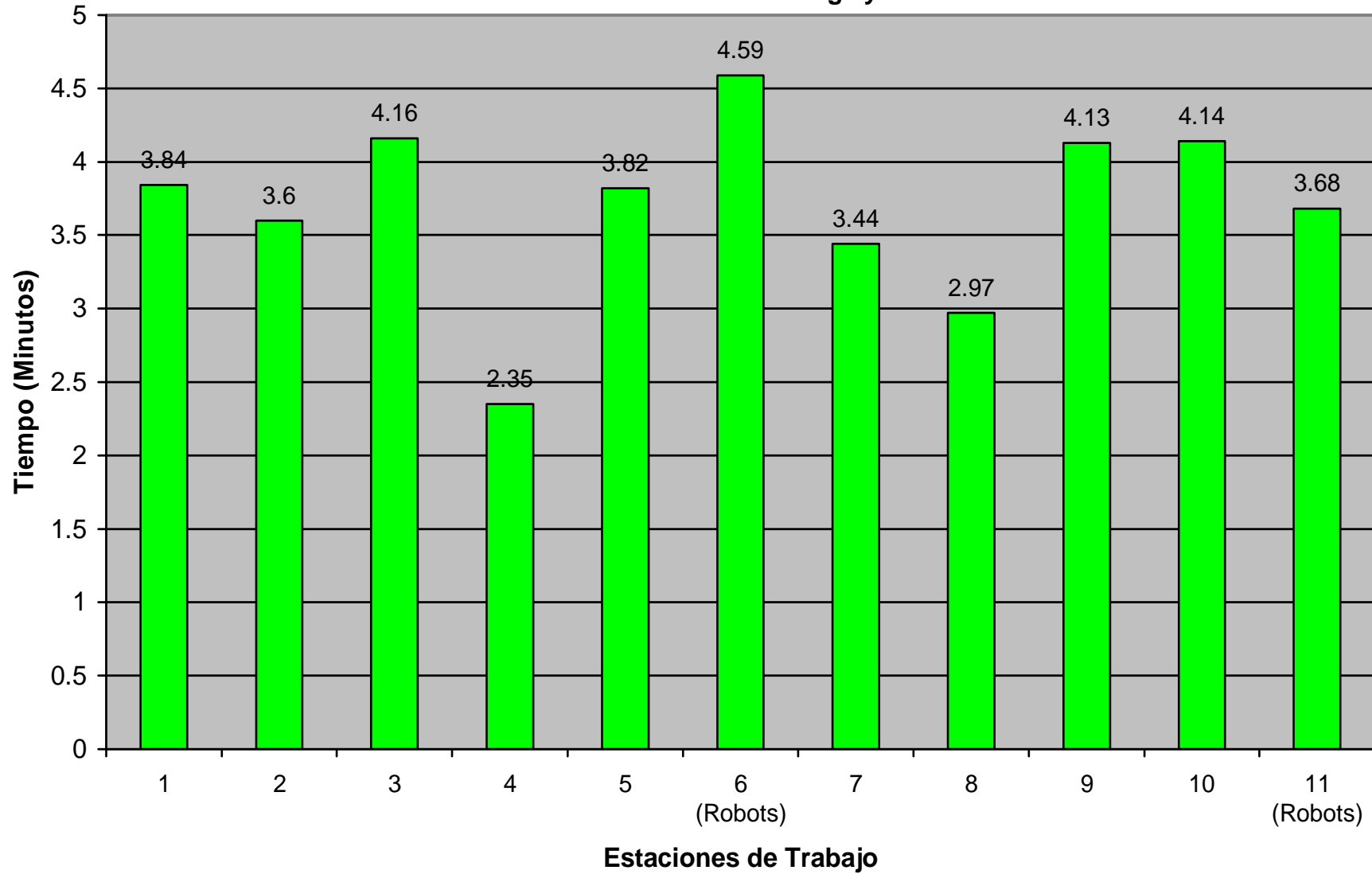
**Yamazumi Board para el periodo de Agosto – Septiembre
Resultado de la Técnica de Kilbridge y Wester.**



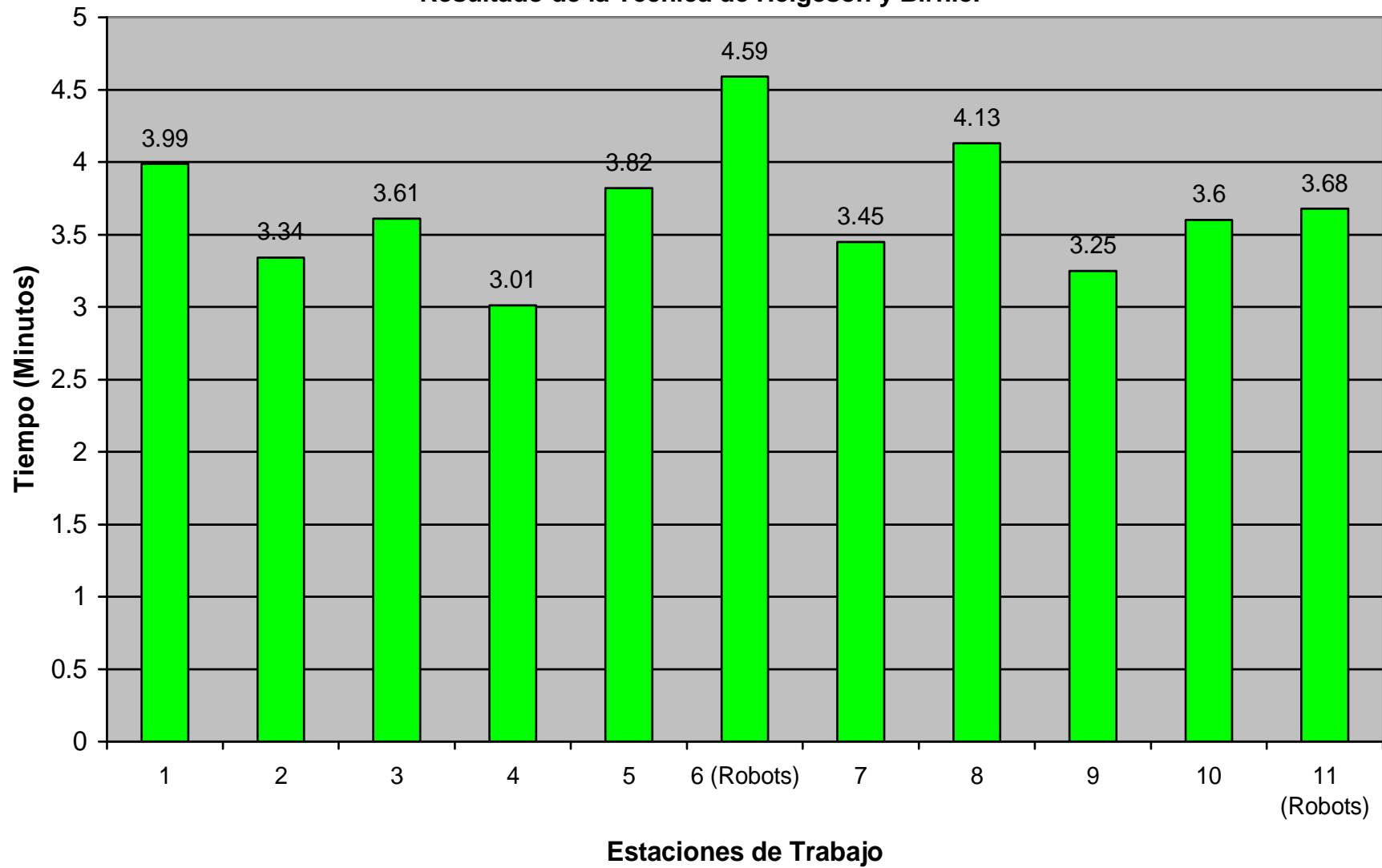
**Yamazumi Board para el periodo de Agosto – Septiembre
Resultado de la Técnica de Helgeson y Birnie.**



**Yamazumi Board para el periodo de Octubre – Noviembre – Diciembre.
Resultado de la Técnica de Kilbridge y Wester.**



**Yamazumi Board para el periodo de Octubre – Noviembre – Diciembre.
Resultado de la Técnica de Helgeson y Birnie.**



BIBLIOGRAFÍA.

Alfredo Vargas Díaz. Tesis. Factores a considerar en el balanceo de líneas de producción. 26 de Mayo de 2006. México D.F.

Benjamín W. Niebel. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Editorial Alfaomega. 9ª Edición. México D.F.

Benjamín W. Niebel, Andris Freivalds. Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Editorial Alfaomega. 11ª Edición. México D.F.

C. Ray Asfahl. Seguridad Industrial y Salud. Editorial Prentice – Hall Hispanoamérica. 4ª Edición. México 2000.

Edward V. Krick. Ingeniería de Métodos. Editorial Limusa. 1ª Edición. México 1977.

Elwood S. Buffa. Administración y Dirección Técnica de la Producción. Editorial Limusa. 1ª Edición. México 1977.

Elwood S, Buffa, William H. Taubert. Sistemas de Producción e Inventario. Planeación y Control. Editorial Limusa. 1ª Edición. México 1978.

Everett E. Adom, Jr. Ronald J. Ebert. Administración de la Producción y de las Operaciones. Conceptos, Modelos y Funcionamiento. Editorial Prentice – Hall Hispanoamérica. 4ª Edición. México.

Gavriel Salvendy. Manual de Ingeniería Industrial. Volumen I. Editorial Limusa. 1ª Edición. México 1991.

H. B. Maynard. Manual de Ingeniería de la Producción Industrial. Tomo II. Editorial Reverté. 1ª Edición. Barcelona.

James L. Riggs. Sistema de Producción. Planeación, Análisis y Control. Editorial Limusa. 1ª Edición. México 1980.

Jay Heizer, Barry Render. Dirección de la Producción. Decisiones Estratégicas. Editorial Prentice – Hall Hispanoamérica. 6ª Edición. España 2001.

John R. Immer. Manejo de Materiales. Editorial Hispanoeuropea S.A. 2ª Edición. Barcelona España.

Keith Luckyer. La Producción Industrial. Su Administración. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1ª Edición. México 1988.

Oficina Internacional del Trabajo. Introducción al Estudio del Trabajo. Editorial Limusa. 3ª Edición. Ginebra.

Oficina Internacional del Trabajo. Introducción al Estudio del Trabajo. Editorial Limusa. 4ª Edición. Ginebra.

Richard B. Chase, Nicholas J. Aquilano, F. Robert Jacobs. Administración de la Producción y de las Operaciones. Manufactura y Servicios. Editorial Mc Graw Hill. 8ª Edición.

Richard Muther. Distribución en Planta. Editorial Hispanoeuropea. 2ª Edición. Barcelona (España) 1970.

Robert W. Hall. Estrategias modernas de fabricación. (Original Zero Inventories) Tecnologías de gerencia y producción S.A. 1ª Edición. Madrid 1988.

Ronald P. Blake Seguridad Industrial. Editorial Diana. 1ª Edición. México 1970.