



46

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE MÉTODOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE ENSAMBLE DE INTERRUPTORES DE POTENCIA EN UNA INDUSTRIA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELÉCTRICAS

T E S I S :
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA MECÁNICO ELECTRICISTA

AREA: MECÁNICA

P R E S E N T A :

ELISA VERÓNICA JIMÉNEZ GUTIÉRREZ

DIRECTOR DE TESIS :

ING. SILVINA HERNÁNDEZ GARCÍA

150



MÉXICO, D.F.

2001.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi papá,
En profundo agradecimiento por
haberme enseñado a amar y a respetar
a mi País, a la Universidad, a la
ciencia, al arte ... a la vida.
Por ser un mexicano ejemplar, un
hombre justo, un profesional ético.
Pero sobre todo, por ser el mejor padre
que alguien puede tener.
Estoy muy orgullosa de ser tu hija.

A mi mamá,
Por que el día que yo pueda decir que
soy tan buena esposa y madre como
ella, ese día me sentiré completamente
realizada.
Ma, nadie escala el Everest solo.
¡Gracias por escalarlo conmigo!.

A mi hermano Javier,
Por que crecí admirándolo e
imitándolo y aunque hace mucho
tiempo deje de imitarlo; cada día que
pasa lo admiro más.

A mi hermana Jana,
Porque mi vida ha sido definitivamente
más divertida con ella.
Jana, estoy muy orgullosa de ti.

A mi tío Enrique,
Por creer en mí y siempre apoyarme.

Al Ing. Filiberto Cepeda y a la Ing.
Silvina Hernández,
Por su amistad y su apoyo en la
realización de ésta tesis.

A mis profesores y alumnos,
Porque de todos he aprendido y seguiré
aprendiendo

A mis amigos y amigas
Por todo lo que eso significa.

Para ti Andrés,
Por que quiero compartir contigo éste
y el resto de mis proyectos.
Por que el estar contigo me hace querer
ser una mejor persona.
Por ser el mejor esposo y
definitivamente el más divertido.
Por que te admiro profundamente
Te ama
Tu China

Índice

Introducción

- I. Industria de manufacturas eléctricas en México
 - I.1 Evolución de la industria de manufacturas eléctricas en México
 - I.2 Situación actual de la industria eléctrica en México
 - I.3 Acciones de transformación para la recuperación del sector de manufacturas eléctricas

- II Interrupción eléctrica
 - II.1 Introducción a la formación e interrupción de arcos eléctricos
 - II.1.1 Proceso de ionización y deionización de los gases
 - II.1.2 Descargas eléctricas
 - II.1.3 Características de los arcos eléctricos
 - II.1.3 Interrupción de corriente eléctrica
 - II.2 Tipos de interruptores eléctricos

- III Estudio de métodos del proceso de fabricación y ensamble de interruptores de potencia en un industria de manufacturas eléctricas en México.
 - III.1 Análisis del proceso
 - III.2 Análisis de la distribución de las áreas de trabajo
 - III.3 Resultados

- IV Propuesta para mejorar el proceso de ensamble de interruptores de potencia en una industria nacional de manufacturas eléctricas
 - IV.1 Propuesta de mejora del proceso y condiciones para los operarios
 - IV.2 Propuesta de distribución del área de trabajo
 - IV.3 Análisis económico de la propuesta

- V Comentarios y conclusiones

Introducción

La industria eléctrica y de manufacturas eléctricas es sin duda, un factor determinante para el desarrollo tecnológico, productivo y de calidad de vida de nuestro país. Esta ha garantizado durante muchos años el suministro de energía demandada por el aparato productivo nacional y ha permitido que los beneficios de la electricidad se extiendan a millones de hogares mexicanos. "Cabe recordar que de 1960 a 1993, la capacidad instalada aumentó 9 veces y la población atendida paso del 60% al 92%."¹

Los avances logrados en el sector hasta ahora, representan el trabajo de muchos ingenieros, técnicos y trabajadores mexicanos que se han esforzado por que el país cuente con un sector eléctrico que satisfaga la cada vez más creciente demanda de energía.

Hoy en día, ante el reto que significa formar parte de una economía internacional cuyo desarrollo es cada día más acelerado y considerando que la energía eléctrica es fundamental para el crecimiento de la planta productiva, México está obligado a responder a grandes necesidades de crecimiento de la capacidad de generación, transmisión y distribución de la energía, así como a la necesidad de hacer más eficiente la red eléctrica y mejorar su disponibilidad.

México requiere de una industria eléctrica y de manufacturas eléctricas moderna y eficiente, capaz de superar los retos impuestos por la apertura comercial y la internacionalización de la economía y que responda a las demandas de crecimiento y modernización del país.

Ante estos nuevos requerimientos, la industria eléctrica y de manufacturas eléctricas nacionales están obligadas a realizar acciones de transformación que les permitan responder a estos nuevos requerimientos y ser más productivas.

El propósito de este trabajo es el de realizar el estudio de trabajo de los métodos en los que se realizan las actividades de ensamble de interruptores de potencia en una de las 10 industrias de manufacturas eléctricas más importantes del país y realizar una propuesta de mejora con el fin de aumentar la productividad de la empresa, mejorar la calidad de vida de sus trabajadores y por consiguiente colaborar al fortalecimiento del sector eléctrico en nuestro país.

¹ "La Modernización del Sector Eléctrico", Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México: Centro de Investigaciones y Docencia Económicas, 1994, pp.83.

Para la anterior, se seleccionaron las actividades que habían que estudiarse, se recolectaron y registraron todos los datos relevantes al proceso, se analizaron cuidadosamente los datos y por último se planteo una propuesta de mejora del porceso en cuestión que pretende la reducción de los tiempos de ensamble en un 33%. Lo que tiene un efecto directo en la producción del 50% de los productos que se realizan dentro de la planta.

Capítulo I

La Industria de Manufacturas Eléctricas en México

El sector eléctrico enfrenta no solo en México sino en varios países, inmensos retos cuantitativos y cualitativos creados por una mayor demanda de electricidad y un mejor servicio. “Algunos estudios estiman que el crecimiento del sector eléctrico en los países desarrollados será de 5.4% anual durante el periodo de 1990-2010.”²

La Secretaría de Energía ha determinado que la capacidad de generación de energía en México debe aumentar de 34,791 MW instalada en 1996 a 54,534 MW para el año 2007.³ Por lo anterior, se deberán aumentar las inversiones actuales de 50 mil millones de pesos a 70 mil millones de pesos.⁴

1.1 Evolución de la industria de manufacturas eléctricas en México

Antes de la Revolución Mexicana ya se habían creado algunas condiciones básicas para la evolución de la industria: el sistema ferroviario, la generación de electricidad, avances en la siderurgia, en el sector textil, en el minero y en otras áreas productivas. Después de la lucha armada, se inició un nuevo esfuerzo de desarrollo industrial apoyado en la Constitución, que facilitó el desarrollo económico y social del país.

Otros acontecimientos también tuvieron una fuerte influencia en el desarrollo de la industria eléctrica como la expedición de 1937 que dio origen a la Comisión Federal de Electricidad, la promulgación de la Ley de la Industria Eléctrica de 1938 y la Ley Orgánica de Industrias de la Transformación de 1941, modificada en 1945. Por este último, se otorgaron significativas exenciones fiscales a las nuevas industrias en cuanto a la importación de maquinaria, equipo, materia prima y subproductos.⁵

Los acontecimientos mencionados y programas posteriores como el programa de electrificación rural de 1952, la unificación de frecuencias de 1974 a 1979 y el programa de sustitución de importaciones y de

² Blanco Mendoza, Herminio, *“Las Negociaciones Comerciales de México con el Mundo”*, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp188-192.

³ “Electric Power Equipment” ISA990801. Internet. Febrero 2000: <http://strategis.ic.gc.ca.html>

⁴ *“La Modernización del Sector Eléctrico”*, Secretaría de Energía, Minas e industria Paraestatal, México: Centro de Investigaciones y Docencia Económicas, 1994, pp.82.

⁵ Adame Miranda Julián, Fabricación Nacional de Equipo Eléctrico en *“El Sector Eléctrico de México”*, Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp220.

fomento a la fabricación nacional de 1980 colaboraron al establecimiento en México de nuevas compañías manufactureras de equipo eléctrico y a que otras iniciaran nuevas líneas de producción.⁶

En 1933 se inició la fabricación de conductores de cobre por la compañía Anaconda-Pirrelli y la de baterías por ESB de México.⁷

En 1946 se establecieron las compañías IEM y General Electric en nuestro país e iniciaron paralelamente a la compañía Fabricantes Guanajuato- la fabricación de transformadores. En 1948 ya se fabricaban en México tableros, motores, soldadoras, e instrumentos de medición.

De los años 70's a finales de los 80'S se ejecutaron grandes proyectos que provocaron fuertes inversiones en la fabricación de bienes de capital, se inició la fabricación de transformadores de 400 kV, interruptores de 230 y 400 kV, cables de energía para sistemas de 69 y 115 kV, motores de gran capacidad, buses de fase aislada, componentes para turbinas hidráulicas, bombas de alimentación para unidades de 350 MW, válvulas para centrales geotérmicas y se aumentó la fabricación de generadores de vapor.⁸

En estos años se logró una integración nacional del 70% en todos los equipos de generación, transformación, transmisión y distribución de energía eléctrica, fundamentalmente con inversiones de origen nacional.⁹

1.2 Situación actual

La industria de manufacturas eléctricas ha sufrido en los últimos años una profunda transformación creada por 2 acontecimientos:

1. La apertura comercial previa y posterior al TLC.
2. La crisis económica sufrida en el país en 1994.

⁶ Adame Miranda Julián, Fabricación Nacional de Equipo Eléctrico en "*El Sector Eléctrico de México*", Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp220.

⁷ Adame Miranda Julián, Fabricación Nacional de Equipo Eléctrico en "*El Sector Eléctrico de México*", Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp221.

⁸ Adame Miranda Julián, Fabricación Nacional de Equipo Eléctrico en "*El Sector Eléctrico de México*", Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp221.

⁹ Adame Miranda Julián, Fabricación Nacional de Equipo Eléctrico en "*El Sector Eléctrico de México*", Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp222.

Como consecuencia de éstas, el sector de manufacturas eléctricas se vio fuertemente deteriorado y sufrió una considerable reducción en el número de empresas que lo constituyen. Prácticamente desaparecen todas las industrias manufactureras de interruptores de potencia y se dejan de fabricar los buses de fase aislada.¹⁰ Lo anterior obliga a las empresas que permanecen en el sector a tomar ciertas acciones de transformación en busca de la calidad y la productividad.

La tabla 1.1 muestra el porcentaje de permanencia de las empresas de manufacturas eléctricas de una muestra representativa, de 1991 a 1997 por tamaño de empresa.

Tabla 1.1 Número de Empresas			
	1991	1997	Permanencia
Micros	34	16	47%
Pequeñas	84	41	49%
Medianas	45	22	49%
Grandes	60	57	95%
Total muestra	223	136	61%
Fuente: Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas			

Las cifras de la tabla 1.1 muestran que aproximadamente el 40% de las empresas de manufacturas eléctricas ha desaparecido, siendo las micros, pequeñas y medianas empresas las más afectadas. Las empresas nacionales que han logrado la permanencia en el sector se encuentran hoy en día, debido a la apertura comercial, compitiendo ante empresas con mayor capacidad financiera y con un nivel superior de desarrollo, por lo que se enfrentan a difíciles retos y grandes compromisos.

Dentro de este contexto de competencia mundial, conceptos como calidad, competitividad y precio cobran mayor importancia. La industria de cualquier país deberá tomar en cuenta los aspectos anteriores para sobrevivir.

A pesar de la reducción en el número de empresas y la disminución en las importaciones debida a la crisis económica de 1994, hoy en día el sector de manufacturas eléctricas se encuentra en recuperación y se espera su continuo crecimiento en los próximos años. Este sigue caracterizándose por su alta densidad

¹⁰ Reséndiz Núñez, Daniel, *"El Sector Eléctrico de México"*, Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994, pp.223

económica. Los promedios de ventas por unidad productora obtenidos por la Comisión Nacional de Manufacturas Eléctricas (CONAME) en 1996 son superiores a los 12 millones de pesos por unidad.

Como podemos observar en la tabla 1.2 la mayor parte de las empresas pertenecientes al sector producen bienes de capital (conductores, materiales, accesorios, motores y generadores) y representan aproximadamente el 85% de las empresas de manufacturas eléctricas de nuestro país, mientras que el otro 25% produce electrodomésticos, focos y otros servicios.

Tabla 1.2 Empresas y Producción por rama				
	Número de empresas		Producción Total	
	1991	1997	1991	1997
Empresas que operan en varias ramas	6%	18%	13.3%	32.3%
Motores y generadores	5%	4%	2.0%	3.2%
Transformadores	8%	6%	4.4%	6.7%
Acumuladores, pilas secas y baterías	4%	4%	5.9%	2.8%
Tableros	6%	4%	1.6%	0.5%
Conductores	12%	14%	26.7%	14.1%
Elevadores y Montacargas	1%	3%	1.2%	1.0%
Materiales y accesorios	25%	24%	13.5%	7.8%
Otros equipos y sistemas	22%	8%	8.8%	1.9%
Bienes de capital	89%	85%	77.4%	70.3%
Electrodomésticos	5%	7%	18.7%	22.7%
Focos y tubos eléctricos	1%	4%	3.0%	6.5%
Servicios	5%	4%	0.8%	0.6%
Fuente: Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas				

La mayoría de las empresas nacionales son pequeñas o medianas. Varias de las grandes empresas pertenecen a grupos extranjeros que realizan operaciones de manufactura en el país por lo que califican como empresas nacionales. En 1998, la producción nacional fue dividida de la siguiente manera entre las principales manufactureras del país¹¹:

Condumex	26.2%
ABB Sistemas	13.6%
General Electric	11.8%
Siemens	10.3%
Square D Company	5.5%
Latincasa	5.1%
Industrias Conelec	4.8%
Elamex	4.6%
Federal Pacific	2.3%
Telemecanique	1.4%
SyC Selmec	1.1%
Otros	13.6%

El valor del mercado de manufacturas eléctricas en México según el reporte ISA990801 para 1998, fue estimado en 425 millones de dólares por año, 24.5% más alto del estimado para 1997¹². Lo que indica un crecimiento considerable y apunta hacia la recuperación. La tabla 1.3 muestra el valor del mercado en 1998, 1999 y el valor esperado para el año 2000.

¹¹ "Electric Power Equipment" ISA990801. Internet. Febrero 2000: <http://strategis.ic.gc.ca.html>

¹² "Electric Power Equipment" ISA990801. Internet. Febrero 2000: <http://strategis.ic.gc.ca.html>

Tabla 1.3 Mercado de manufacturas eléctricas				
	1998 Millones de dólares	Proyectado 1999 Millones de dólares	Proyectado 2000 Millones de dólares	Porcentaje de crecimiento anual proyectado a 2 años.
Producción nacional	433.00	500.0	584.10	15%
Importaciones	2,942.12	3,236.11	3,559.10	10%
Exportaciones	2,950.00	3,215.10	3,523.10	9%
Mercado total	425.12	521.00	620.10	19%
Fuente : Bancomext				

Como se muestra en la tabla 1.2, en términos de valores, la producción nacional es la suficiente para satisfacer el mercado total y un pequeño excedente para exportaciones. Sin embargo, no todas las empresas nacionales cuentan con la capacidad financiera y la calidad requerida para introducir sus productos en otros países. Son las grandes empresas las que realizan la mayoría de las exportaciones de equipo eléctrico.

En 1998 las importaciones tuvieron un valor casi 7 veces el valor del mercado total y casi igual al valor de las exportaciones. Esto se debe a que México juega un papel importante como ensamblador de productos terminados de origen extranjero y con fines de exportación.

1.3 Acciones de transformación para la recuperación y el crecimiento del sector de manufacturas eléctricas

Las empresas nacionales pertenecientes al sector de manufacturas eléctricas intentan contrarrestar los limitantes de crecimiento y permanencia, realizando acciones de transformación que les permita la adaptación al nuevo entorno y responder a las grandes necesidades de crecimiento de nuestro país. Algunas empresas ya realizan o están por realizar acciones de transformación que les permitan ser más productivas. La siguiente tabla muestra los resultados de las encuestas realizadas por la Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas (CANAME) en la que se analizan 14 factores principales que limitan a las empresas.

Tabla 1.5 Factores que limitan el crecimiento de la empresa	
Factor	%
Menor demanda del sector público	6
Menor demanda de particulares	12
Rezago en pagos gubernamentales	6
Difícil acceso a exportaciones	9
Difícil acceso a financiamientos	9
Escasa liquidez	6
Altos costos financieros	12
Excesivos trámites gubernamentales	9
Suministros nacionales	9
Suministros importados	0
Disponibilidad de mano de obra calificada	6
Disponibilidad de mano de obra no calificada	3
Acceso a tecnología adecuada	9
Escasa información sobre demandantes	6
Fuente: Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas	

Los resultados arrojados por la encuesta muestran que los factores que limitan mayormente a las empresas son los altos costos financieros, la escasa demanda por particulares, la escasa liquidez y las dificultades para acceder a mercados extranjeros. Ante esta situación, el sector de manufacturas eléctricas debe continuar con el proceso de transformación iniciado ya en algunas empresas que tiende hacia la reingeniería de procesos, el uso de sistemas informáticos y la capacitación de mano de obra en función de los nuevos requerimientos de la producción.

Según los datos publicados por la CONAME alrededor del 40% de las empresas habían comenzado ya en 1998 con el proceso de transformación de la industria de manufacturas eléctricas.

La importancia de la industria eléctrica y de manufacturas eléctricas para el desarrollo del país aumenta conforme aumenta la demanda de generación, distribución y transmisión de energía. Sin embargo, nuestra industria se ha visto deteriorada por los acontecimientos mencionados anteriormente y no ha podido lograr el crecimiento y fortalecimiento requerido.

Hoy en día, es necesario que las empresas que han logrado permanecer en el sector sean capaces de adaptarse al nuevo entorno por medio de la optimización de sus procesos administrativos y de producción y la adaptación de nueva tecnología.

Para lograr la recuperación y el crecimiento del sector cada vez debe ser mayor el número de empresas que realicen este tipo de acciones buscando ser más productivas, y por ende más competitivas.

→

Capítulo II

Interrupción Eléctrica

Desde el comienzo de la utilización de la corriente eléctrica surge la necesidad de inventar un aparato capaz de iniciar e interrumpir dicha corriente en condiciones normales y anormales de operación, que sirva como sistema de protección. Estos aparatos han sido utilizados desde sus inicios y su aplicación sigue siendo de suma importancia en nuestros días.

El transporte de energía eléctrica se realiza de forma más económica y eficiente con niveles altos de tensión y entre mayor sea el nivel de tensión menor es el costo y mayor la eficiencia de la transmisión. El impedimento principal para usar niveles altos de tensión es la capacidad de los sistemas de protección que se utilicen, es decir, de los interruptores.

Los primeros interruptores de los que se tiene noticia fueron utilizados por Oersted, Ampere y Faraday¹³ y usaban el mercurio como medio de extinción de la corriente eléctrica. Más tarde estos interruptores fueron reemplazados por el diseño de cuchilla que sigue siendo utilizado hasta la fecha en algunas aplicaciones de bajo voltaje.

Durante los últimos 50 años se han desarrollado más de 5 sistemas diferentes de interrupción. Si se considera que el tiempo de desarrollo de un producto de este tipo es aproximadamente de entre 5 a 7 años -ya que es una máquina compleja que requiere de diseño eléctrico, diseño mecánico, materiales y control- y el periodo de aprobación dura alrededor de 2 años, podemos notar que existe un gran dinamismo en el sector.

Existen diferentes tipos de interruptores, dependiendo del medio en el que se realiza el corte de la energía eléctrica: de aire, de vacío, de aire comprimido y de hexafluoruro de azufre (SF₆) y cada tipo se utiliza para diferentes aplicaciones.

¹³ Garzon, D. Ruben, *High voltage circuit breakers. Design and applications*, New York: Marcel Dekker Inc, 1996, pp 2

2.1 Introducción a la formación e interrupción de arcos eléctricos

El proceso de interrupción utilizado hoy en día, consiste en formar un arco eléctrico entre dos contactos separados por un gas y extinguirlo privando al gas de sus capacidades conductivas. El proceso se basa esencialmente en los métodos de formación e interrupción de arcos eléctricos, logrando la formación del mismo por medio de la ionización del gas y su extinción por medio de la deionización. Se ha reconocido, que el arco eléctrico constituye una base indispensable y un elemento activo en el proceso de interrupción de la corriente eléctrica.

Existen dos formas básicas para detener o interrumpir la corriente que viaja por un conductor:

1. Reduciendo el potencial conductor a cero.
2. Separando o creando una abertura en el conductor de la corriente eléctrica.

La segunda forma ha sido la más utilizada a lo largo de la evolución de los interruptores; desde los primeros constituidos por un par de rodillos que se sumergían en mercurio hasta aquellos que utilizan gases como el hexafluoruro de azufre o el vacío para lograr la extinción del arco eléctrico.

2.1.1 Proceso de ionización y deionización de los gases

Para entender los procesos de formación e interrupción de arcos eléctrico es conveniente analizar de manera breve los procesos de ionización y deionización de los gases, basados en la teoría atómica elemental.

Proceso de ionización

“Un átomo está formado por un núcleo pequeño, denso y con carga positiva, rodeado por una distribución difusa de partículas con carga negativa llamadas electrones”¹⁴. Si el número de protones que contiene el núcleo es igual al número de electrones del átomo, se dice que el átomo es eléctricamente neutro o que se encuentra en estado neutro. El átomo neutro es capaz de ceder o perder uno de sus electrones y formar un ion positivo. Si lo anterior ocurre dentro de un campo eléctrico, consecuentemente el ion positivo será atraído por el electrodo negativo o cátodo y el electrón libre por el electrodo positivo o ánodo. La

¹⁴ Whitten, Kennet W., Whitten, Kennet D., Davis & Raymond E., *Química General*, (Traducción María Teresa Aguilar Ortega), (2ª. Ed.), México: McGraw-Hill, 1992, pp 39

velocidad a la que es atraído el electrón es mucho mayor que la velocidad del ion positivo, esto se debe a que la masa del ion es significativamente mayor que la masa del electrón.

La trayectoria que recorre el electrón dentro del campo eléctrico no es completamente libre. Ya que existen dentro de éste otros átomos el electrón puede estar sujeto a diversas fuerzas de atracción o repulsión. Suponiendo que el electrón libre choca con otro átomo dentro del campo eléctrico. En éste caso, existen como resultado varias posibilidades que dependen de la cantidad de energía del electrón libre y de la velocidad a la que es atraído ¹⁵:

1. Si la energía del electrón libre es baja, solamente será capaz de desviar su trayectoria, ya que no posee la energía suficiente para cambiar a un electrón de órbita.
2. Si la energía del electrón libre está por arriba del nivel mínimo, podrá ocasionar que el electrón dentro del átomo cambie temporalmente de órbita.
3. Si la energía del electrón libre es la suficiente, podrá forzar al electrón del átomo a salir de su órbita formando así un ion positivo y dejando otro electrón libre.

Esta última opción trae como consecuencia la formación de más iones positivos y electrones libres dentro del campo eléctrico y se conoce como proceso de **ionización por coacción** y permite mantener un flujo de corriente eléctrica entre los electrodos. La anterior no es la única forma de obtener la ionización del gas entre los electrodos; el proceso se puede lograr también por los siguientes métodos:

- **Ionización térmica**

El proceso de ionización térmica como su nombre lo indica se obtiene aumentando la temperatura del gas entre los electrodos. El aumento de la temperatura en el gas provoca que las coaliciones entre las moléculas del gas se violenten. Las coaliciones entre las moléculas provocan que los electrones de los átomos se muevan a órbitas con niveles de energía mayor, obteniendo así lo que se conoce como moléculas en estado de excitación. Estas moléculas requieren de una cantidad menor de energía para expulsar a uno de sus electrones, por lo que facilitan la formación de iones positivos y electrones libres. Si la temperatura es la suficiente puede inclusive lograr la división de las moléculas en sus átomos constitutivos, lo que se conoce como proceso de disociación y si la temperatura es aun mayor puede separar algunos electrones de sus átomos provocando la ionización del gas.

¹⁵ Mortlock, J.R., *A.C. Switchgear*, London: Chapman & Hall, [s.f], pp 223-224

- **Foto-ionización**

La foto-ionización es obtenida cuando un ion positivo absorbe un electrón libre y emite un fotón. El fotón emitido es capaz de provocar la ionización de un átomo en algún otro lugar del campo ya que contiene la suficiente energía para dividir al átomo en un ion positivo y un electrón libre.

El proceso de ionización hace posible el reemplazo de las cargas eléctricas del gas entre los electrodos y por lo tanto permite que la corriente eléctrica se mantenga entre los electrodos.

Proceso de deionización

El proceso de deionización es el proceso opuesto al proceso de ionización y es el encargado de la extinción del arco eléctrico. Cuando el objetivo es lograr la interrupción de la corriente eléctrica, más que hablar de arcos encendidos continuamente nos debemos enfocar a aquellos arcos que se encuentran en proceso de extinción. Al igual que la ionización, la deionización se puede alcanzar por medio de varios factores:

- **Recombinación**

Cuando se forma un arco eléctrico se tiene el mismo efecto que en una bobina¹⁶; las velocidades relativas de los iones y electrones dentro del arco eléctrico son tan grandes que ayudan a la ionización pero alrededor de éste se forma un espacio en el que las partículas se difunden y reducen su velocidad a tal grado que los iones positivos y los electrones libres se recombinan, es decir, los iones positivos absorben a los electrones libres. El resultado de este proceso es una disminución en el número de iones positivos y electrones libres y un aumento en el número de partículas neutras, lo que dificulta el mantener la corriente eléctrica entre los electrodos.

- **Enfriamiento**

Al enfriar un gas sucede el efecto inverso que al aumentar su temperatura, las velocidades a las que chocan las moléculas disminuyen, por lo que el número de iones positivos y electrones libres

¹⁶ Mortlock, J.R., *A.C. Switchgear*, London: Chapman & Hall, [s.f], pp.232

formados dentro del campo eléctrico es menor y aquellos que ya fueron formados, al reducir su velocidad, aumentan la capacidad de recombinarse y formar más partículas neutras.

- **Presión**

Al aumentar la presión de un gas el espacio entre sus partículas disminuye. lo que obstaculiza la trayectoria de los electrones libres y evita que las velocidades de estos sean mayores ayudando así a que las partículas se recombinen y evitando que se lleve a cabo la ionización por coalición.

2.1.2 Descargas eléctricas

Las descargas eléctricas pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Descargas no automantenidas
- b) Descargas automantenidas

Descargas no automantenidas

Como se mencionó anteriormente, al aplicar un voltaje entre dos electrodos se establece una fuerza que atrae a los iones positivos hacia el cátodo y a los electrones hacia el ánodo; al chocar con los electrodos ceden su carga y producen una pequeña corriente eléctrica a través del gas o médium que se encuentra entre los electrodos. Dicha corriente eléctrica se incrementa de manera proporcional al aumento del voltaje aplicado, hasta llegar a cierto nivel en el que todos los iones y electrones que se han producido por agentes externos se ven involucrados en el proceso y la corriente se estabiliza en un valor casi constante e independiente del aumento del voltaje dentro de cierto rango. Este nivel de equilibrio se conoce como límite de saturación.

Si el voltaje aumenta lo suficiente, el campo eléctrico alcanza un valor que logra la ionización de más átomos y la corriente comienza a aumentar nuevamente; pero si en éste punto removemos los agentes externos que han provocado la ionización la corriente cesa. Por ésta razón este tipo de descargas se conoce como descargas no automantenidas. Estas descargas no son capaces de mantenerse encendidas por si solas, necesitan la ayuda de agentes externos para mantenerse.

Si aumentamos aun más el voltaje, el proceso de ionización sigue en ascenso y se llega al punto en el que por cada electrón que llega al ánodo se libera uno del cátodo por mecanismos no externos, la corriente crece rápidamente y se produce una avalancha de electrones que origina una chispa y establece una descarga automantenida, es decir, una descarga que puede mantenerse encendida sin la ayuda de agentes externos.

Descargas automantenidas

Una vez producida la chispa, la intensidad de la corriente depende del voltaje y de la impedancia del circuito. Si la corriente es limitada por la impedancia del circuito o por los electrones disponibles en el gas, se produce una descarga brillante y el voltaje permanece constante dentro de cierto rango de intensidad de corriente. Si la impedancia es baja y la corriente excede cierto valor crítico, el voltaje cae significativamente y se desarrolla un arco eléctrico. El arco eléctrico representa el elemento principal en la formación e interrupción de la corriente eléctrica.

2.1.3 Características de los arcos eléctricos

Los arcos eléctricos pueden desarrollarse a presiones altas, atmosférica, presiones bajas o al vacío, en diferentes tipos de gases o vapor de metales, lo que provoca algunas diferencias entre los diferentes tipos de arco y sus características. En la tabla 2.1 se mencionan algunas características fundamentales de los arcos eléctricos que juegan un papel importante en el proceso de interrupción.

Tabla 2.1 Características principales de los arcos eléctricos

Presión	<ul style="list-style-type: none"> • Arcos eléctricos de alta presión se desarrollan a presiones mayores o iguales a la presión atmosférica. • Arcos eléctricos de baja presión se desarrollan a presiones menores a la atmosférica o en condiciones de vacío.
Constitución	<p>Los arcos eléctricos están constituidos por gases ionizados que forman una bobina encendida brillante.</p>
Temperatura	<p>Las temperaturas de los arcos eléctricos de alta presión son aproximadamente las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo condiciones normales de enfriamiento 6000 °K • Bajo enfriamiento forzado 20000 °K; esto se debe a que el diámetro del arco se reduce y provoca un aumento en la densidad de la corriente eléctrica. <p>En éstos arcos la temperatura de los electrones, iones y partículas neutrales es aproximadamente la misma.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La temperatura de los electrones en los arcos de baja presión es notablemente mayor que la de las otras partículas
Comportamiento eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Los arcos eléctricos son fácilmente influenciados y distorsionables por la acción de campos magnéticos o por la acción de fluidos a alta presión. • Comportamiento no lineal y similar a un resistor ohmico (La energía que absorbe el arco es igual al producto de la caída de voltaje y la corriente que pasa por el área del arco eléctrico)
Comportamiento térmico	<p>Presentan equilibrio térmico en estado estable, por lo que se comportan como un gas caliente y satisfacen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecuaciones de masa, momentum y energía. • Leyes de la termodinámica • Leyes de Maxwell
Material de los electrodos	<ul style="list-style-type: none"> • En arcos de baja presión la influencia del material es mayor ya que la columna positiva del arco está formada por el metal vaporizado de los electrodos. • En arcos de alta presión la influencia no es tan significativa ya que la columna está constituida por los gases ionizados que rodean al electrodo.

Voltaje en los arcos eléctricos

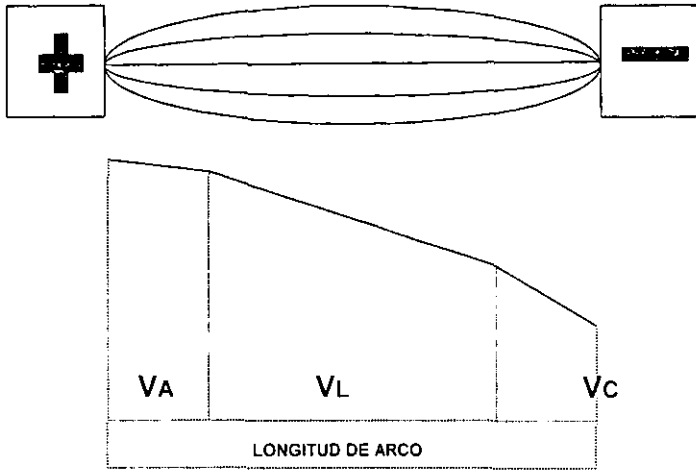


FIGURA 2.1 DISTRIBUCION DE VOLTAJE EN EL ARCO ELECTRICO

La figura 2.1 representa la distribución de voltaje a lo largo de un arco eléctrico dividida en tres diferentes regiones. V_A representa la caída de voltaje en la región cercana al ánodo, V_C la distribución cercana al cátodo y V_L la distribución entre las dos regiones anteriores.

En arcos eléctricos de alta presión normalmente se presenta una caída de voltaje V_A de entre 5 y 10 volts, V_C es función del material del cátodo y es aproximadamente de entre 10 y 25 volts y V_L se presenta en función de un gradiente longitudinal uniforme que depende del tipo de gas entre los electrodos, de la presión del gas, de la intensidad de corriente y de la longitud de arco.

En arcos eléctricos de baja presión se presenta un voltaje promedio a lo largo del arco eléctrico de alrededor de 40 volts, lo que es significativamente menor al promedio de voltaje en arcos de alta presión, pero la diferencia fundamental entre los arcos de baja presión y los arcos de alta presión es la capacidad que tienen los primeros de presentarse en dos modos distintos: difuso y constricto.

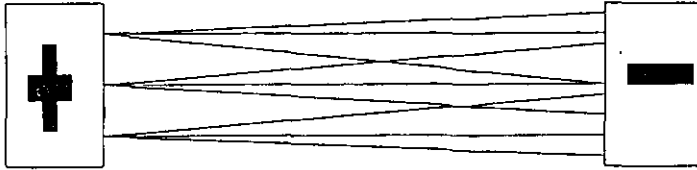


FIGURA 2.2 ARCO ELECTRICO DIFUSO

Los arcos eléctricos en modo difuso se presentan como varios arcos paralelos. Las raíces de los arcos nacen en el ánodo y llegan a diferentes puntos en el cátodo que se mueven rápidamente. Si se aumenta la corriente hasta cierto punto –dependiente del material de contacto– las raíces de los arcos se concentran en un punto en el ánodo mientras que los puntos en el cátodo se mantienen dispersos y móviles (figura 2.2). Si la corriente aumenta aun más, aparece un solo punto en cada electrodo y el arco se transfiere a modo difuso (figura 2.1). Cerca del punto en el que la corriente alcanza el cero natural el arco regresa a modo difuso. Entre mayor sea el tiempo en el que el arco permanece en modo difuso, mayor será la capacidad interruptiva del aparato.

2.1.4 Interrupción de corriente eléctrica

El proceso de interrupción de la corriente eléctrica se ve influenciado tanto por las características del sistema como por la capacidad del arco para almacenar calor. Si se trata de la interrupción de corriente directa, la corriente debe ser forzada a cero para lograr la extinción; si se trata de corriente alterna el cero se obtiene de manera natural dos veces por ciclo y el proceso solamente debe evitar la reignición del arco.

Existen dos maneras distintas de forzar la corriente directa a cero:

1. Aumentando el voltaje del arco a un nivel igual o mayor al voltaje del sistema; ya sea elongando la columna del arco, aumentando la presión o dividiendo el arco en varios pequeños arcos por medio de la introducción de platos metálicos a lo largo de su eje.
2. Aplicando al circuito un voltaje con polaridad opuesta al voltaje del arco.

En el caso de interrupción de corriente alterna se debe prevenir la reignición del arco una vez alcanzado el cero natural. Por esta razón es de suma importancia en este punto, el proceso de deionización, encargado

de prevenir que la corriente eléctrica se mantenga encendida entre los electrodos. El éxito del proceso dependerá de si la capacidad dieléctrica del arco propia del interruptor, es capaz de evitar que el voltaje del circuito restablezca la corriente.

2.2 Interruptores eléctricos

Un interruptor eléctrico es definido por la Asociación Nacional Americana de Estándares (ANSI) como “Un aparato mecánico capaz de hacer, transportar e interrumpir corrientes bajo condiciones de circuito normales y también hacer, transportar por un tiempo específico e interrumpir corrientes bajo condiciones especificadas de circuito anormales como aquellas de corto circuito”¹⁷. Estos aparatos pueden ser utilizados como sistema de protección para diversas aplicaciones por lo que son diseñados con diferentes características físicas y utilizan diferentes medios de extinción.

2.2.1 Tipos de interruptores eléctricos

Los interruptores eléctricos pueden ser clasificados por diferentes características como son: su aplicación según el voltaje , el tipo de instalación, su diseño externo y su médium de extinción. En la tabla 2.2 se hace una clasificación de los interruptores eléctricos según las características mencionadas.

¹⁷ American National Standards Association, citado en Garzon, D. Ruben, *High voltage circuit breakers. Design and applications*, New York: Marcel Dekker Inc, 1996, pp 129.

Tabla 2.2 Clasificación de interruptores eléctricos

Clasificación por niveles de tensión	• Interruptores de baja tensión	Aplicaciones hasta 1000 volts.
	• Interruptores de alta tensión	Aplicaciones de 1000 ó más volts.
Clasificación por tipo de instalación	• Instalación exterior	Estructura externa protegida contra la intemperie.
	• Instalación interior	Para uso dentro de un inmueble. En el caso de interruptores de media tensión (4.76 KV a 34.5 KV) normalmente son diseñados con estructura externa tipo "metal clad".
Clasificación por médium de extinción	• Aire El aire a presión atmosférica tiene una capacidad dieléctrica relativamente baja y una constante de deionización grande.	Aceptable para interruptores de baja tensión y algunos de media tensión.
	• Aceite El aceite utilizado para interruptores está caracterizado por una gran capacidad dieléctrica, buena conductividad térmica y alta capacidad calorífica.	Utilizados para aplicaciones de alta tensión.
	• Hexafluoruro de azufre El hexafluoruro de azufre en condiciones iguales que el aire, tiene dos veces su capacidad dieléctrica y a tres atmósferas tiene la misma capacidad dieléctrica que el aceite, su conductividad térmica y su capacidad calorífica son superiores.	Utilizados para aplicaciones de alta tensión
	• Vacío Las características dieléctricas del vacío y su capacidad de difusión lo hacen excepcional para la interrupción eléctrica.	Ideales para aplicaciones de media tensión.
Fuente: High Voltage Circuit Breaker Design and Applications		

Interruptores de aire

Los primeros interruptores de aire tipo cuchilla operaban con aire libre a presión atmosférica; las características dieléctricas del aire y su capacidad calorífica bajo estas condiciones los limitaban fuertemente en cuanto a voltaje y corriente interruptiva. Esto llevó al desarrollo de mejoras como la inclusión de componentes de enfriamiento y el desarrollo de interruptores de aire tipo “arc chute”. Hoy en día, estos interruptores son comúnmente utilizados en sistemas industriales de hasta 3.3 KV.

La interrupción en aire está basada simplemente en el proceso natural de deionización del gas por lo que es necesario acrecentar dicho proceso por los métodos de enfriamiento adecuados. Como se mencionó anteriormente la disminución de temperatura en el gas provoca la reducción de la velocidad de las coaliciones entre moléculas; lo que favorece al proceso de deionización. El enfriamiento provoca el aumento en la resistencia del arco por lo que resulta necesario aumentar el voltaje del mismo para mantener el proceso de ionización.

Interruptores tipo “arc chute”

La estructura de los interruptores tipo “arc chute” consiste en unas cajas cuadradas hechas de material aislante. Cada polo del interruptor es cubierto por una caja independiente que sirve como estructura de soporte a un juego de placas y en algunos casos a una bobina de soplado magnético localizada en la base del “arc chute”. El arco producido en el interruptor es direccionado hacia el “arc chute” por fuerzas electromagnéticas, térmicas, por el diseño geométrico de las placas y por la ayuda de la bobina de soplado. En el “arc chute” se puede aumentar la resistencia del arco y reducir la corriente hasta el punto en el que el voltaje del circuito no la pueda mantener más.

Entre los interruptores tipo “arc chute” podemos identificar dos clases diferentes: los que utilizan placas de metal y los que utilizan placas de material aislante. Las placas de los primeros son generalmente de acero o níquel y dividen al arco en varios pequeños arcos en serie. El enfriamiento se lleva a cabo por convección. Los segundos utilizan placas de diferentes materiales cerámicos como el óxido de circonio o el óxido de aluminio. La geometría de las placas ayuda a elongar el arco que es enfriado al contacto con el material aislante. Estos interruptores pueden aplicarse en voltajes hasta de 15 KV.

Las placas calientes y el aire entre ellas emiten grandes cantidades de gases y vapores que tienen que ser expulsados por la parte superior del "arc chute" y prevenir que regrese a los contactos para que estos no se deterioren.

Existen algunas desventajas en los interruptores de este tipo: son grandes en tamaño y costosos, la vida interruptiva de los contactos es relativamente corta y existen ciertos riesgos por la expulsión de los gases calientes en caso de interrupción por corto circuito.

Interruptores de aceite

Los interruptores de aceite son los primeros interruptores diseñados para sistemas de alta tensión. Son utilizados en sistemas industriales de 3.3 KV y mayores, son de construcción simple y capaces de interrumpir grandes corrientes.

El aceite utilizado en los interruptores es cuidadosamente refinado para evitar sedimentos y corrosión. Este aceite, cuando fresco, tiene capacidades dieléctricas mayores a 35 KV, su conductividad térmica es de 2.7×10^{-4} cal/seg cm °C y su capacidad calorífica es de 0.44 cal/g °C. Estas excelentes características permiten utilizar el aceite como médium de interrupción y como aislante de las partes vivas del aparato.

El arco eléctrico formado en aceite provoca la disociación de los hidrocarburos en hidrógeno y carbón y forma una burbuja alrededor del arco, constituida casi en su totalidad por hidrógeno. El arco eléctrico en hidrógeno sigue los mismos principios que la interrupción en cualquier otro gas, pero en una atmósfera de hidrógeno tiende a extinguirse más rápidamente. El carbón que resulta de la disociación contamina al aceite, por lo que este debe ser cambiado después de cierto uso.

Interruptores de hexafluoruro de azufre

Los interruptores de hexafluoruro de azufre SF₆ pertenecen a la familia de interruptores de gas tipo "blast". Los interruptores tipo "blast" utilizan gases como el aire, nitrógeno, dióxido de carbono, hidrógeno, freón y SF₆. La diferencia, en cuanto al proceso de interrupción en diferentes gases, reside en su capacidad de enfriamiento y por ende en la constante de deionización.

El proceso de interrupción en todos los gases se inicia estableciendo el arco eléctrico entre los contactos y abriendo simultáneamente una válvula neumática que produce un sople de gas presurizado que barre la columna del arco, sometiéndola a intenso enfriamiento.

El uso de SF₆ ha dominado completamente el mercado de interruptores de media tensión. Es utilizado casi sin excepción en todas las aplicaciones de alta tensión de entre 72.5 KV a 800 KV.

El SF₆ es químicamente estable, no-corrosivo, no-venenoso, incoloro e inodoro. Es uno de los gases más pesados que existen y sus capacidades dieléctricas y conductivas son excelentes. El hexafluoruro de azufre no contaminado es un gas no corrosivo. Ambientalmente podemos decir que el SF₆ no contribuye a la destrucción de la capa de ozono, pero es considerado como un agente potencial del efecto invernadero.

Interruptores al vacío

Los interruptores al vacío han dominado las aplicaciones de 3 KV a 20 KV. Estos interruptores se benefician de las excelentes características dieléctricas y capacidad de difusión de este médium. Las características dieléctricas se deben a la ausencia de coaliciones inelásticas de los gases.

El proceso de interrupción al vacío comienza, como en todos los interruptores, con la formación de un arco eléctrico. Por tratarse de la interrupción al vacío el arco formado es un arco de baja presión cuyas características ya han sido descritas. Como ya se mencionó, entre mayor sea el tiempo en el que el arco permanece en modo difuso, mayor será la capacidad interruptiva del aparato, por lo que se debe minimizar el calentamiento de los contactos. Este objetivo puede alcanzarse diseñando los contactos de tal manera que se aproveche la interacción de la corriente a través del arco y el campo magnético producido por la corriente que pasa por los contactos, o por la bobina del interruptor y eligiendo el material adecuado para dichos contactos.

Los interruptores al vacío consisten en cilindros aislantes de vidrio o cerámica, sellados en los extremos por placas metálicas que crean un recipiente al vacío. A uno de los extremos va unido el contacto estacionario y unido al otro, por medio de fuelles metálicos, el contacto móvil. Un escudo para la condensación del vapor que protege las paredes del cilindro reside, ya sea dentro del propio cilindro o en dos secciones en el contenedor aislante. Otro escudo es utilizado para proteger los fuelles metálicos.

Existe en México una fuerte demanda de este tipo de interruptores. La mayor parte de los elementos de los interruptores se fabrica en el extranjero, sin embargo, en la mayoría de los casos son ensamblados en el país y son cableados según los requerimientos específicos de las aplicaciones.

En la mayoría de las manufactureras del país el proceso de ensamble de los interruptores se realiza con base en la experiencia de los ensambladores y cableadores, sin embargo, el proceso no está diseñado para reducir tiempos y costos. La productividad de las industrias manufactureras del país puede aumentar y ser más competitivas e independientes de proveedores del extranjero si se optimizan este tipo de procesos.

Capítulo III

Estudio de Métodos del Proceso de Fabricación y Ensamble de Interruptores de Potencia en una Industria de Manufacturas Eléctricas en México

Partiendo de la premisa de que en todo proceso siempre existen posibilidades de mejoría, se busca a través de el estudio de métodos: registrar y realizar un examen crítico sistemático de los modos en los que se realizan las actividades durante el proceso de ensamble de interruptores de potencia, con el fin de proponer mejoras y proponer una mejor distribución de la maquinaria, equipo y área de trabajo dentro de la planta, así como al diseño de equipo y de dispositivos utilizados durante el proceso; para poder conjugar adecuadamente los recursos económicos, materiales y humanos e incrementar la productividad.

El proceso de ensamble de interruptores de potencia fue seleccionado para ser estudiado ya que este producto es de gran importancia económica y de desarrollo para la empresa. Actualmente existe una demanda a la empresa de aproximadamente 10 interruptores por día, siendo éstas máquinas complejas de alto costo.

Dentro de las actividades analizadas en el estudio se encuentran aquellas consideradas generadoras de beneficios, actividades costosas, estrangulamientos que están entorpeciendo las actividades de producción, movimientos de materiales que recorren largas distancias, actividades que requieren trabajo repetitivo con un gran empleo de mano de obra y actividades que causan insatisfacción en los trabajadores .

Otra de las consideraciones importantes para la selección del trabajo a estudiar fue el deseo de la dirección de la empresa en adquirir nueva tecnología para el proceso de ensamble y de pruebas de los interruptores de potencia. Lo anterior constituyó un factor importante en la elección de las actividades a analizar.

La secuencia que se analizó dentro del proceso de fabricación de interruptores de potencia se limitó a aquella que corresponden al puesto de ensamble de los interruptores de potencia ya que la mayoría de las partes son fabricadas en el extranjero y son traídas a México en forma de "kits" o juegos de equipo. Por lo que resulta innecesario modificar el proceso de fabricación de partes.

3.1 Análisis del Proceso

Situación actual del proceso con base en la experiencia y en conversaciones con el personal involucrado

El proceso de fabricación y ensamble de interruptores de potencia comienza a generarse con la llegada a la planta de un pedido de uno o varios interruptores. El pedido especifica las características del interruptor que ha de fabricarse y con base en estos requerimientos se selecciona el tipo de interruptor y la configuración del cableado que debe llevar.

Una vez determinado el tipo de interruptor que ha de fabricarse el disponente de materiales genera las ordenes de compra de los “kits” de piezas que son traídos de Alemania y las piezas que son compradas en el país. Las piezas que son generadas en la planta se fabrican bajo un sistema de producción kanban¹⁸.

Para la compra de piezas en el país el punto de reorden está determinado automáticamente por el sistema con base en el historial de adquisición, pero cuando sube la demanda rápidamente determinadas piezas se pueden agotar. Lo anterior ha ocasionado retrasos en la entrega de interruptores en algunas ocasiones, incluso por falta de una estampilla. Lo que da pie a realizar un análisis de inventarios con base en pronósticos predeterminados.

Los “kits” traídos de Alemania tardan de 4 a 5 semanas en arribar desde la fecha en la que se realiza el pedido. No se cuenta con una planeación confiable para determinar cuando deben de pedirse los “kits” para no tenerlos en sus cajas en planta en espera de ser ensamblados por mucho tiempo o bien en espera - como producto terminado- con riesgo de dañarse o maltratarse.

En ocasiones los “kits” han traído alguna pieza dañado o incorrecta e incluso se han llegado a extraviar ciertas piezas, en estos casos se tiene que pedir la pieza de nuevo y retrasa significativamente la entrega del interruptor. No se ha determinado qué piezas comúnmente sufren daños o faltan, para mantener cierto número de ellas en planta y evitar retrasos.

Lo anterior tiene un efecto significativo sobre el control de inventarios. En ocasiones los retrasos ocurren por falta de piezas o por exceso de piezas en el área de ensamble de los interruptores. El área de trabajo de

¹⁸ Academic Press Dictionary of Science and Technology, “Sistema Kanban: Sistema de inventario justo a tiempo que utiliza tarjetas para mostrar el estatus del inventario”.

ensamble de los interruptores de potencia está lleno de material por todas partes -incluso en el suelo- en espera del arribo de todo el material necesario para comenzar el ensamble. No existe un lugar específico para el almacenamiento de los “kits” ni para la espera del producto terminado. El material colocado en el suelo se convierte en obstáculo para el paso de los trabajadores.

El área de trabajo es pequeña pero al parecer es suficiente para realizar el trabajo. Ni el mobiliario ni la distribución del mismo parece ser la adecuada. Las mesas para desempacar el material y manejarlo durante el ensamble no tienen la inclinación ni el tamaño correcto, lo que complica el trabajo para los empleados.

Los carros sujetadores de los interruptores para el ensamble mecánico son muy grandes y estorbosos y están colocados en medio del área de trabajo por lo que dificultan el paso libre de los trabajadores en el área.

El material utilizado durante el ensamble no se encuentra al alcance del ensamblador por lo que este se tiene que desplazar por las diferentes piezas. No se cuenta con dispositivos que permitan tener a la mano las herramientas y materiales que se utilizan durante parte del proceso.

El área de trabajo está dividida en tres partes: área de ensamble mecánico, área de cableado eléctrico y área de pruebas. El producto no hace un recorrido fluido y el personal tiene que estar esquivando material e interruptores para trasladar el material de un área a otra.

El material a granel se encuentra a un lado del área de trabajo. En ocasiones alguna de las piezas se agota y es necesario detener el ensamble y desplazarse al almacén por el material, sea este un tornillo o una tuerca.

El ensamblador y el encargado del cableado deben contar con cierta información para el montaje mecánico y el cableado eléctrico que en ocasiones no les es distribuido junto con el resto de material. En estos casos los trabajadores se adelantan y comienzan el ensamble con base en su experiencia y rectifican una vez que les llega la información o ellos mismos se desplazan por ella. Si el interruptor no fue cableado como se requería se tienen que desarmar ciertas partes y corregir el trabajo, esto causa tiempo perdido y fatiga.

El trabajo de cableado requiere de mucha concentración y detalle. Las sillas, mesa e iluminación no es la correcta para el tipo de trabajo requerido.

El ruido en la planta puede llegar a ser molesto y fatigante ya que sobrepasa el nivel aceptable de 60-70 decibeles. Esto se percibe ya que es difícil mantener la comunicación a una distancia normal.

Una vez ensamblado el interruptor pasa al área de pruebas. En el área de pruebas se coloca en el suelo antes de ser probado y en ocasiones se tienen varios interruptores en el suelo al mismo tiempo.

Concluidas las pruebas, el interruptor regresa al área de ensamble mecánico o inclusive al pasillo para ser empacado y recogido por el personal del almacén. El interruptor es llevado al área de montaje en caso de ser un subproducto, o bien, es llevado al almacén de producto terminado en donde no se lleva un registro fiel de las salidas y entradas de los interruptores.

Registro de los detalles del trabajo

Para contar con la información requerida para realizar el análisis del proceso se realizaron los diagramas sinópticos, analíticos y de recorrido correspondientes que nos mostrarán el que, el porque, el cuando, el quien y el como se llevarán a cabo los procesos.

Para lograr mayor claridad en los diagramas se dividieron las actividades en dos diferentes secciones:

1. Montaje de la parte posterior del interruptor incluyendo el habilitado del material
2. Montaje de la parte frontal del interruptor incluyendo el habilitado del motor y del arnés.

Cursograma Sinóptico

El cursograma sinóptico nos permite obtener una visión general del proceso presentando las principales operaciones e inspecciones. En este no se menciona quien ejecuta las actividades ni en donde son ejecutadas.

Para el proceso se realizaron dos cursogramas sinópticos. El primero abarca todas las principales operaciones e inspecciones realizadas para el ensamble de la parte posterior del interruptor y el segundo comprende aquellas realizadas para el ensamble frontal del interruptor, es decir, la parte interna del bastidor y una vez obtenido el panorama general del proceso de ensamble de los interruptores de potencia se realizaron los diagramas analíticos que permitieron analizar la actividades con mayor detalle.

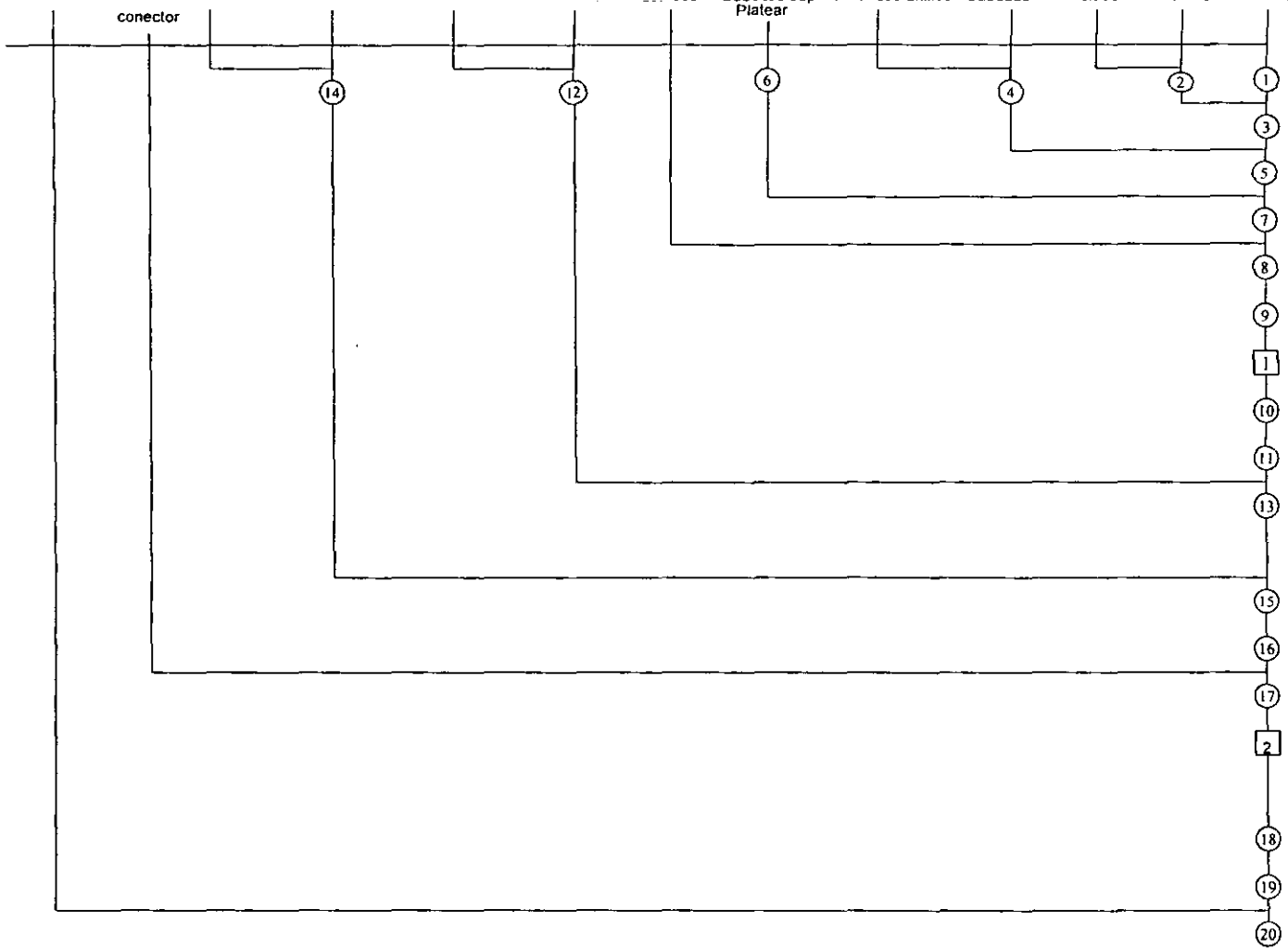


Figura 3.1 Ensamble de la Parte Posterior del Interruptor

Lista de Actividades Montaje de la Parte Posterior del Interruptor

1	Montar bastidor en el carro sujetador
2	Montar aisladores en la travesa
3	Montar aisladores con la travesa en el bastidor
4	Armado de cabezas de polo
5	Colocar cabezas de polo inferiores un el bastidor
6	Platear cabezas superiores
7	Colocar cabezas superiores en el bastidor
8	Colocar estribos
9	Atornillar cabezas superiores
1	Verificar alineación de cabezas de polo
10	Atornillar cabezas inferiores
11	Atornillar estribos a cabezas superiores e inferiores
12	Colocar mordaza a conectores flexibles
13	Colocar conectores flexibles
14	Colocar rótula a tubos de vacío
15	Colocar tubos de vacío
16	Sujetar tubos de vacío a cabezas inferiores
17	Atornillar tubo conector a tubos de vacío
2	Alinear tubos de vacío
18	Apriete de tubo de vacío
19	Dar torque a los tubos de vacío
20	Montar acoplamiento

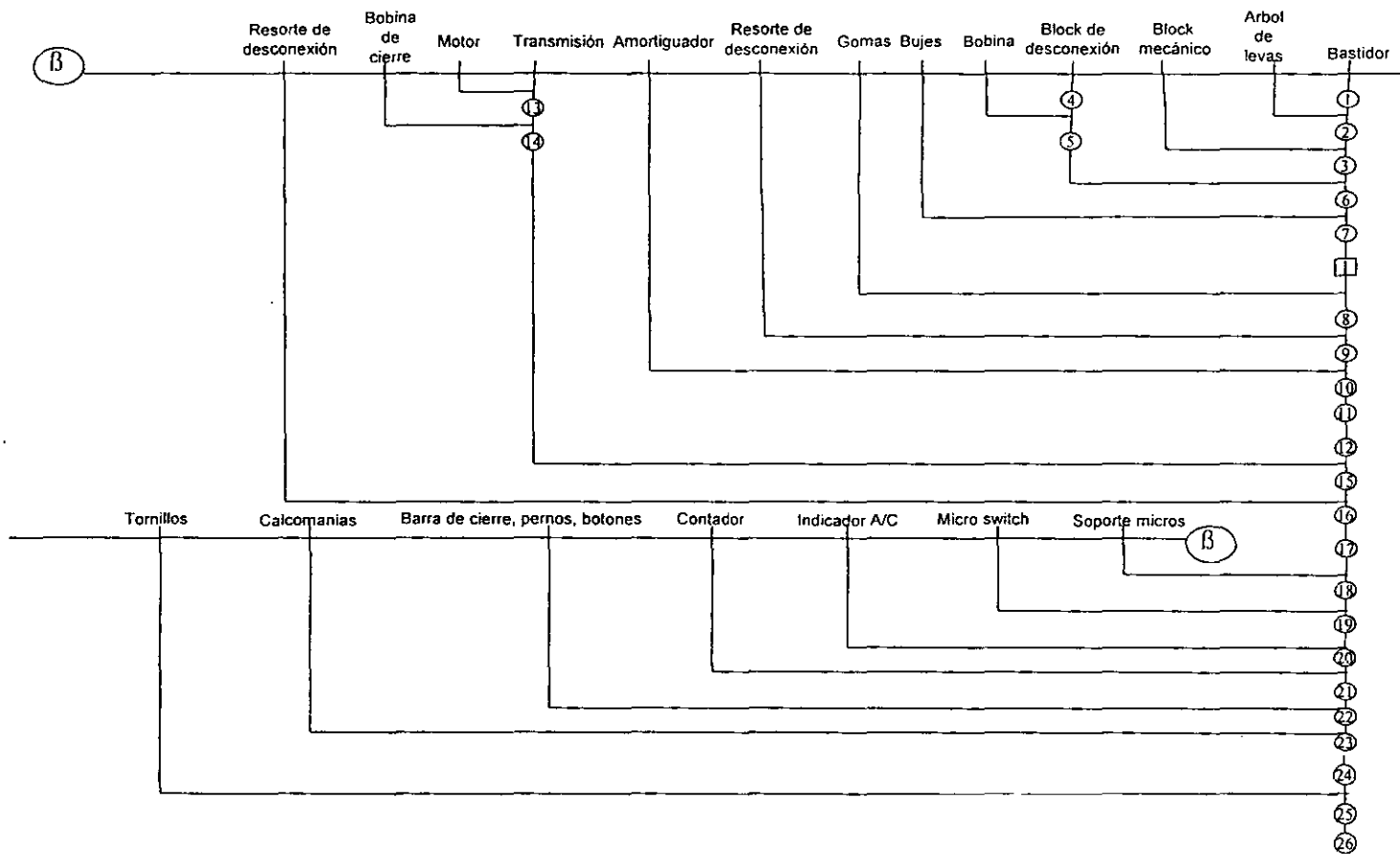


Figura 3.2 Ensamble de la Parte Frontal del Interruptor

Lista de Actividades Ensamble de la Parte Frontal del Interruptor	
1	Rima al bastidor
2	Montar árbol de levas
3	Montar block mecánico
4	Quitar micros
5	Montar bobina en el block de desconexión
6	Montar block de desconexión
7	Montar bujes en el árbol de levas
1	Verificar ajuste
8	Poner gomas
9	Montar resorte de desconexión
10	Colocar amortiguadores
11	Ajustar amortiguadores al árbol de levas
12	Ajustar árbol de levas
13	Montar motor en la transmisión
14	Montar bobina en la transmisión
15	Montar transmisión
16	Montar resorte de desconexión
17	Atornillar transmisión y block de desconexión
18	Montar soporte de micros
19	Montar microswitch
20	Colocar indicador abierto/cerrado
21	Colocar contador
22	Colocar barra de cierre, pernos y botones
23	Pegar nomenclatura
24	Engrasar
25	Atornillar
26	Habilitar y colocar arnés

Cursograma Analítico					Operario/Material/Equipo					
Diagrama N.		Hoja N.		De N.	Resumen					
Objeto:					Actividad	Actual	Propuesta	Economía		
Actividad: Montaje mecánico de la parte posterior del interruptor de potencia					Operación ○	26				
					Transporte □	12				
					Espera D	0				
					Inspección □	2				
					Almacenamiento ▽	3				
Método: actual/propuesto					Distancia (m)	63				
Lugar: Ensamble interruptores 3AH					min-hombre:	106.45				
Operario(s):					Costo					
Compuesto: Verónica Jiménez Gutiérrez					Mano de obra					
					Material					
Aprobado por:					Total					
Fecha: Octubre 14,2000										
Fecha:										
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)		Símbolo					Observaciones
					○	□	D	□	▽	
Transporte de los Kits										Con carro grúa por personal del almacén
Transporte de bastidores										Con carro grúa por el personal del almacén
Transporte material a franel										Con carro grúa por el personal del almacén
Almacenamiento bastidor										Sin escalera por personal del almacén
Almacenamiento de kits										Sobre el piso por personal del almacén
Almacenamiento piezas de compra nacional										Por personal del almacén
Desempacar material de los kits			13.72							Desde el suelo por habilitador de materiales
Bajar bastidor de anaquel			.8							Sin escalera por ensamblador posterior
Llevar bastidor al carro sujetador	8		1.0							A mano ensamblador posterior
Montar bastidor en carro sujetador			2.8							
Transporte de cabezas de polo y pzas. de cobre		7	.8							A mano ensamblador posterior
Armado de cabezas de polo en tres piezas			5.52							
Cardeado de cobre			6.5							
Plataado de cobre de 6 piezas y secado			9							Area esquinada incomoda
Lijado de cobre			4.0							

Transporte de aisladores y mordazas	8	1.0							A mano en varias vueltas por ensamblador posterior
Ensamble de cabezas superiores con cohre		6.5							
Armado de mordazas		5							
Montar aisladores a la travesa		5.3							
Montar travesa al bastidor		2							
Llevar cabezas inferiores al carro	8	.8							A mano por ensamblador posterior
Colocar cabezas inferiores		6.3							
Llevar cabezas superiores y estribos al carro	7	.6							A mano ensamblador posterior
Colocar cabezas superiores en bastidor		3							
Colocar estribos		3.4							
Atornillar cabezas superiores		.35							
Verificar alineación de cabezas		1.07							
Atornillar estribos		1.17							
Atornillar cabezas a los aisladores		1.5							
Llevar conectores flexibles al carro sujetador	7	.6							A mano ensamblador posterior
Colocar piezas flexibles de conexión		2.72							
Llevar 2 tubos de vacío al carro sujetador	6	.5							A mano ensamblador posterior
Colocar 2 tubos de vacío en el bastidor		2.25							
Llevar 1 tubo de vacío	6	.5							A mano ensamblador posterior
Colocar 1 tubo de vacío en el bastidor		1.0							
Sujetar tubos de vacío a cabezas inferiores		2.25							
Llevar tubo conector	6	.5							A mano ensamblador posterior
Atornillar tubo conector		4.0							
Verificar alineación de tubos al vacío		0.4							
Dar torque a tubos		4.2							
Montar acoplamiento		5							
Esperar ensamble frontal									

Cursograma Analítico				Operario/Material/Equipo					
Diagrama N.	Hoja N.	De N.	Resumen						
Objeto:			Actividad	Actual	Propuesta	Economía			
Actividad: Montaje mecánico de la parte frontal (interna) del interruptor.			Operación ○	27					
			Transporte □	8					
			Espera ◯	0					
			Inspección ◻	0					
			Almacenamiento ▽	0					
Metodo: actual/propuesto			Distancia (m)	94					
Lugar: Ensamble interruptores 3AH			min-hombre:	172.39					
Operario(s):			Costo						
Compuesto: Verónica Jiménez Gutiérrez Aprobado por:			Mano de obra						
			Material						
			Total						
Fecha: Octubre 14,2000		Fecha:							
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Observaciones
				○	□	◯	◻	▽	
Transportar motor y block mecánico		16	1.0						A mano ensamblador frontal
Transportar árbol de levas		6	.5						A mano ensamblador frontal
Transportar pzas a granel		6	.5						A mano ensamblador frontal
Habilitar motor			1.69						Luz insuficiente
Rima al bastidor			1.00						No usa lentes de seguridad
Quitar micros al block de desconexión			2.00						
Montar bobina en el block de desconexión			2.04						
Llevar árbol de levas al carro sujetador		6	.5						A mano ensamblador frontal
Montar árbol de levas			4.50						
Llevar block mecánico al carro sujetador		10	.8						A mano ensamblador frontal
Montar block mecánico			3.95						
Montar block de desconexión			1.84						
Ajustar y montar bujes en el árbol de levas			1.66						
Verificar ajuste de árbol de levas			1.33						
Colocar gomas			.33						
Colocar resorte de desconexión			1						
Llevar amortiguadores al carro sujetador		6	.5						A mano ensamblador frontal

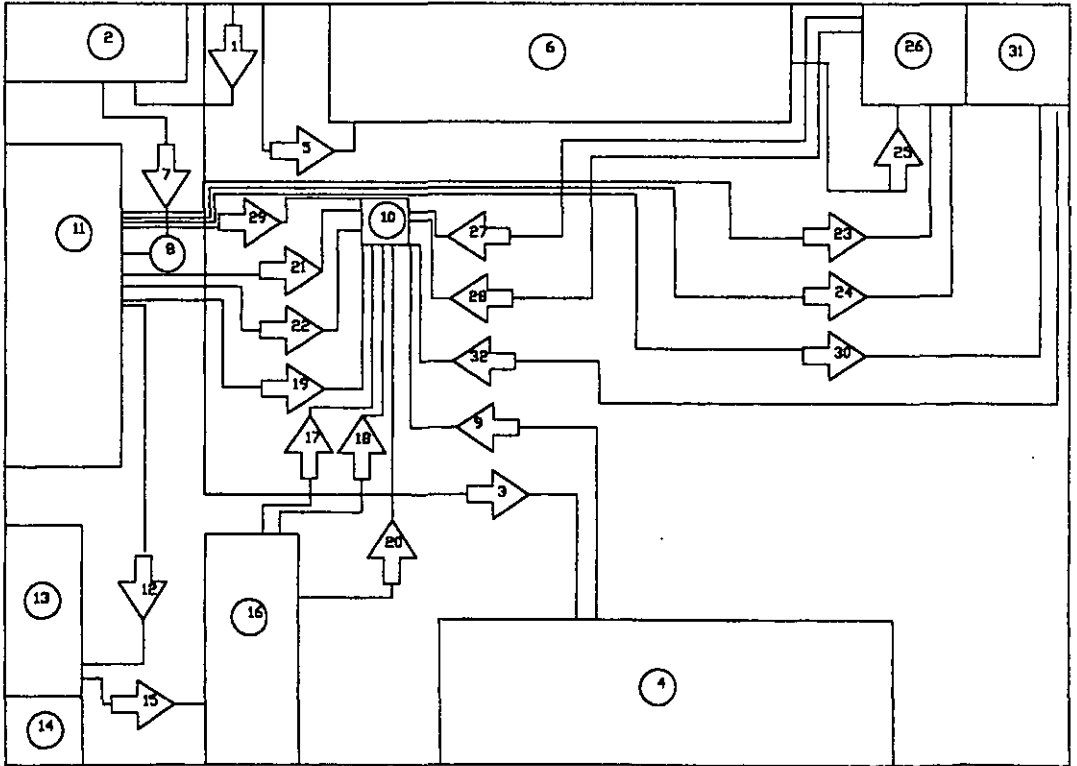
Colocar amortiguadores			1.17							
Ajustar amortiguador al árbol de levas			.96							
Ajustar árbol de levas			.5							
Llevar motor al carro sujetador		10	.8							A mano ensamblador frontal
Montar transmisión			6.43							
Colocar resorte de desconexión			1							
Atornillar transmisión y block de desconexión al bastidor			1.34							
Montar soporte de micros			3.77							
Montar microswitch			1.93							
Colocar indicador abierto/cerrado			1.14							
Montar contador			1.82							
Colocar barra de cierre, pernos y botones			2.69							
Pegar nomenclatura			1.83							
Engrasado de partes			1.37							
Tomillos			2.20							
Llevar arnés a mesa de habilitado		20	.8							Por habilitador de arnés
Llevar arnés al carro sujetador		14	.5							A mano por habilitador de arnés
Habilitar y colocar arnés			117							Luz insuficiente sillas incómodas

De los cursogramas analíticos anteriores podemos observar que existen durante el proceso transportes innecesarios y algunas demoras que pueden ser eliminadas.

3.2 Análisis de la distribución de las áreas de trabajo

El siguiente diagrama de recorrido muestra la problemática actual causada por la mala distribución del área de ensamble de interruptores de potencia. Podemos observar un exceso de recorridos y de transportes entre las estaciones de trabajo.

Una vez obtenido el panorama general del proceso a través de los cursogramas sinópticos, se hace un análisis de los problemas observados durante el proceso y de una propuesta de solución a los mismos.



Lista de Actividades del Diagrama de Recorrido

1. Transporte de kits
2. Almacenamiento de kits
3. Transporte de bastidores
4. Almacenamiento de bastidores
5. Transporte de material a granel
6. Almacenamiento de material a granel
7. Transporte de kits
8. Desempaque de kits
9. Transporte del bastidor
10. Armado del interruptor
11. Colocación de piezas desempacadas en mesa de almacenamiento
12. Transporte de cabezas de polo y piezas de cobre
13. Habilitado de material de cobre
14. Plateado de material de cobre
15. Transporte de aisladores y mordazas
16. Habilitado de material de la parte posterior del interruptor
17. Transporte de travesa armada al carro
18. Transporte de cabezas de polo inferiores
19. Transporte de cabezas de polo superiores y estribos
20. Transportar conectores flexibles
21. Transporte de tubos de vacío
22. Transporte de tubos de conexión
23. Transporte de motor y block mecánico
24. Transporte de árbol de levas
25. Transporte de material a granel
26. Habilitado de material de la parte frontal del interruptor
27. Transporte de árbol de levas
28. Transporte de block de desconexión

29. Transporte de amortiguadores
30. Transporte de piezas de acoplamiento
31. Armado de acoplamiento
32. Transporte de acoplamiento
33. Montaje de acoplamiento

3.3 Resultados del análisis

Con base en los cursogramas sinópticos, analíticos, en los diagramas de recorrido y en la observación directa y entrevistas con los empleados se presenta aquí un análisis de la problemática existente y sus posibles soluciones.

En la propuesta de solución se pretende eliminar todas aquellas actividades que no tienen razón de existir en el proceso, se mejoran aquellas que es posible mejorar, se cambian o se combinan otras, se eliminan los transportes que aumentan el costo y no dan valor agregado.

Problemática	Solución
Una vez desempacados los kits, el material se coloca de una manera no ordenada sobre una banda transportadora	Diseñar un mueble con compartimento para los materiales
Se tiene una banda transportadora que se utiliza como mesa, lo que significa un alto costo para la empresa	Definir en que proceso dentro de la planta se puede utilizar la banda transportadora
Las cajas de los kits permanecen mucho tiempo sobre el montacargas, incluso mientras estas están siendo desempacadas	Definir un lugar en donde se coloquen las cajas para ser desempacadas y que el montacargas pueda seguir cumpliendo su función
La manera en que se almacena el material no tiene un orden definido de acuerdo a las necesidades del proceso	Diseñar el mueble con compartimentos dando un orden a los materiales
Los tubos de vacío que son piezas frágiles se recargan unos sobre otros y se dejan expuestos al polvo.	Designar un espacio específico en el mueble de almacenamiento adecuado para que los tubos no sufran daños ni estén expuestos al polvo
Hay un amontonamiento de material en todas las áreas de trabajo	Definir cuanto material se debe tener en el área dependiendo del número de interruptores que van a ser ensamblados

El área donde se habilita el material no cuenta con el suficiente espacio	Diseñar un área de habilitado de material con el suficiente espacio para realizar el trabajo, tener accesibles las herramientas y el material que va a ser habilitado como el material que va siendo habilitado
El área de plateado queda en una esquina incomoda ya que está parcialmente tapada por una mesa	Diseñar un área de plateado ergonómica
El área en donde se almacena el material a granel queda retirado de las áreas de ensamble	Diseñar espacios dentro de las estaciones de trabajo para que cada estación cuente con sus materiales a granel
Se dejan en el suelo interruptores a medio ensamblar	Eliminar el almacenaje de interruptores a medio ensamblar
No existen recipientes para desechar basura	Diseñar o seleccionar recipientes para desechos y definir las áreas que deben contar con estos
Las herramientas son guardadas en diferentes cajas de herramientas lo que hace complicada su accesibilidad	Proporcionarle a cada trabajador un espacio para guardar sus herramientas
El lugar en donde se almacenan los bastidores dificulta su accesibilidad ya que no se cuenta con escalera	Diseñar o seleccionar un lugar más accesible para almacenar los bastidores
Las áreas en donde se habilita el motor y el arnés son muy pequeñas y cuentan con mala iluminación	Diseñar una estación de trabajo para estas actividades con el suficiente espacio y la iluminación correcta
En las áreas de habilitado de motor y arnés se almacenan muchas herramientas a bajo de la mesa por lo que hay que agacharse constantemente	Diseñar en las estaciones de trabajo espacios para las herramientas
Las sillas son muy incómodas	Seleccionar las sillas adecuadas para el trabajo
El rollo de cable lo tienen sobre el suelo	Diseñar o seleccionar un dispositivo para el manejo del cable

La mesita del carro sujetador sobre la cual se colocan las piezas y herramientas que se están ensamblando esta muy bajas para el ensamblador que trabaja de pie.	Rediseñar los espacios de trabajo de manera ergonómica
Al ensamblar las mordazas con las conexiones flexibles muchas veces quedan chuecas	Diseñar un dispositivo para ensamble de mordazas
No hay espacio suficiente para los tubos de vacío junto al dispositivo para alinearlos	Definir el espacio y el lugar para colocar los tubos de vacío
El área de plateado no cuenta con los recipientes adecuados	Seleccionar los recipientes adecuados
No hay lugar para colocar las tarimas de los interruptores terminados	Definir lugar para tarimas
El material habilitado se va sobre cajas por lo que estorba y se expone a caerse	Diseñar espacios para poner el material habilitado
Las cejas de las cajas estorban durante el desempaque	Proponer método de desempaque
No hay recipientes ni para desechar madera, ni cartón , ni plástico	Seleccionar recipientes y designar lugar
El material de empaque se vuelve a arrojar en la caja que está siendo desempaçada	Proponer método de desempaque
El material sobre las charolas está expuesto al polvo	Diseñar mueble
Tienen demasiado material sobre las charolas	Proponer la cantidad de material que se debe desempacar dependiendo la cantidad que se va a utilizar durante el día
La hoja de verificación se deja apilada sobre un escritorio y no es correctamente utilizada	Proponer método de verificación de material
El motor lo desempacan y lo colocan en otra caja	Definir en que momento debe desempacarse el motor y cómo
Entre la basura de los kits se puede quedar alguna pieza	Diseñar método de desempaque
No se tiene un lugar sobre el cual se puede desempacar	Diseñar los espacios para desempacar

Desempacan desde el suelo por lo que constantemente se están agachando	Diseñar los espacios, lugar y métodos para desempacar
El ensamblador no usa ni guantes ni goggles al rimar el bastidor	Definir que actividades requieren cierto equipo de seguridad
No tienen un dispositivo para recargar travas grandes cuando se montan los aisladores	Diseñar dispositivo
Tienen cajas de herramientas lejos del área de trabajo	Diseñar estaciones de trabajo con espacios para almacenar las herramientas en el área.
Comparten desarmadores neumáticos en varias áreas de trabajo	Proponer tener las herramientas necesarias para cada área de trabajo
Colocan las travas ya ensambladas sobre el piso	Definir espacios para material habilitado
El ensamblador se desplaza varias veces por el motor y demás material	Diseñar método de distribución del material
El ensamblador da varias vueltas para regresar el cartón al área de desempacado	Definir el sitio de recipientes de desechos
El ensamblador pierde tiempo yendo y viniendo por material a granel	Diseñar las estaciones de trabajo con espacios para almacenar material a granel
Comparten bote de grasa y se desplazan por el	Proponer tener el material disponible en el área en el que se van a utilizar
El motor después de habilitado se deja expuesto al polvo	Definir cuando y donde debe habilitarse el motor
Las herramientas están todas amontonadas	Dar espacios suficientes para material y herramientas
El ensamblador va y viene por más piezas una vez habilitado el motor	Diseñar método de distribución de material
El material se amontona en la mesita del carro sujetador	Diseñar áreas suficientes para tener accesible el material ergonómicamente
Engrasan piezas sobre el bastidor	Definir áreas de engrasado
El ensamble de la parte posterior del interruptor es por arriba de los hombros	Diseñar método ergonómico
El cable de las pistolas neumáticas estorba	Definir manera de conectar desarmadores para que no estorben

Capítulo 4

Propuesta para mejorar el proceso de ensamble de interruptores de potencia en una industria nacional de manufacturas eléctricas

4.1 Propuesta de mejora del proceso y condiciones de los operarios

Con base en el análisis anterior se propone el uso de los siguientes elementos y la siguiente distribución del área de ensamble de interruptores de potencia para obtener una reducción de tiempos de ensamble del 33%.

Elemento	Cantidad	Area de Trabajo
1.Estación de trabajo ensamble posterior	1	Ensamble Posterior
2. Estación de trabajo ensamble frontal	1	Ensamble Frontal
3.Estación de trabajo habilitado de arnés y motor	1	Habilitado Arnés y Motor
4. Estación de habilitado de material	1	Habilitado de material
5. Mueble de plateado	1	Habilitado de material
6.Carro transportador	3	Ensamble Posterior/Frontal/Habilitado de Arnés y Motor
7. Mesa de desempaque	2	Habilitado de material
8. Anaquel de almacenaje	2	Almacenaje de bastidores y tarimas
9. Soporte de bastidores	6	Ensamble Frontal/ Posterior
10. Mueble de almacenaje material habilitado	1	Habilitado de material
11. Caja de tubos de vacío	3	Habilitado de material
13. Sillas	6	Ensamble Posterior/ Frontal/ Habilitado de Arnés y Motor/ Habilitado de Material

Justificación

Todos los elementos de la propuesta aquí presentada fueron diseñados siguiendo los principios de la economía de movimientos en sus tres grupos: la utilización del cuerpo humano, distribución del lugar de trabajo y modelos de maquinas y herramientas.

Elementos 1, 2 y 3

Estación de trabajo ensamble posterior / Estación de trabajo ensamble frontal / Estación de trabajo habilitado de arnés y motor

Las estaciones de trabajo cuentan con los sitios fijos necesarios para las herramientas y los materiales que se utilizan en esa parte del proceso de ensamble. Lo anterior evitara perdidas de tiempo en transportar herramientas y materiales de una área de trabajo a otra.

Así mismo, cada una de las estaciones cuenta con el espacio suficiente de trabajo para desempeñar las actividades que se realizan en el área correspondiente y con la iluminación adecuada para desempeñar las funciones sin fatiga de la vista. En el caso de la estación de trabajo de habilitado de arnés y de motor se sugiere que la superficie de la mesa de trabajo sea de color blanca para que contraste con color de las conexiones.

Cada una de las estaciones de trabajo cuenta con suficientes dispensadores de material a granel que se encuentran a la mano del ensamblador lo que evita que estos se desplacen por ellas a otra área y que se les caigan o pierdan las piezas. Se cuenta también en cada estación con los cajones y anaqueles suficientes para guardar las herramientas una vez terminadas las actividades, lo que permite un mejor control y orden sobre ellas.

Cada estación cuenta con suficientes conexiones para pistolas neumáticas dentro del área de trabajo para evitar pérdida de tiempo y que el cable de la pistola pueda entorpecer otras actividades. Se sugiere introducir en cada estación un depósito para desechar basura.

El carro soporte del interruptor es colocado entre la estación de ensamble posterior y la estación de ensamble frontal, de esta manera las actividades de ambos ensambles se pueden realizar simultáneamente y sin estorbarse.

El motor y el arnés pueden ser pasados de la estación de habilitado a la estación de ensamble frontal sin que haya necesidad de que el ensamblador se desplace.

La estación de habilitado de arnés y motor cuenta con un amplia área de trabajo.

Elemento 4

Estación de habilitado de material

La estación de habilitado de material cuenta con los elementos mencionados de los elementos 1, 2 y 3. Esta estación fue dividida en dos secciones de trabajo y una sección central de almacenaje compartido para las dos áreas. La sección de la derecha fue pensada para realizar las actividades de ajuste de tubos de vacío y ensamble de travesas, aisladores y cabezas de polo, todas ellas realizadas por el ensamblador de la parte posterior del interruptor. La sección de la izquierda está diseñada para la realización de actividades de limpieza y pulido de conectores flexibles y ensamble de mordazas.

Elemento 5

Mueble de plateado

Este elemento fue diseñado para la realización de las actividades de plateado. Cuenta con 2 secciones. El de la izquierda está diseñado para funciones de limpieza y desinfección y el de la derecha está diseñado para realizar en éste el plateado de cobre. Ambas secciones cuentan con la inclinación necesaria para el manejo de los fluidos.

Elemento 6

Carro transportador

En el análisis realizado observamos una gran pérdida de tiempo de los ensambladores en ir de un lado a otro por las piezas que iban ensamblando. Esto lo hacen constantemente y dan un gran número de vueltas ya que transportan los materiales con sus propias manos. Por este motivo se diseñaron 3 carros transportadores para las estaciones de ensamble frontal, posterior y de habilitado de arnés y de motor.

Los carros cuentan con tres secciones diferentes para permitir el transporte de todo el material que va a utilizarse en la estación correspondiente efectuando una sola vuelta. Cuentan con ruedas para deslizarse y con una agarradera para facilitarle al ensamblador el transporte de este.

Elemento 7

Mesa de desempaque

Las mesas de desempaque fueron diseñadas ergonómicamente para facilitar la actividad del habilitador del material. Tienen una altura suficiente y la inclinación necesaria para que este no se este agachando por las piezas. En la parte inferior de la mesa tienen suficiente espacio para colocar un depósito de basura y que esta no estorbe la actividad.

Se sugiere contar con dos mesas de este tipo para que los dos habilitadores puedan desempacar un kit cada uno al mismo tiempo.

Elemento 8

Anaqueles de almacenaje

Se diseñaron un anaquel para el almacenaje de bastidores y otro para el almacenaje de tarimas.

Se sugiere de igual forma tener disponibles tarimas para empaacar el producto terminado en el área de ensamble ya que es aquí donde se realiza dicha actividad. Esto permitirá evitar perdida de tiempo en estar transportando de una en una las tarimas desde la carpintería al área de ensamble de interruptores de potencia.

Elemento 9

Soporte de bastidores

Este elemento fue diseñado para soportar el bastidor del interruptor mientras esta siendo ensamblado y probado. El bastidor se atornilla y desatornilla fácilmente de este. Tiene la capacidad de soportar un peso significativamente mayor al de los interruptores. Cuenta con una pequeña mesita en el centro para detener ciertas piezas cuando se requiere el uso de las dos manos en el ensamble. Cuenta con ruedas para facilitar el transporte de los interruptores del área de ensamble frontal y posterior al área de pruebas y a su vez cuenta con un mecanismo para fijar el carro soporte al piso cuando el interruptor esta siendo ensamblado. Lo anterior evita que el carro se este moviendo cuando el ensamble requiere de cierta fuerza.

Elemento 10

Mueble de almacenaje material habilitado

Este elemento fue diseñado para almacenar cerca de las áreas de ensamble todo el material habilitado de los “kits”. La superficie del mueble tiene una ceja para evitar que el material se caiga o ruede y se pueda dañar. La mayoría del material es almacenado sobre la superficie ya que son piezas contra la intemperie por lo que no es necesario protegerlas del polvo.

Elemento 11

Caja de tubos de vacío

La caja de tubos de

vacío fue diseñada ya que estos son partes delicadas del interruptor que pueden sufrir daños al caerse o ser transportados inadecuadamente. Cada caja fue diseñada para almacenar y transportar 6 tubos al vacío que corresponden a dos interruptores de potencia. La caja cuenta también con agarraderas para facilitar su transporte.

Elemento 12

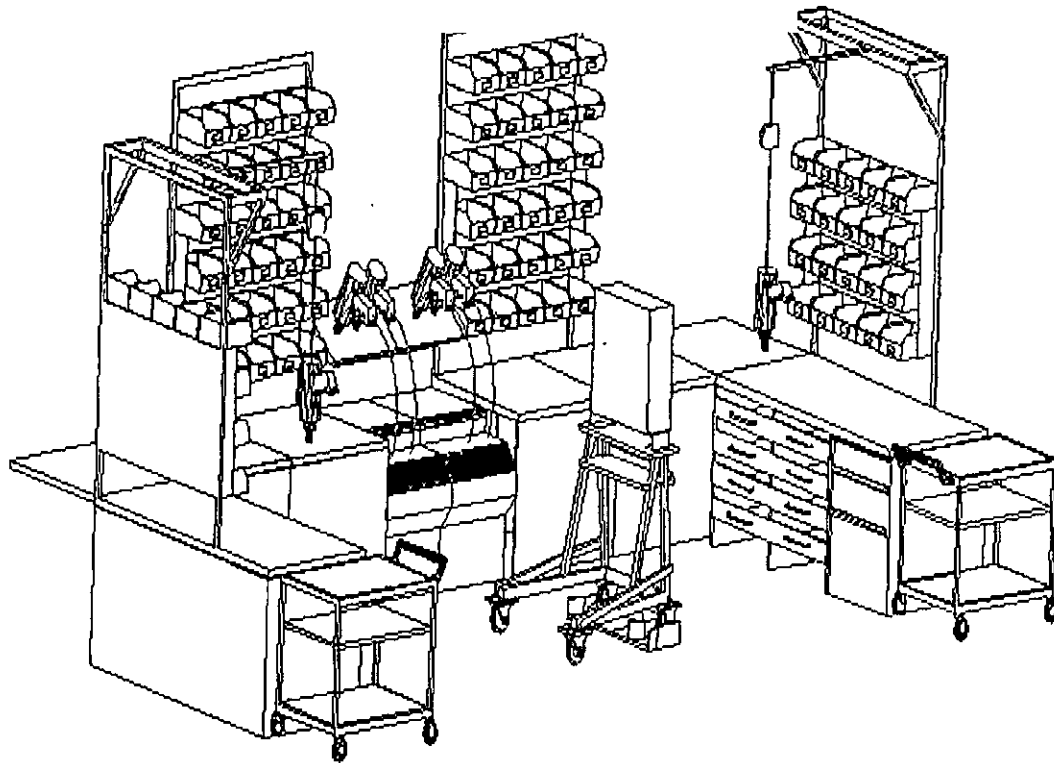
Sillas

Se seleccionaron 6 sillas marca WorkCo de los siguientes modelos:

- 4 sillas modelo WorkCo fundamentadas por un pistón de altura ajustable soldado a un diseño de base tubular fijado a un anillo de pedestal cromado. Cuentan con respaldo.
- 2 sillas modelo Sitstar con altura autoajustable, anillo del pedestal y asiento en forma de tractor estrella, sin respaldo.

Elemento 1

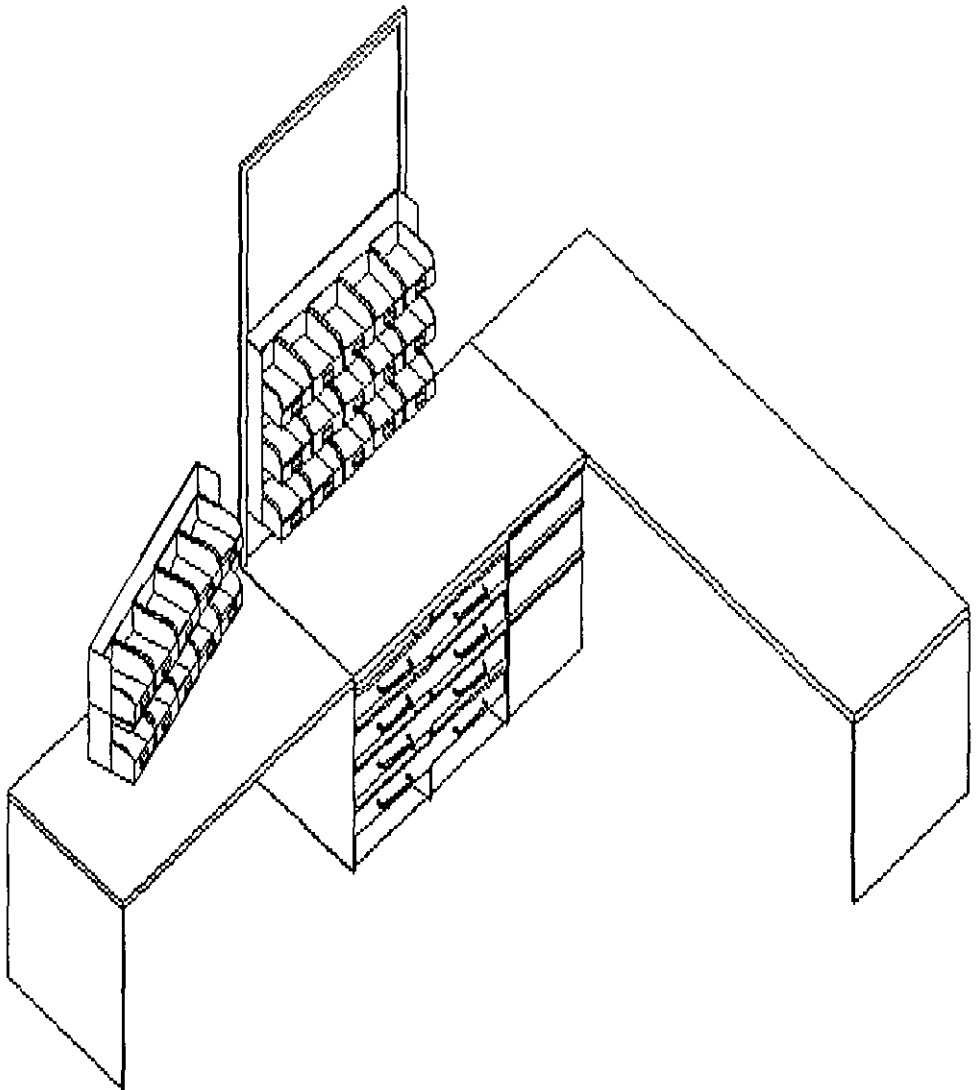
Estación de Trabajo Ensamble Posterior



L	A	H
3	2	.80

Elemento 2

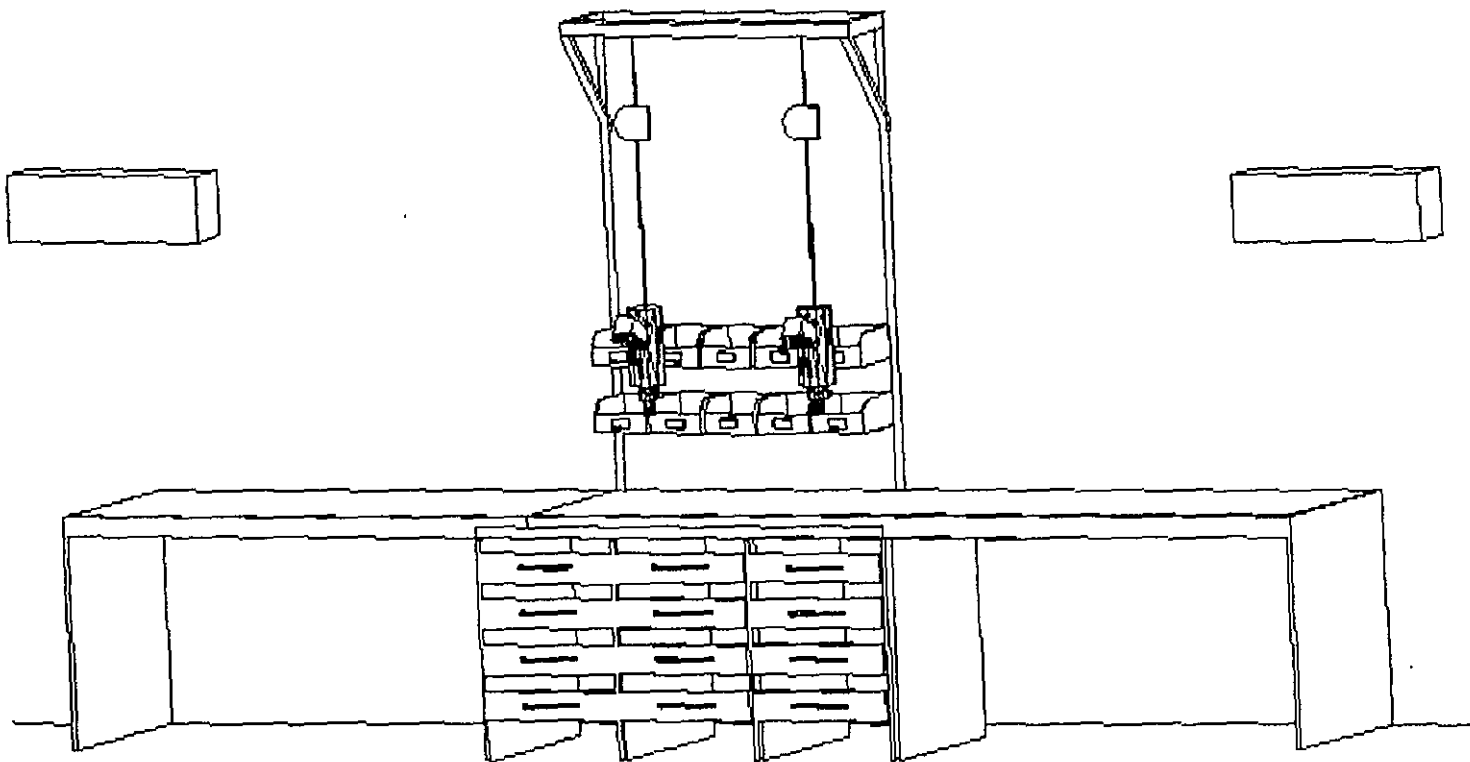
Estación de Trabajo Ensamble Frontal



Elemento 3

Estación de Trabajo Habilitado de Arnés y Motor

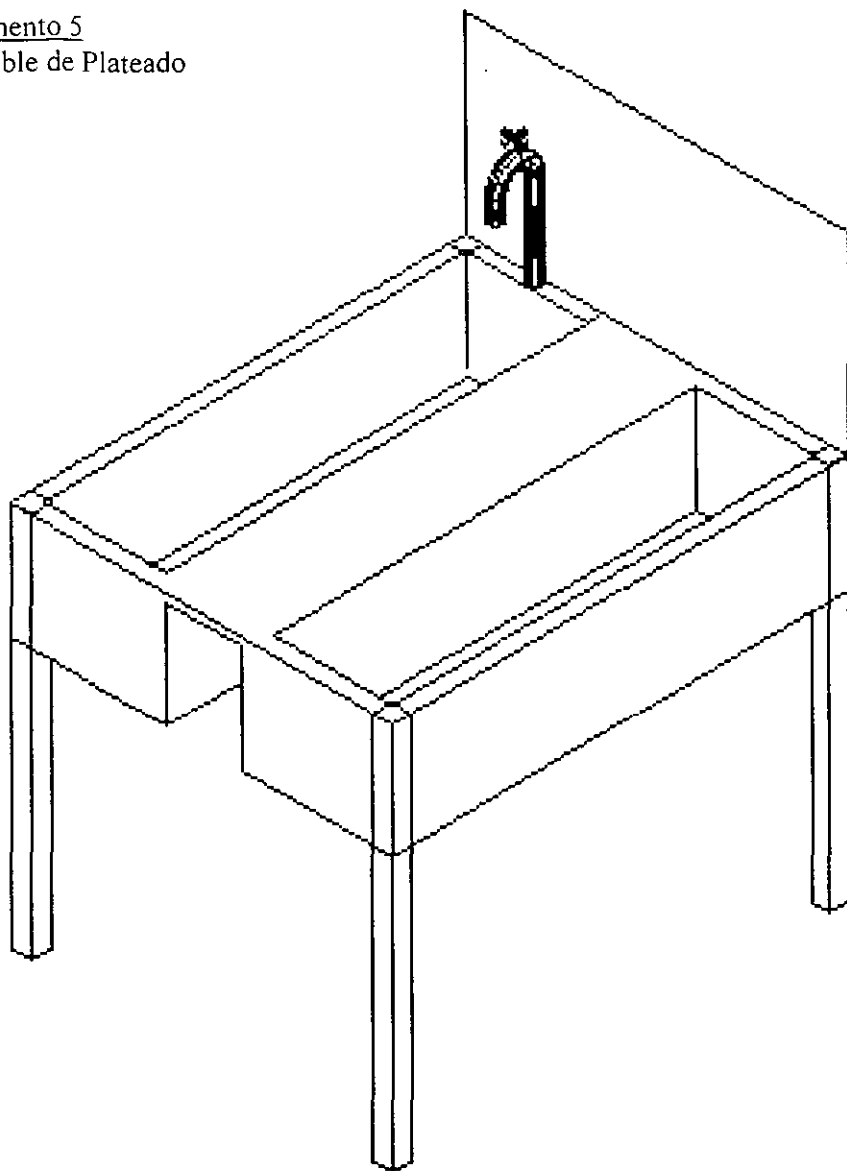
L	A	H
4	3	1.80



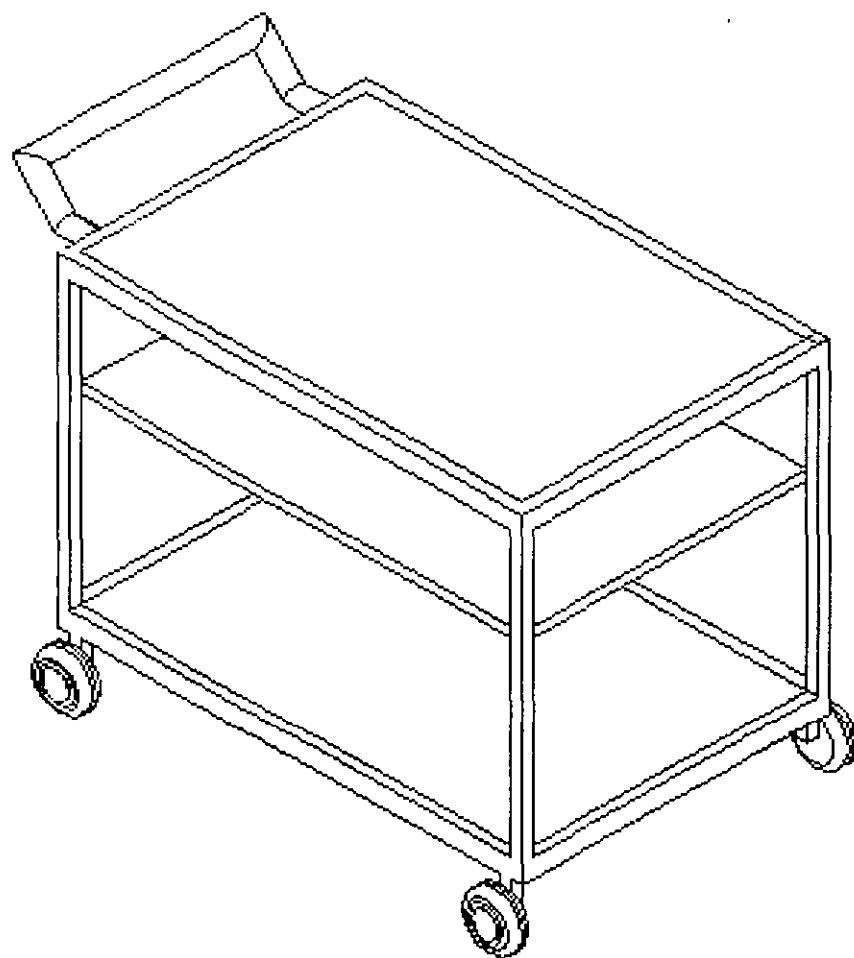
Elemento 4
Estación de Trabajo
Habilitado de Material

L	A	H
1.20	1	.90

Elemento 5
Mueble de Plateado

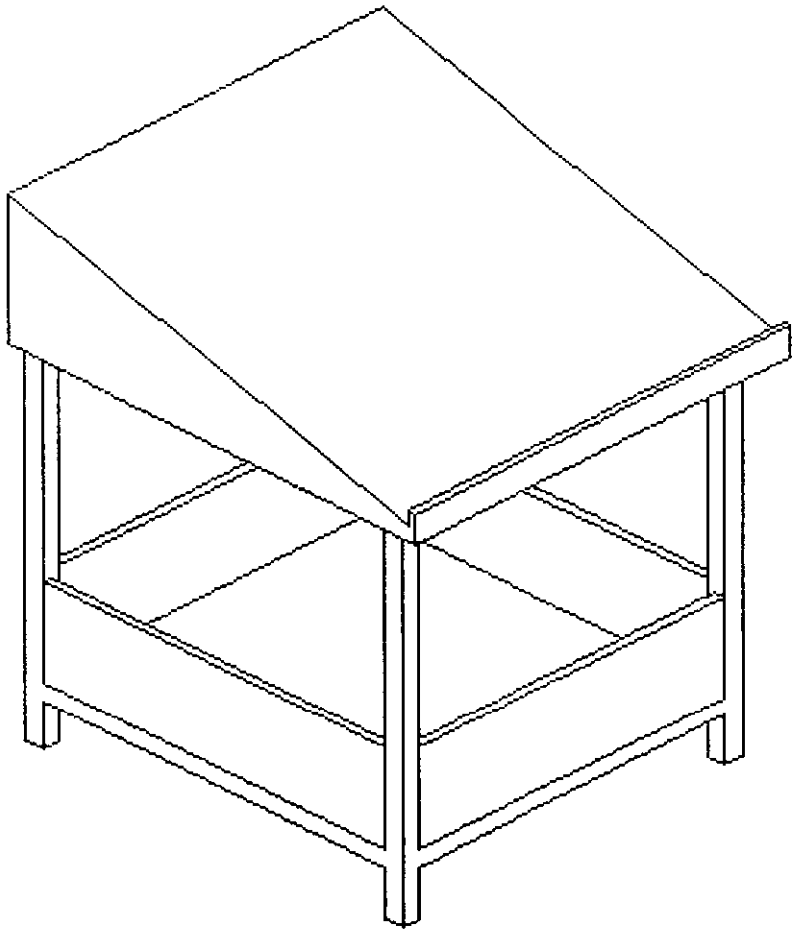


L	A	H
.1.20	1	.90



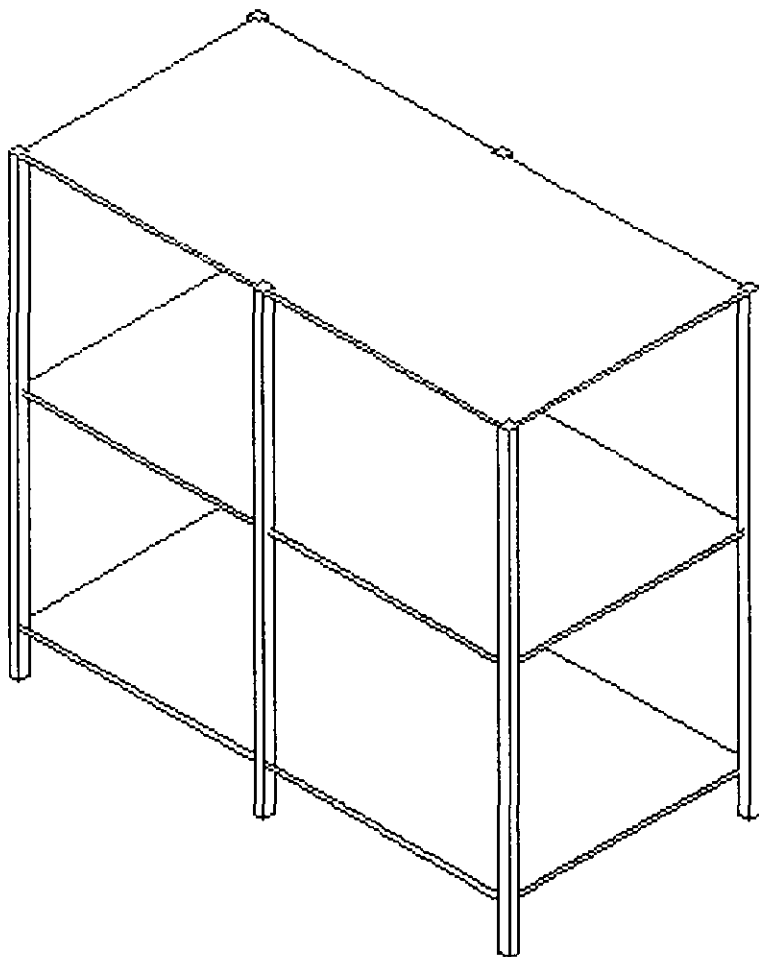
Elemento 6
Carro Transportador

L	A	H
.90	.50	.90



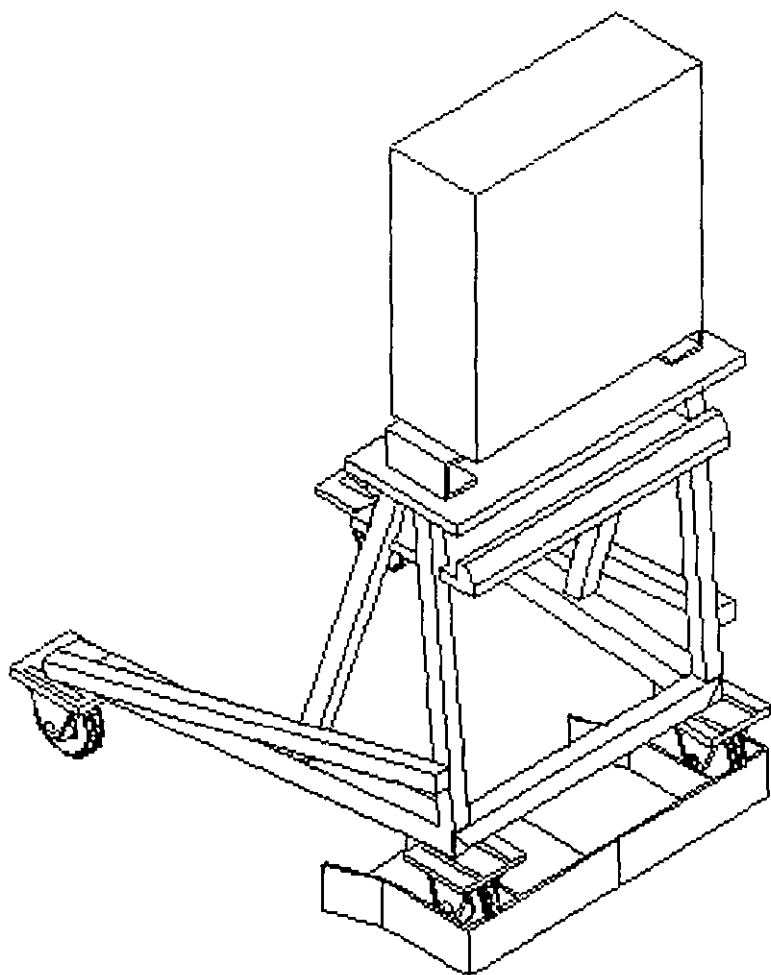
L	A	H
.90	.50	.90

Elemento 7
Mesa de Desempaque



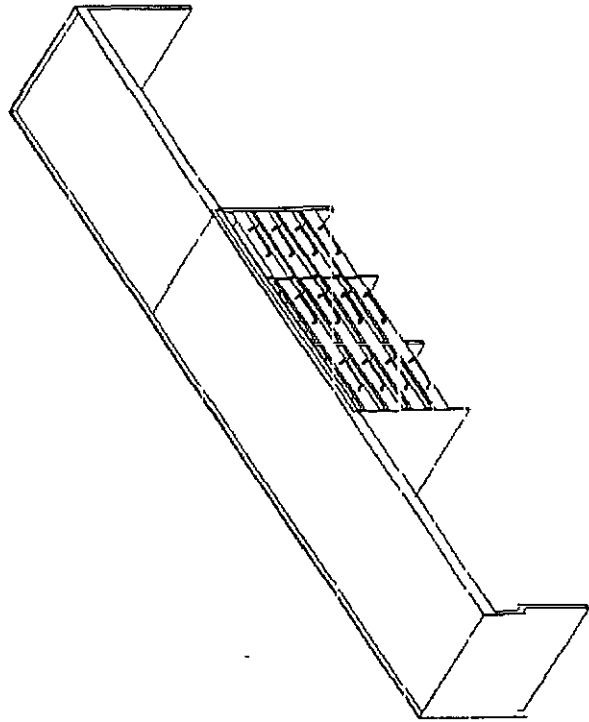
L	A	H
2	2	1.30

Elemento 8
Anaquel de Almacenaje



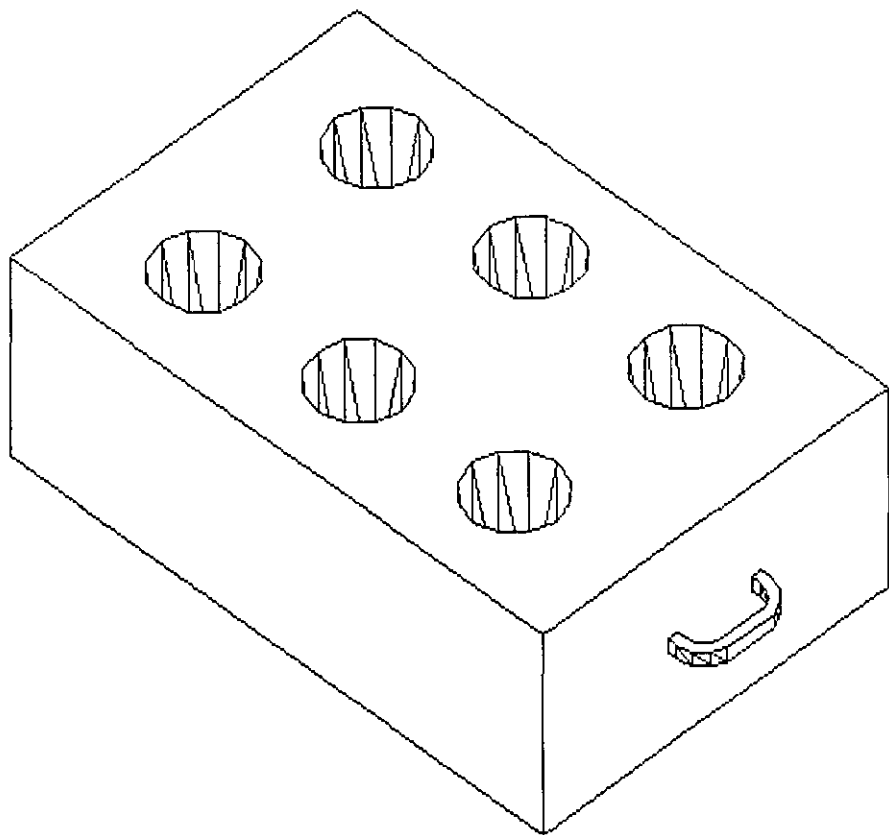
L	A	H
1	1	1

Elemento 9
Soporte de Bastidor



Elemento 10
Mueble de Almacenaje del Material Habilitado

L	A	H
5,5	1	,90



L	A	H
.60	.40	.20

Elemento 11
Caja de Tubos de Vacío

2 Propuesta de Distribución del Área de Trabajo

Para la propuesta de distribución de área de trabajo se seleccionó el programa Blocplan¹. El modelo Blocplan es un algoritmo híbrido que trabaja con base en un algoritmo de construcción como inicio para llegar a un algoritmo mejorado. Para este caso se introdujo información cualitativa en forma de matriz de relación².

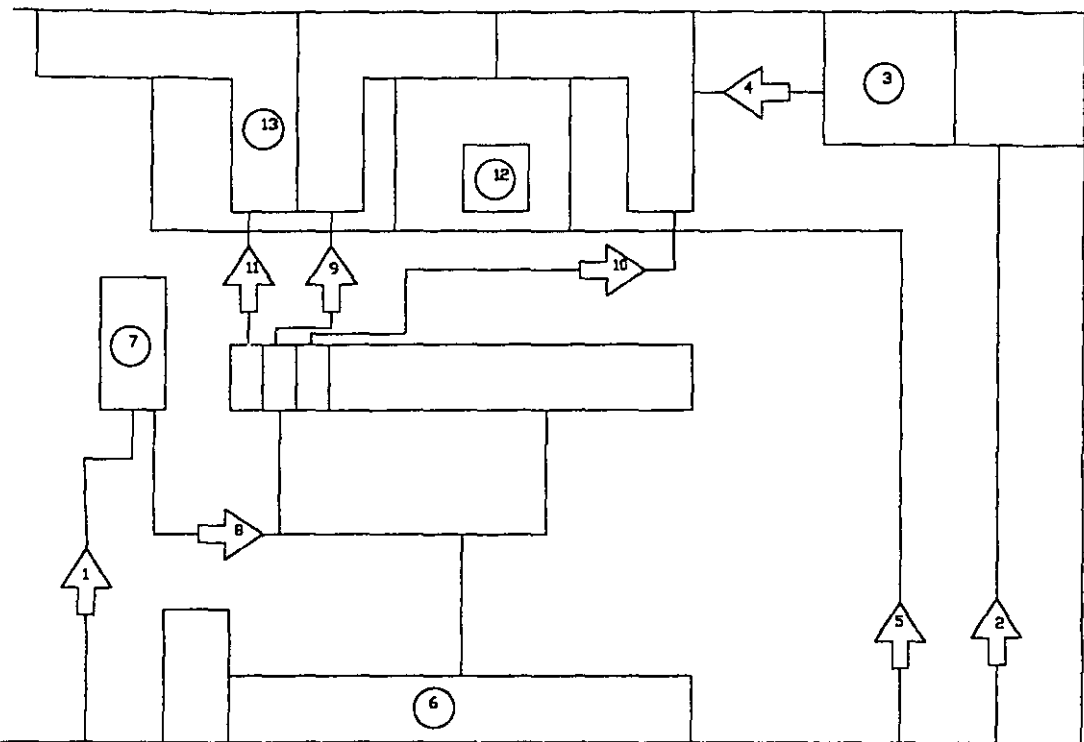
Se propusieron 8 diferentes áreas de trabajo según los 14 elementos propuestos y se definieron las siguientes áreas para cada uno de ellos:

Número designado para el programa	Nombre designado para el programa	Estación o área de trabajo	Area propuesta (m)
1	FRONT	Estación de trabajo ensamble frontal	6
2	POST	Estación de trabajo ensamble posterior	6
3	ARNES	Estación de trabajo habilitado de arnés y motor	12
4	HABIL	Estación de trabajo habilitado de material	7
5	PLAT	Área de plateado de material	2
6	DESEMP	Area de desempaque de material	2
7	ALMAC	Area de almacenamiento de bastidores	8
8	MESAH	Area de almacenamiento de material habilitado	7

Se obtuvieron 5 distribuciones diferentes construidas al azar con base en la información introducida al programa. De las distribuciones obtenidas se seleccionó el de mayor puntuación y más cercano a la relaciones de áreas de los elementos propuestos. A partir de este se generaron 28 interacciones diferentes. La siguiente distribución obtuvo la mayor puntuación y es la más acorde con las necesidades del proceso de ensamble de interruptores de potencia:

¹ Blocplan fue desarrollado en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Houston por IBM-PC sistemas.

² Muther (1973) fue el primero en utilizar un sistema cualitativo para resolver un problema de distribución de áreas.



Lista de Actividades del Diagrama de Recorrido Propuesto

1. Transporte de kits
2. Transporte de bastidores
3. Almacenamiento de bastidores
4. Transporte de bastidor al área de ensamble posterior
5. Transporte de material a granel
6. Almacenamiento de material a granel
7. Desempaque de kits
8. Transporte de material a las áreas de habilitado y de almacenamiento
9. Transporte de material habilitado a ensamble frontal
10. Transporte de material habilitado a ensamble posterior
11. Transporte de material a habilitado de arnés y motor
12. Ensamble posterior y frontal
13. Habilitado de arnés y motor

4.2 Análisis económico de la propuesta

La industria de manufacturas eléctricas que produce los interruptores eléctricos solamente realiza las actividades de producción y vende sus productos al costo a la industria comercializadora perteneciente a la misma empresa. Por lo tanto, la industria productora no tiene utilidades sobre la venta de sus productos.

Cada “kit” de interruptor (no ensamblado) es adquirido en Alemania en \$2428.14 USD (incluyendo flete) y es vendido a la industria comercializadora en \$4225.00 USD. Los gastos de ensamble son los siguientes:

Costo de la mano de obra del interruptor	\$291.36 USD
Costo de los materiales no incluidos en el “Kit”	\$538.80 USD
Costo de uso de la capacidad instalada en planta	\$900.34 USD
Costo campo de pruebas	<u>\$ 56.50 USD</u>
Costo total del ensamble del interruptor	\$1796.86 USD
Costo del kit no ensamblado	\$2428.14 USD
Costo total de venta del interruptor	\$4225.00 USD

Con la propuesta aquí presentada, se estima la siguiente reducción de costos al reducirse los tiempos de ensamble en un 25%:

Costo de la mano de obra del interruptor	\$ 216.83 USD
Costo de los materiales no incluidos en el “Kit”	\$ 538.80 USD
Costo de la capacidad utilizada	\$ 670.05 USD
Costo campo de pruebas	<u>\$ 56.50 USD</u>
Costo total estimado del ensamble del interruptor	\$ 1482.18 USD

Para calcular la inversión necesaria para la implementación de la propuesta aquí presentada, se estimaron los siguientes costos considerando que la fabricación de los muebles se realice en la planta:

Concepto	Costo	Cantidad	Total
Estación de trabajo ensamble posterior	\$657.45 USD	1	\$657.45 USD
Estación de trabajo ensamble frontal	\$657.45 USD	1	\$657.45 USD
Estación de trabajo habilitado de arnés y motor	\$657.45 USD	1	\$657.45 USD
Estación de habilitado de material	\$727.66 USD	1	\$727.66 USD
Mueble de plateado	\$344.68 USD	1	\$344.68 USD
Carró transportador	\$234.04 USD	3	\$702.13 USD
Mesa de desempaque	\$114.89 USD	2	\$229.79 USD
Anaquele de almacenaje de bastidores	\$382.98 USD	2	\$765.96 USD
Soprote de bastidores	\$351.06 USD	6	\$2106.38 USD
Mueble de almacenaje de material habilitado	\$382.98 USD	1	\$382.98 USD
Caja de tubos de vacío	\$57.45 USD	3	\$172.34 USD
Sillas Sitstar	\$237.22 USD	2	\$ 474.44 USD
Sillas WorkCoo	\$253.61 USD	4	\$1014.45 USD
Instalaciones	\$800 USD	1	\$800 USD
		Total	\$9684.16 USD

La reducción de costos por ensamble del interruptor fue estimada, considerando la reducción de los tiempos de ensamble en \$314.68 USD lo que equivale a una reducción del 17.51%. Esto significa que la inversión total de la propuesta podría ser amortizada en la venta de 31 interruptores.

Tomando en cuenta la reducción en los tiempos de ensamble, la producción de interruptores de potencia puede aumentar de 10 a 12 interruptores por día.

Capítulo 5

Comentarios y Conclusiones

Es de suma importancia que el país cuente con una industria eléctrica y de manufacturas eléctricas sólida y suficiente para abastecer las crecientes necesidades de la población. La situación actual de la industria eléctrica obliga a aquellas industrias que deseen permanecer en el mercado a revisar y optimizar sus procesos para lograr ser más productivas y competitivas en el mercado. Debido a la crisis económica de 1994 y a la apertura comercial, el país sufrió la desaparición de una fuerte cantidad de su pequeña y mediana industria del sector eléctrico.

Por lo anterior, se consideró importante para la industria de manufacturas eléctricas, para el sector y para el país el revisar y optimizar el proceso de ensamble de los interruptores de potencia al vacío; con el fin de ser más productivos y estar en mejores condiciones de competencia con otras empresas extranjeras.

Los interruptores son aparatos que han sido utilizados desde principios de la energía eléctrica hasta nuestros días y su demanda es muy extensa. Los interruptores de potencia al vacío presentan características ideales para su utilización en aplicaciones de media tensión y dentro de la industria de manufacturas eléctricas representan uno de los principales productos y subproductos de la empresa.

Uno de los procesos que presentaba mayor número de cuellos de botellas dentro de la industria y la posibilidad de mejoría a un bajo costo era precisamente el de ensamble de interruptores. Por lo que se decidió analizar el proceso y presentar una propuesta para mejorarlo.

A simple vista se podían detectar varios problemas: desorden, condiciones de trabajo inadecuadas, largos e innecesarios transportes y tiempos de espera, métodos no bien definidos para realizar las operaciones, muebles y dispositivos ineficientes e inconformidad entre los trabajadores.

Sin embargo, la producción era de 10 interruptores por día y se consideraba aceptable en la empresa por lo que no se había realizado un estudio detallado del proceso con anterioridad.

Los estudios detallados de las actividades no deben ser solamente utilizados para resolver problemas deben ser utilizados también como herramienta para que la empresa se mantenga en una constante mejora y optimización de sus procesos y de sus recursos.

Se determinó como meta reducir el tiempo de ensamble de 5.5 horas del interruptor en un 33% con la implementación de la propuesta aquí presentada.

Los cursogramas sinópticos, los diagramas analíticos y los diagramas de recorrido arrojaron los datos esperados. Se encontró que se realizaban demasiadas actividades innecesarias, que las estaciones de trabajo estaban distribuidas de manera ineficiente, que los operarios realizaban numerosos recorridos que podrían ser eliminados, que el cansancio de los operarios por ruido, falta de luz y exceso de trabajo estaba aumentando el tiempo promedio de ensamble y que los muebles y dispositivos utilizados en el proceso no eran los adecuados.

Con base en este análisis se concluyó que el promedio de tiempo perdido en cada actividad presentada en los diagramas era alrededor del 30% del tiempo total de la actividad.

Se analizó la problemática encontrada en cada una de las actividades y se propuso una posible solución a cada uno de estos problemas. De estas soluciones se eligieron aquellas consideradas más viables en cuanto a tiempo y presupuesto y se realizaron para incluirlas en la propuesta.

Para cada una de las estaciones de trabajo y los elementos que estas incluyen se presentaron los dibujos conceptuales. Las estaciones de trabajo se diseñaron con el suficiente espacio para el manejo del material y para el almacenaje ordenado de las herramientas que deben ser utilizadas en esa área de trabajo y fueron pensados para aprovechar los recursos de maquinaria y material con los que cuenta la empresa para su fabricación.

Los muebles están diseñados ergonómicamente para mejorar las condiciones de trabajo de los operarios y evitar fatiga innecesaria. La utilización de estos muebles evitará las pérdidas de tiempo por el desplazamiento continuo de los operarios de un lado a otro y por fatiga innecesaria.

Otro aspecto importante durante el proceso fue la definición de la distribución de las áreas de trabajo. Se utilizó un método cualitativo ya que al no tener el proceso una metodología definida las actividades variaban constantemente del ensamble de un interruptor a otro. El análisis de la

importancia de la cercanía de un área con otro nos permitió mejorar la distribución de las estaciones de trabajo y establecer un recorrido para la distribución del material a las diferentes áreas. Se encontró que aunque el espacio total para el área de ensamble es reducido es suficiente para las actividades aquí realizadas.

Una vez presentados todos los elementos que constituyen la propuesta se analizaron las actividades que podrían ser reducidas con la implementación de la misma. Se concluyó que con la implementación de todos los elementos incluidos y distribuidos de la manera propuesta se podrían reducir los tiempos de ensamble en un 25%. Porcentaje un poco más bajo que el esperado del 33%.

El estudio realizado y la propuesta presentada fue realizada con base en el análisis del proceso en general. Se sugiere que para poder disminuir un 8% más los tiempos de ensamble se realicen los estudios de economía de movimientos para cada una de las estaciones de trabajo.

El costo total de la implementación de la propuesta no representa una fuerte inversión para la empresa y sin embargo puede traer un fuerte aumento en la productividad de los interruptores de potencia y de otros productos para los cuales los interruptores son un subproducto.

INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CALABAZAR DE LA VIEJA

Bibliografía

"Academic Press Dictionary of Science and Technology", Internet. Marzo 2001:
<http://acadpressdictionary.com>

"En Anexo de la monografía económica del sector de manufacturas eléctricas hacia el siglo XXI". Camara Nacional de Manufacturas Eléctricas, Marzo 1998.

Blanco Mendoza, Herminio, "Las Negociaciones Comerciales de México con el Mundo", México: Fondo de Cultura Económica, 1994.

"Electric Power Equipment" ISA990801. Internet. Febrero 2000: <http://strategis.ic.gc.ca.html>

Enriquez Harper, Gilberto, "Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores", México: Limusa. [s.f].

Heragu, Sunderesh, "Facilities Design", Boston, Ma: PWS Publishing Company, 1997.

"Introducción al Estudio del Trabajo", Oficina Internacional del Trabajo Ginebra, México: Limusa, 2000.

García Criollo, Roberto, "Estudio del Trabajo, Ingeniería de Métodos", México: McGraw-Hill, 1998

Garzon, D. Ruben, High voltage circuit breakers, Design and applications, New York: Marcel Dekker Inc, 1996.

Hicks, Philip E., Ingeniería industrial y administración. Una nueva perspectiva, (Traducción José Manuel Salazar Palacios), (2ª. Ed.), México: Compañía Editoria Continental, S.A. de C.V., 1999

En Monografía económica del sector de manufacturas eléctricas hacia el siglo XXI, Camara Nacional de Manufacturas Eléctricas, Noviembre 1997.

"La Modernización del Sector Electrico", Secretaría de Energía, Minas e industria Paraestatal, México: Centro de Investigaciones y Docencia Económicas, 1994.

Mortlock, J.R., A.C. Switchgear, London: Chapman & Hall, [s.f].

Protective relays application guide, GEC measurements, Stafford: St. Leonard Works, [s.f].

Reséndiz Núñez, Daniel, "El Sector Eléctrico de México", Comisión Federal de Electricidad, México: Fondo de Cultura Económica, 1994.

Whitten, Kennet W., Whitten, Kennet D., Davis & Raymond E., Química General, (Traducción María Teresa Aguilar Ortega), (2ª. Ed.), México: McGraw-Hill, 1992.