

# **MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**



**OSCAR FERNANDO BETANCOURT MUÑOZ  
JOHN ALEXANDER GUERRERO NARVÁEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN**

**2011**

# MODELO FISICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA



Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de  
Ingenieros en Automática Industrial

OSCAR FERNANDO BETANCOURT MUÑOZ  
JOHN ALEXANDER GUERRERO NARVÁEZ

Director.

ING. Msc. ÁLVARO RENÉ RESTREPO GARCÉS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN

2011

Nota de aceptación: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma del presidente del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

Popayán, febrero de 2010.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. CONCEPTOS GENERALES DE LAS CÉLULAS DE MANUFACTURA .....	3
1.1 MÁQUINA HERRAMIENTA.....	3
1.1.1 Tipos de Máquina Herramienta .....	4
1.2 CONTROL NUMÉRICO (CN).....	4
1.2.1 Elementos básicos y clasificación de un sistema de Control Numérico .....	6
1.3 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) .....	8
1.3.1 Control Numérico Adaptativo (CNA).....	9
1.3.2 Control numérico distribuido (DN) .....	9
1.4 TECNOLOGÍA DE GRUPOS (GT) .....	10
1.4.1 Creación de familia de piezas/partes .....	11
1.4.2 Métodos de agrupación de familias de piezas/partes .....	12
1.5 MANUFACTURA CELULAR.....	18
1.5.1 Tipos de Células de Manufactura.....	21
1.6 METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MANUFACTURA CELULAR .....	25
2 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.....	29
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHASIS DE LUMINARIAS .....	29
2.2 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE PROCESO PRODUCTIVO EN ILTEC.....	33
2.2.1 Clasificación del tipo de proceso productivo en el caso de estudio .....	34
2.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ETAPA DE SOLDADURA.....	35
2.3.1 Flujo de proceso y flujo de materiales para la etapa de soldadura de chasis de luminarias .....	37
2.4 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LOS EQUIPOS, MÁQUINAS-HERRAMIENTAS PRESENTES EN LA ETAPA DE SOLDADURA.....	43
2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD ESTABLECIDOS POR ILTEC PARA LA ETAPA DE SOLDADURA.....	45
3 DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA .....	46
3.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA.....	46

3.2	DISEÑO LÓGICO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA.....	51
3.2.1	Recolección de la información basada en la semejanza de piezas/partes, productos y procesos .....	51
3.2.2	Realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales .....	53
3.2.3	Identificación de familias de piezas/partes o productos .....	53
3.2.4	Asignación y agrupación de equipos y herramientas.....	55
3.3	PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA.....	56
3.3.1	Análisis del espacio físico.....	57
3.3.2	Ubicación y delimitación de los nuevos equipos .....	57
3.4	APLICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA AL CASO DE ESTUDIO.....	59
3.4.1	Recolección de la información basada en la semejanza de piezas/partes, productos y procesos .....	59
3.4.2	Recolección de la información de producción y proceso .....	60
3.4.3	Realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales .....	61
3.4.4	Identificación de familias de piezas/partes o productos .....	61
3.4.5	Selección del método de clasificación.....	63
3.4.6	Asignación y agrupación de equipos y herramientas.....	65
4	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO FÍSICO PROPUESTO PARA LA ETAPA DE SOLDADURA DE CHASIS DE LUMINARIAS .....	80
4.1	MODELO FÍSICO PROPUESTO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA PARA LA ETAPA DE SOLDADURA DE CHASIS DE LUMINARIAS.....	80
4.1.1	Diseño de la representación esquemática de la estación de soldadura de punto y aditamento .....	81
4.1.2	Diseño de la representación esquemática de la estación de soldadura de adición .....	84
4.1.3	Estación de pulido y adición de pernos de sujeción.....	85
4.1.4	Estación del sistema de transporte .....	87
4.2	PROGRAMACIÓN DE LAS ESTACIONES DE SOLDADURA .....	88
4.3	REALIZACIÓN DE UNA ORDEN DE PRODUCCIÓN .....	91
	CONCLUSIONES .....	95
	BIBLIOGRAFÍA .....	97

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag</b>
Figura 1. Máquina-herramienta, Torno Industrial .....	4
Figura 2. Fresadora vertical CN desarrollada por el MIT .....	5
Figura 3. Equipos con Control Numérico (CN) .....	5
Figura 4. Elementos básicos del Control Numérico.....	6
Figura 5. Equipos con Control Numérico Computarizado (CNC).....	8
Figura 6. Sistema de Control Numérico Distribuido.....	9
Figura 7. Diferencia entre familia de piezas/partes .....	11
Figura 8. Familia de partes .....	12
Figura 9. Esquema de generación de un Monocódigo .....	14
Figura 10. Esquema de generación de un Policódigo. ....	15
Figura 11. Estructura básica del sistema OPITZ.....	16
Figura 12. Estructura básica del sistema MICLASS.....	17
Figura 13. Matriz de análisis de flujo de producción.....	18
Figura 14. Célula de manufactura conceptual.....	19
Figura 15. Célula de Manufactura como Unidad Organizacional.....	20
Figura 16. Partes procesadas y transportadas entre diferentes departamentos en grandes lotes (no hay células).....	20
Figura 17. Partes procesadas dentro de la célula en pequeños lotes. ....	21
Figura 18. Célula de máquina simple.....	22
Figura 19. Célula de grupo de máquinas con manejo manual.....	22
Figura 20 Célula de grupo de máquinas con manejo semiautomático .....	23
Figura 21. Célula Flexible de Manufactura.....	23
Figura 22. Sistema Flexible de Manufactura .....	24
Figura 23. Diagrama de etapas proceso de manufactura de chasis de luminarias en ILTEC .....	30
Figura 24. Relación descriptiva de recurso humano y tecnológico.....	30
Figura 25. Diagrama de flujo de material entre máquinas M, de la etapa uno a la cuatro del proceso productivo de chasis de luminarias.....	32
Figura 26. Modelo de diseño CAD y lámina Punzada de un aviso publicitario .....	33
Figura 27. Proceso productivo de luminarias, Referencia: ILTELUX-IR-2x2 .....	33
Figura 28. Operario de soldador de punto y asistente.....	36
Figura 29. Electrodo de cobre del soldador de punto .....	36
Figura 30. Cursograma analítico actual .....	38
Figura 31. Diagrama de flujo del proceso actual .....	40
Figura 32. Representación del estado actual del área física de la planta.....	41
Figura 33. Representación del flujo de materia para la etapa de chasis de luminarias...	42

Figura 34. Proceso general de diseño de un modelo físico de una célula de manufactura .....	47
Figura 35. Información relacionada con el diseño del modelo físico de una célula de manufactura.....	50
Figura 36. Parámetros de recolección de la información de diseño de piezas/partes .....	52
Figura 37 Parámetros de recolección de la información de producción y proceso .....	52
Figura 38. Luminarias que cumplen con todas (6) las actividades y operaciones del proceso.....	62
Figura 39. Luminarias que cumplen con las cuatro primeras actividades y que por sus características físicas y de proceso pueden obviar las dos últimas actividades .....	62
Figura 40. Luminarias que cumplen con las cuatro primeras actividades, con la sexta y no con la quinta actividad .....	63
Figura 41. Distribución del área física de la etapa de soldadura .....	70
Figura 42. Definición de la distribución de planta para el escenario A.....	72
Figura 43. Diagrama de flujo de proceso para el escenario A.....	72
Figura 44. Flujograma de proceso para el escenario A.....	74
Figura 45. Definición de la distribución de planta para el escenario B.....	78
Figura 46. Visión general de comunicaciones entre las estaciones de un sistema de manufactura flexible.....	79
Figura 47. Entorno de trabajo de Cellsetup.....	81
Figura 48. Definición del área en la planta requerida por el modelo físico propuesto.....	82
Figura 49. Definición de dimensiones del equipo de soldadura y soporte .....	83
Figura 50. Robot para la estación de soldadura de punto y aditamento .....	83
Figura 51 Definición del elemento de soldadura de adición .....	84
Figura 52. Estación de soldadura de adición .....	84
Figura 53. Definición de la base para la estación de pulido y adición de pernos de sujeción .....	85
Figura 54 Definición del robot y herramientas de la estación de pulido y adición de pernos de sujeción .....	86
Figura 55. Definición del equipo de pulido para la estación de pulido y adición de pernos de sujeción .....	86
Figura 56. Diseño del conveyor del modelo físico de la célula de manufactura propuesta	87
Figura 57. Definición del sistema de carga/descarga de materiales y piezas/partes. ....	87
Figura 58. Representación esquemática del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura.....	88
Figura 59. Entorno de trabajo en Robocell.....	89
Figura 60. Programación de la estación de soldadura de punto y aditamento y la estación de adición. ....	89
Figura 61. Modo simulación 3D para la estación de soldadura de punto y adición.....	90
Figura 62 Proceso de soldadura de punto .....	90

Figura 63 Proceso de soldadura de adición .....	91
Figura 64. Realización de una orden de producción .....	92
Figura 65. Definición de las máquinas y equipos .....	92
Figura 66. Definición de las partes del chasis de luminarias .....	93
Figura 67 herramientas adicionales de la manufactura integrada por computador.....	94



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag</b>
Tabla 1. Elementos básicos de un control numérico .....	6
Tabla 2. Clasificación de un control numérico .....	7
Tabla 3. Componentes principales de los diferentes tipos de células de manufactura .....	24
Tabla 4. Casos de aplicación que involucran metodologías de diseño de células de manufactura.....	27
Tabla 5. Metodologías de diseño de células de manufactura y sus parámetros de estimación para el diseño .....	28
Tabla 6. Clasificación de máquinas .....	31
Tabla 7. Clasificación de máquinas del proceso productivo de chasis de luminarias .....	31
Tabla 8. Clasificación del tipo de proceso productivo por etapas .....	34
Tabla 9. Requerimientos técnicos, características técnicas y control .....	43
Tabla 10. Resumen del proceso de diseño de identificación de familias .....	55
Tabla 11. Resumen de las actividades del proceso de diseño de asignación y agrupación de equipos y herramientas.....	56
Tabla 12. Resumen de las actividades de planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura .....	58
Tabla 13. Atributos y consideraciones de diseño para una luminaria .....	60
Tabla 14. Universo de piezas/partes.....	61
Tabla 15. Familia 1 .....	64
Tabla 16. Familia 2 .....	64
Tabla 17. Familia 3 .....	65
Tabla 18. Equipos propuestos para el escenario A .....	67
Tabla 19. Componente humano para el escenario A .....	69
Tabla 20. Distancias de trayectorias en la banda transportadora.....	71
Tabla 21. Equipos propuestos para el escenario B .....	75
Tabla 22. Estimación de componente humano para escenario B.....	77
Tabla 23. Requerimientos técnicos y operativos para escenario B .....	78
Tabla 24. Elementos que conforman el diseño físico de la célula de manufactura propuesta para la etapa de soldadura de chasis de luminarias.....	80

## INTRODUCCIÓN

La base para la competencia en el sector manufacturero ha cambiado rápidamente y ya no se define por las fronteras nacionales, ahora tiene un alcance mundial; las industrias que quieran sobrevivir a largo plazo, que pretendan consolidarse y mantenerse competitivas en la época de la globalización e información, están forzadas a sustituir los métodos obsoletos, sistemas tradicionales y culturas industriales antiguas con una estructura competitiva basada en la utilización de recursos tecnológicos y humanos para la integración de todos los aspectos de la industria manufacturera. Esto ha conllevado a implantar sistemas de manufactura modernos, determinados por los avances y desarrollos científicos y tecnológicos, que han introducido nuevos y poderosos elementos en la industria manufacturera como: instalaciones, herramientas, máquinas, sensores, elementos para el control de la producción, robots, computadores, redes de comunicación y software en las áreas de diseño, planificación, control y simulación de sistemas, que han evolucionado los medios de manufactura existentes en sistemas de manufactura integrados y versátiles.

Las empresas manufactureras a nivel mundial han implementado sistemas productivos automatizados y semi-automatizados que permiten lograr y mejorar eficientemente el tipo de producción que realizan, buscando generar tandas más pequeñas de productos más variados en el menor tiempo posible, con el fin de que sus ventajas de producción sean mayores para sobresalir frente a los competidores. En consecuencia, en los últimos años las empresas nacionales han notado que se encuentran enfrentando un problema delicado de competitividad industrial debido a la globalización, tratados y convenios de libre comercio, enfrentándose con un mercado que se ha ido inundando de productos importados que satisfacen las necesidades del cliente con una gran variedad de productos con altos estándares de calidad y puestos al mercado a bajos precios, generando que los productos nacionales sean poco competitivos a nivel nacional e internacional pasando a ser relegados por los diferentes consumidores.

En busca de soluciones eficientes y novedosas la industria ha ido adoptando nuevas tendencias en los sistemas productivos como estrategia para la mejora continua en el sector manufacturero, orientadas a proponer un sistema que pueda ser implementado en cualquiera de las etapas de producción de procesos tipo Batch<sup>1</sup> o Discretos<sup>2</sup>; y no establecerlos como un sistema productivo general para todo el proceso de producción, con el objetivo de producir diferentes productos con características similares y algún

---

<sup>1</sup> **Tanda:** En este documento el concepto "Batch" será entendido como "Tanda" y no como "Lote" ya que las normas ISA S88 e ISA S95 hacen distinción entre los términos "Lote" y "Batch."

<sup>2</sup> **Proceso discreto:** Contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas

grado de personalización, para satisfacer los requerimientos y necesidades específicas del consumidor y así poder competir con igualdad de condiciones en un mercado que ha sido marcado por la variedad y la caracterización de los productos.

Como resultado de estos desarrollos y tendencias en los sistemas productivos, las células de manufactura se han erigido como un sistema productivo capaz de afrontar y responder a estas especificaciones y exigencias, con base en una conformación de plataformas de equipos y sistemas hardware-software, las cuales a pesar de contar con avances significativos en sus desarrollos y aplicaciones, aún presentan falencias en los diseños e implementaciones en la industria, debido a la reducida investigación relacionada con el desarrollo de modelos que permitan una clara determinación de los componentes físicos y flujos de información involucrados en este sistema productivo.

Por lo expuesto anteriormente, en el desarrollo de este proyecto se realizará una investigación que permita identificar, especificar y desarrollar las necesidades típicas inherentes en el modelo físico de una célula de manufactura, conformado por los sistemas de transporte, maquinaria, equipos, robots, control y mano de obra calificada, con la ayuda de OpenCim de Intellitek como una herramienta software para representar esquemáticamente el modelo físico propuesto, permitiendo reducir y mitigar posibles fallas, evitar nuevas revisiones y rediseños en la célula de manufactura y así encontrar una solución óptima en un ambiente simulado.

Se tomará como caso de estudio la empresa Iluminaciones Técnicas S.A., la cual está dedicada a la fabricación y suministro de soluciones integrales de iluminación, enfocando el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura en la etapa de soldadura de punto perteneciente al proceso de producción de luminarias. De esta manera se podrá generar el componente físico inicial de un sistema de manufactura flexible, orientado a lograr una mayor eficiencia y eficacia en la etapa de soldadura en una futura implementación, mejorando la productividad del proceso en la manufactura de chasis de luminarias, mediante sistemas de automatización que permitan competir a nivel local y mundial, logrando satisfacer los requerimientos específicos de cada cliente en el diseño de luminarias.

## **1. CONCEPTOS GENERALES DE LAS CÉLULAS DE MANUFACTURA**

El presente capítulo especifica las principales características, tipos, configuraciones y equipos relacionados con el desarrollo del modelo físico de una célula de manufactura conformado por: maquinaria especializada, equipos, dispositivos de transporte, dispositivos de almacenamiento, recurso humano, software de control y simulación. Recopila la información desde los inicios básicos de la máquina-herramienta, pasando por el avance tecnológico hacia el control numérico, seguido de su gran evolución al control numérico computarizado y sus diferentes acciones de control, además de los avances tecnológicos que fueron involucrados en la industria, y sus diferentes desarrollos enfocados hacia la producción, entre los que se destacó la tecnología de grupos, la cual resultó, la base principal para la posterior evolución hacia la manufactura celular.

La evolución de los sistemas de manufactura ha generado nuevos argumentos en el ámbito industrial, redefiniendo y ampliando las definiciones clásicas de manufactura, proceso, sistema, control, gestión de la información, calidad, operaciones de manufactura, diseño de procesos, diseño de productos y simulación. Los autores de este trabajo sugieren ver el Anexo 1 para comprender el desarrollo de este capítulo, ya que es importante conocer las tendencias actuales que se les ha dado a estos conceptos con el propósito de entender y desarrollar correctamente el diseño físico de una célula de manufactura.

A continuación se define los conceptos y elementos básicos que están involucrados en el modelo físico de un sistema de producción basado en células de manufactura, desde sus inicios con la máquina - herramienta hasta los sistemas de manufactura flexible, que hoy en día es el avance más significativo de este tipo de producción.

### **1.1 MÁQUINA HERRAMIENTA**

La máquina-herramienta es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos; su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias, donde su fuente de energía a través de los años ha sido humana, animal, hidráulica hasta llegar a la energía eléctrica [1]. Su modo de operación ha evolucionado desde la forma manual, pasando por sistemas simples de semi-automatización hasta llegar a un control total automático de las partes mecánicas e instrumentación que componen una máquina de éstas (Ver Figura 1).

### 1.1.1 Tipos de Máquina Herramienta

La forma más básica de clasificar estas máquinas está basada en su forma de trabajar y procesar los materiales, de donde se desprenden los siguientes tres tipos [1]:

- **Desbastadoras:** son las máquinas que le dan forma a la pieza por arranque de viruta.
- **Prensa:** son las máquinas que dan forma a las piezas mediante el corte, prensado o estirado.
- **Espaciales:** son las máquinas que dan forma a la pieza mediante técnicas más complejas como: laser, electroerosión, ultrasonidos, plasma, entre otras.

**Figura 1. Máquina-herramienta, Torno Industrial**



Fuente: <http://carpinteria5b.files.wordpress.com/2009/12/torno.jpg>, febrero de 2010.

Alrededor de los años 50, la evolución de la ciencia y la tecnología logró que estas máquinas cambiaran en busca de alcanzar velocidad en la producción y flexibilidad en los procesos, desarrollando el control numérico como se detalla a continuación.

El siguiente numeral indica un componente fundamental en el modelo físico de una célula de manufactura, ya que en la evolución de estos sistemas éste ha sido uno de los principales componentes debido a sus prestaciones favorables para la manufactura celular.

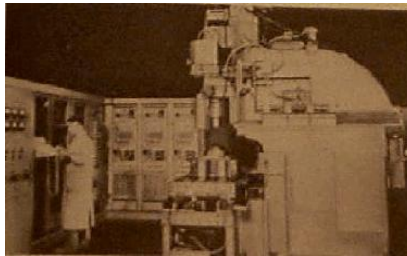
## 1.2 CONTROL NUMÉRICO (CN)

Las primeras investigaciones sobre control numérico fueron realizadas por *John Parsons* y *Frank Stulen* en la *Parsons Corporation* en Michigan a fines de la década de los años cuarenta. Parsons era un contratista de maquinado para la fuerza aérea de Estados Unidos y había diseñado un medio que utilizaba datos de coordenadas numéricas a fin de mover la mesa de trabajo de una fresadora y producir cortes complejos para aeronaves.

Con base en el trabajo de *Parsons*, el proyecto fue subcontratado para el laboratorio de servomecanismos en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), con el propósito de desarrollar una máquina herramienta prototipo que utilizara el nuevo principio de datos numéricos. El laboratorio del MIT confirmó que el concepto era factible y procedió a adaptar una fresadora vertical de tres ejes, usando controles analógicos-digitales (Ver Figura 2). [2]

En la actualidad, el control numérico puede definirse como un dispositivo flexible de automatización de una máquina que controla su funcionamiento mediante números, donde éstos constituyen un programa de instrucciones preparado para desarrollar una determinada tarea. Cuando esta tarea termina, se procede a cambiar el programa para realizar otro trabajo compuesto de tareas. Si bien el control numérico se utiliza en una gran variedad de procesos, su aplicación principal es en las máquinas-herramientas (Ver Figura 3). [3]

**Figura 2. Fresadora vertical CN desarrollada por el MIT**



Fuente: [http://www.portalmibax.com/images\\_mias/máquina%20amutio.jpg](http://www.portalmibax.com/images_mias/máquina%20amutio.jpg), febrero de 2010.

**Figura 3. Equipos con Control Numérico (CN)**



Fuente: <http://imagenes.solostocks.com/z11015615/curvadora-tejero-cn-35mm.jpg> febrero de 2010.

### 1.2.1 Elementos básicos y clasificación de un sistema de Control Numérico

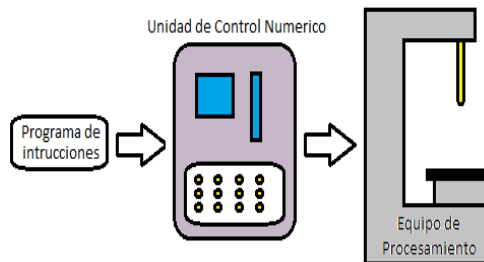
Un sistema de control numérico está conformado por los tres elementos básicos que se observan en la Tabla 1; su esquema de operación se puede observar en la Figura 4 y su clasificación según el control de las trayectorias se observa en la Tabla 2.

**Tabla 1. Elementos básicos de un control numérico**

ELEMENTOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN
<b>Programa de Instrucciones</b>	Es un código en un lenguaje especial que al ejecutarse secuencialmente dirige al equipo de procesamiento.
<b>Unidad de Control Numérico</b>	Es una unidad que debe leer e interpretar las instrucciones contenidas en el código de programación con el objetivo de convertirlas en señales o impulsos que accionen los dispositivos mecánicos y eléctricos de la máquina.
<b>Equipo de Procesamiento</b>	Es el componente que realiza todo el trabajo útil, es decir, la mesa de trabajo, las máquinas-herramienta así como los motores y controles para moverlas.

Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010 con base en “*CN Machine Programming and Software Desing*”. [3]

**Figura 4. Elementos básicos del Control Numérico**



Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010 con base en “[http://www.sitenordeste.com/mecanica/control\\_numerico.htm](http://www.sitenordeste.com/mecanica/control_numerico.htm)” [Revisado: Febrero de 2010]. [4]

El control numérico permite programar los equipos obteniendo un grado básico de automatización, en el cual el equipo de procesamiento es controlado por medio de una secuencia de código basado en una serie de instrucciones codificadas de símbolos, arreglos numéricos y arreglos alfabéticos, en un formato de cintas magnéticas y tarjetas perforadas, adecuado para especificar un conjunto de instrucciones y poder regir todas las acciones de una máquina o mecanismo, haciendo que éste desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos previamente establecidos con el objetivo de producir o realizar una pieza o un trabajo en particular, permitiendo que en el momento que sea necesario cambiar la tarea para producir una determinada pieza sea necesario cambiar principalmente el programa de instrucciones quedando el equipo preparado para el desarrollo de su nueva tarea.

**Tabla 2. Clasificación de un control numérico**

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCION
<b>Control Numérico Punto a Punto</b>	Controla únicamente el posicionado de la herramienta en los puntos donde debe ser realizada una operación de mecanizado, realizando los desplazamientos en vacío según trayectorias paralelas a los ejes o a 45 grados, sin ninguna coordinación entre los sistemas de mando de cada uno. Se utiliza fundamentalmente en máquinas taladradoras, punzadoras, punteadoras y en algunas mandrinadoras.
<b>Control Numérico Paraxial</b>	Permite controlar la posición y trayectoria durante el mecanizado del elemento desplazable, siempre que ésta última sea paralela a los ejes de la máquina. Es aplicable a todas las máquinas-herramienta.
<b>Control Numérico Continuo o Contorneado</b>	Controlan no sólo la posición final de la herramienta, sino también el movimiento en cada instante de los ejes coordinando el movimiento, usando técnicas de interpolación lineal, circular y parabólica.

Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010 con base en "[http://www.sitenordeste.com/mecanica/control\\_numerico.htm](http://www.sitenordeste.com/mecanica/control_numerico.htm) [Revisado: Febrero de 2010]".[4]

La anterior clasificación general del control numérico ha sido la base para los desarrollos e innovaciones en este campo; en el siguiente numeral se explica el principal avance del control numérico, influenciado por los avances tecnológicos específicamente en el campo de los sistemas computacionales dando origen al CNC (Control Numérico Computarizado) y DNC (Control Numérico Distribuido), elementos fundamentales en las células de manufactura con enfoque flexible, siendo éste uno de los tipos de los de célula de manufactura de interés para el desarrollo de un modelo físico.



### 1.3 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

El control numérico computarizado nace debido a la necesidad de tener flexibilidad en la fabricación de piezas y como resultado de esta exigencia se desarrolló la máquina-herramienta de control numérico computarizado (ver Figura 5), siendo el resultado de ubicar uno o varios procesadores en una máquina CN, logrando permitir que los programas puedan ser almacenados y desarrollados localmente, eliminando o reduciendo un buen número de problemas operativos del Control Numérico convencional. [5]

El CNC contiene una memoria interna de semiconductores, que permite el almacenamiento del programa principal de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. Por otra parte, incorporan un teclado que facilita la comunicación y el grado de interactividad con el operario y permiten la ruptura de la secuencia de los programas, la incorporación de subrutinas, los saltos condicionales y la programación paramétrica. De esta forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender. [5]

**Figura 5. Equipos con Control Numérico Computarizado (CNC)**



Fuente: <http://www.gemini.com.co/dobla/images/dobcnc1.jpg>, febrero de 2010.

Uno de los grandes aportes de la máquina-herramienta CNC es poner a disposición un control integrado asistido por un procesador para controlar en cada instante la posición de la herramienta de la máquina respecto a un origen, algo similar a un sistema de posicionamiento global pero orientado a la mecánica, siendo muy exacto; también cuenta con memoria para permitir el almacenamiento de instrucciones de programación, herramientas de edición de programas, diagnóstico de control, configuración de rutinas especiales, configuración de unidades de medida mediante un sistema de memoria interna, permitiendo ser usadas como unidades independientes según las características de la pieza a producir. Además ofrecen una mayor flexibilidad porque están dotadas de control digital en lugar de circuitos cableados, lo cual permite que se puedan incorporar con facilidad nuevas opciones y se puedan resolver los problemas de hardware y programación de las operaciones de una manera modular, siendo más sencilla su configuración y puesta a punto con el propósito de realizar diversas tareas con finalidades

específicas, teniendo en cuenta factores como la producción y rentabilidad para fabricar lotes pequeños de piezas con alto grado de complejidad.

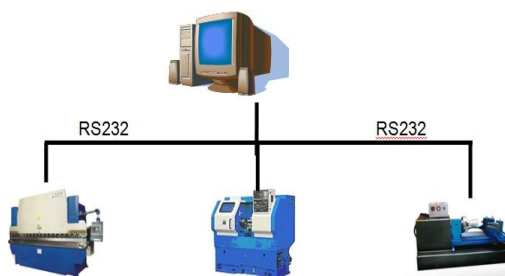
### 1.3.1 Control Numérico Adaptativo (CNA)

La tendencia actual del diseño del control es orientado hacia el control adaptativo, el cual se ha hecho presente en el control numérico. En el control numérico adaptativo, el controlador detecta las características del mecanizado que está realizando y en función de ellas optimiza las velocidades de corte y los avances; en otras palabras, adapta las condiciones teóricas o programadas del mecanizado a las características reales del mismo. Para ello, hace uso de sistemas sensoriales de fuerza y de deformación en la herramienta, torque, temperatura de corte, vibraciones y potencia. [5]

### 1.3.2 Control numérico distribuido (DN)

En sus orígenes, el concepto de control numérico distribuido estaba relacionado con la idea de un único computador de elevadas prestaciones, que gobernaba todas las funciones de control correspondientes a varias máquinas-herramienta. La nueva concepción DNC, introducida en 1.968, conduce a un sistema formado por varios CNC, basados en microcomputadores dedicados al control específico de máquinas individuales, que a su vez están supervisados por un computador central que realiza, además de todas las funciones específicas del DNC, una gestión de la producción. Este computador almacena, edita y envía los programas a los CNC locales cuando éstos lo requieren, pudiendo además dirigir el flujo del material y la asignación de tareas de forma mucho más eficiente (ver Figura 6). [6]

**Figura 6. Sistema de Control Numérico Distribuido**



Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010.

En términos de avance tecnológico, el control numérico distribuido abarca un escalón más en la automatización que el CNC, ya que contempla la coordinación de más de una fase del proceso de producción y mecanizado de múltiples máquinas-herramientas CNC, basándose en las redes y protocolos de comunicación industrial y la eficiencia de los computadores modernos para ejecutar las tareas de diseño y manufactura asistida por computador, aumentar el desempeño de las máquinas herramientas, del programador y la parte operativa del proceso, además de proporcionar una estructura flexible que permita integraciones y expansiones con diferentes sistemas, generando una realimentación en tiempo real de la información presentada en las distintas máquinas-herramientas en el proceso de producción.

A continuación se describe detalladamente el tipo de producción basada en tecnología de grupos, debido a que es parte fundamental en el proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura, teniendo en cuenta la importancia en sus métodos de creación de familias de piezas/partes, sus métodos de clasificación y codificación, los cuales son tenidos en cuenta en el capítulo 3.

#### **1.4 TECNOLOGÍA DE GRUPOS (GT)**

El primer desarrollo referente a la tecnología de grupos data del año 1925, cuando *R. Flanders* en Estados Unidos presentó un documento ante la Sociedad Estadounidense de ingenieros mecánicos, en el cual describía una forma de organizar la manufactura en *Jones and Lamson Machine Company*, que en la actualidad se denominaría tecnología de grupos [7]. En 1937, *A Sokolovskiy* describió las características esenciales de la tecnología de grupos y propuso que las partes de configuración similar se produjeran mediante una secuencia de proceso estándar, lo cual permitía que se usaran técnicas de línea de flujo para un trabajo que normalmente se realizaba mediante producción en tandas. En 1949, *A. Korling* presentó un documento en París Francia, acerca de la producción en grupo, cuyos principios son una adaptación de las técnicas de línea de producción para manufactura en tandas; en el documento describía cómo el trabajo se descentralizaba en grupos independientes, cada uno de los cuales contenía las máquinas y la habilitación de herramientas para producir una categoría especial de partes. [7]-[8]

En 1958, el investigador *S. Mitrofanov* publicó un libro titulado *Scientific Principles of Group Technology*; el libro se difundió ampliamente y se le consideró pionero como referencia en las plantas donde se implementó la tecnología de grupos. Posteriormente en el año 1965, *H Opitz* en Alemania estudió las partes de trabajo manufacturadas por la industria de máquinas herramienta de Alemania y desarrolló el conocido sistema de clasificación y codificación de partes que lleva su nombre. [7]-[8]

En la actualidad, la tecnología de grupos se basa en el proceso de clasificar las partes por familias, explotando sus similitudes en diseño y producción para posteriormente asignar equipos y herramientas similares a una familia de piezas/partes para ser procesadas,

teniendo en cuenta la explotación y aprovechamiento de los aspectos de similitud y producción desde tres puntos de vista distintos:

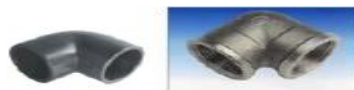
- Realizando actividades similares simultáneamente.
- Estandarizando tareas similares.
- Almacenando y retroalimentando eficientemente la información de la producción y los problemas repetitivos de ésta.

Para lograr el resultado esperado hay que considerar aspectos fundamentales como características de manufactura y atributos del diseño, entendiéndose como atributos de diseño típicos, la forma de la pieza/parte (prismático, redondo, cuadrado), ambiente dimensional (relación, largo, diámetro), integridad superficial (aspereza superficial, tolerancias dimensionales), tipo de material, estado de la materia prima (fundida, forjada, lingotes almacenados) además de las características de manufactura en operaciones (como torneado, esmerilado, ranurado) y sus secuencias, lotes de producción, máquinas y herramientas de corte necesarias para realizar las operaciones, tiempos de trabajo y tiempos de configuración de equipos. [8]

#### 1.4.1 Creación de familia de piezas/partes

Una familia es una colección de piezas/partes que poseen características de geometría y tamaño similares o que su proceso de fabricación tiene unas tareas similares [9]. Aunque estas características no son suficientes para incluirlas en una misma familia, la no inclusión puede venir dada por las tolerancias, cantidad de producción y materiales que componen las mismas; como se observa en la Figura 7, se tienen dos piezas/partes geoméricamente idénticas pero que no pertenecen a la misma familia, debido a que una es de pvc, fabricada en altas cantidades y rangos de tolerancia muy amplios, y la otra es de hierro galvanizado, con una producción baja y unas tolerancias muy bajas. Ahora si se considera el equipo para su producción, aunque las piezas/partes son iguales en forma, la maquinaria para procesar pvc no será la misma que la que procesará el metal, además de que cuanto menores sean las tolerancias aceptadas, más cara y compleja será la maquinaria usada.

**Figura 7. Diferencia entre familia de piezas/partes**



Fuente: “*Sistemas Integrados De Fabricación*” [9], marzo de 2010.

#### 1.4.2 Métodos de agrupación de familias de piezas/partes

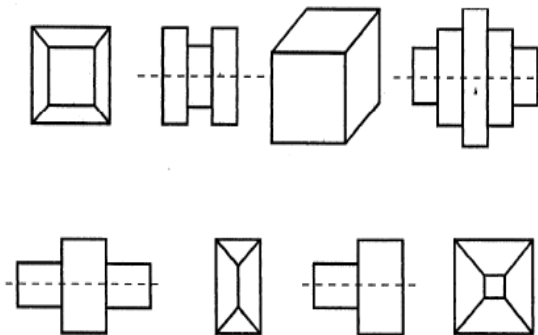
Se han desarrollado muchos procedimientos para descomponer un gran sistema de manufactura en sistemas pequeños más manejables, basados en las similitudes de los atributos del diseño y aspectos de las piezas/partes. Estos procedimientos pueden ser secuencias de clasificación usando sistemas de código y procedimientos de formación de células utilizando la información del flujo de producción. [9]

Entre los métodos de agrupación y clasificación más aplicados en la industria se encuentran:

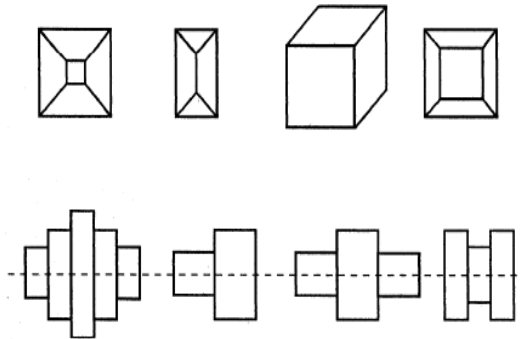
- **Método de inspección visual directa:** En este método se van clasificando las piezas en clases, subclases, grupos, subgrupos, a partir del análisis de los planos según sus procesos de fabricación. Además pueden utilizarse las dimensiones necesarias hasta la formación de familias con el grado de semejanza requerido.[9]-[10]

En la Figura 8, se observa un grupo de piezas/partes que es clasificado y agrupado mediante el método de inspección visual, considerando las características físicas y diseño de las piezas/partes; la formación directa de familias de piezas se facilita con una técnica de análisis-síntesis, donde en primer lugar se dividen las piezas de acuerdo con criterios finos de división y con un número de criterios de clasificación (como: ¿necesita mecanizado?, ¿necesita fundición?, ¿tiene componentes rotacionales?, tipo de material, etc.) suficientes para que las piezas comprendidas en cada familia final tengan una gran semejanza; este método es considerado económico pero poco confiable y dependiente de preferencias del personal a cargo de la clasificación y agrupación.

**Figura 8. Familia de partes**



a) Piezas/partes de un proceso de producción.



b) Familia de piezas/partes mediante inspección visual directa.

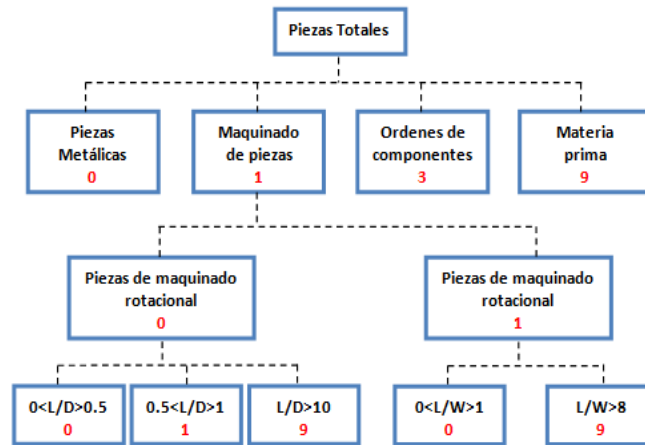
Fuente: “*The Many Faces of Group Technology*”. [10], marzo de 2010.

- Métodos de clasificación y codificación:** La codificación se refiere al proceso de asignar símbolos a las piezas/partes y emplearlos en el procesamiento de la información; los símbolos representan los atributos del diseño de las partes, sus características de manufactura o ambas. Los atributos y características pueden ser en similitudes de diseño (por ejemplo: la forma de las piezas) y similitudes de proceso (por ejemplo: similitudes en la secuencia de producción de la pieza/parte). Esto lleva a definir tres tipos distintos de sistemas, basados en similitudes de diseño, en similitudes de proceso, o en ambos tipos de similitudes, ya que para un proceso puede ser muy eficiente la codificación mediante similitudes de diseño y para otro ser completamente ineficiente. Normalmente estos dos tipos de similitudes no están del todo relacionadas y se tiene que dar un cierto peso a una de ellas sobre la otra, debido a que ambas proporcionan beneficios distintos sobre la fabricación. Las similitudes de diseño nos ayudan al diseño de una pieza, cuando se tiene otra similar previamente diseñada, permitiendo ahorrar mucho tiempo en el diseño de la pieza, aunque las similitudes de proceso ayudan a la hora de diseñar las células de manufactura y la posibilidad de automatizar la planeación del proceso de producción usando el código como el mismo plan de proceso. [10]-[11]

Existen muchos métodos de sistemas de clasificación y codificación, diferenciándose principalmente en el significado asignado a los símbolos empleados para la generación del código; estas diferencias en la asignación de los símbolos para la codificación se puede clasificar de la siguiente manera:

**a) Monocódigo (código jerárquico):** está basado en una estructura de árbol, en el cual cada símbolo amplía la información del dígito anterior; por lo tanto, los dígitos en un monocódigo no pueden ser interpretados independientemente del resto de los símbolos. En la Figura 9 se observa el esquema de generación del monocódigo.

**Figura 9. Esquema de generación de un Monocódigo**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “*The Many Faces of Group Technology*”. [10], marzo de 2010.

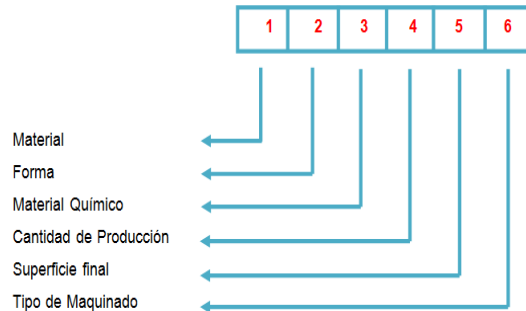
El primer dígito (del 0 al 9) divide el conjunto de partes en los grupos principales como partes de hoja de metal, partes maquinadas, componentes y partes compradas, etc. El segundo y posteriores dígitos dividen el conjunto en otros subgrupos para cada uno. Por ejemplo, el segundo dígito divide las partes maquinadas en partes rotatorias (0) y no rotatorias (1); considerando el código de 110 de la Figura 9, representa una parte maquinada (1) no rotatoria (1) con una relación largo/ancho menor a 1 (0). El dígito 1 en el primer y segundo campo del código de 110 tiene significados distintos y contiene diferente información. Por lo tanto, los dígitos en un Monocódigo no pueden ser interpretados independientemente, la interpretación depende de la información contenida en los símbolos precedentes. [10]

La característica más sobresaliente del monocódigo es que permite almacenar bastante información en un código pequeño, gracias a que la estructura jerárquica del código lo hace útil para almacenar y recuperar información del diseño como: geometría de la parte, material y tamaño de manera eficiente. Es por eso por lo que en la actualidad este tipo de codificación no es muy utilizado debido a que es necesario contar con personal especializado que conozca detalladamente el diseño y proceso de producción para poder jerarquizar la secuencia del proceso, siendo esta una tarea muy compleja y en algunos casos imposibles de realizar.

**b) Policódigo (Código de tipo dígito):** el policódigo se conoce con otros nombres como cadena de código, código discreto o código de dígito fijo; en éste los símbolos del código son independientes uno del otro. Cada dígito en un lugar específico del código describe una propiedad única de la pieza de trabajo, siendo fácil de aprender y útil en

situaciones de manufactura en las cuales la función de las partes o del proceso de manufactura son descritos. La longitud de un policódigo puede hacerse excesivamente grande debido a sus aspectos combinatorios limitados. En la Figura 10 se observa el esquema de generación de un policódigo. [10]

**Figura 10. Esquema de generación de un Policódigo.**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “*The Many Faces of Group Technology*”. [10], marzo de 2010.

**c) Multicódigo (Código combinado):** este sistema de codificación conserva las ventajas del monocódigo y policódigo; por lo tanto, la mayoría de los sistemas de codificación usan este tipo de estructura, permitiendo codificar características de diseño y características de fabricación con una longitud de código relativamente pequeña.

**d) Sistema OPITZ:** es un sistema de codificación Multicódigo, siendo el pionero en el área de la tecnología de grupos y es probablemente el más conocido de los sistemas de codificación.

El sistema Opitz utiliza la siguiente secuencia de dígitos:

**1 2 3 4 5      6 7 8 9      A B C D**

donde el código básico está formado por nueve dígitos, el cual puede extenderse con la ayuda de 4 dígitos adicionales; los 9 primeros dígitos intentan cubrir los datos de diseño y fabricación. Los cinco primeros, 12345, denominados código de forma, describen los atributos primarios de diseño de la pieza. Los siguientes cuatro dígitos, 6789, constituyen el código suplementario, indicando algunos de los atributos que serían de uso para la fabricación (dimensión, material, características de la pieza base y precisión). Los cuatro dígitos extra, ABCD, son el llamado código secundario e intentan representar el tipo de procesos de operación y secuencia, aunque también pueden ser utilizado por la compañía para sus necesidades particulares. [10]-[11]



En la Figura 11, se puede observar la estructura básica de codificación y clasificación del sistema OPITZ, permitiendo establecer la base para la formación de familias de piezas/partes en un proceso de producción, teniendo en cuenta el diseño y la secuencia de producción.

**Figura 11. Estructura básica del sistema OPITZ**

Códigos comunes						Códigos de forma: atributos de diseño				Atributos de fabricación							
1º DÍGITO		2º DÍGITO	3º DÍGITO	4º DÍGITO	5º DÍGITO	DÍGITO											
TIPO DE PIEZA		FORMA PRINCIPAL	MECANIZADO DE LA SUPERFICIE DE REVOLUCIÓN	MECANIZADO DE LA SUPERFICIE PLANA	AGUJEROS AUXILIARES, ENGRANAJES, CHAVETEROS	1	2	3	4								
0	PIEZAS DE REVOLUCIÓN	$L/D \leq 0,5$	FORMA EXTERNA	FORMA INTERNA	MECANIZADO PLANO												
		$0,5 < L/D < 3$															
		$L/D \geq 3$															
		$L/D \leq 2$ CON DESVIACIÓN	FORMA PRINCIPAL	MECANIZADO CILÍNDRICO INTERNO Y EXTERNO	MECANIZADO PLANO	AGUJEROS AUXILIARES, ENGRANAJES, CHAVETEROS											
		$L/D > 2$ CON DESVIACIÓN															
5	ESPECIAL																
6	PIEZAS DE NO REVOLUCIÓN	$A/B \leq 3, A/C \geq 4$	FORMA PRINCIPAL	TALADROS PRINCIPALES	MECANIZADO PLANO	AGUJEROS AUXILIARES, ENGRANAJES, CHAVETEROS											
		$A/B > 3$	FORMA PRINCIPAL														
		8	$A/B$ PIEZAS CÚBICAS	FORMA PRINCIPAL													
		9	ESPECIAL														

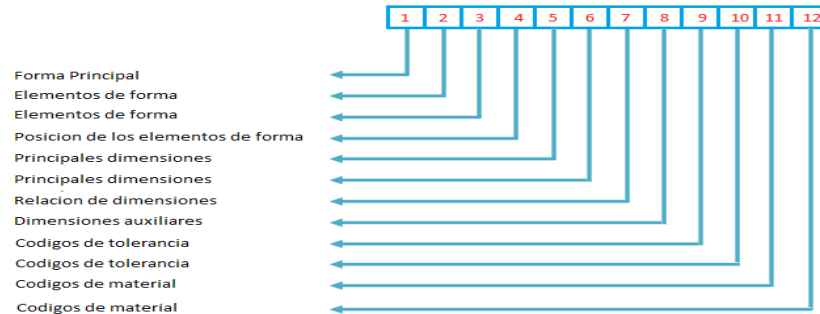
Fuente: “*The Many Faces of Group Technology*”. [10], marzo de 2010.

**e) Sistema MICLASS:** su acrónimo significa Metal Institute Classification System y fue desarrollado por TNO, Organización Holandesa para la Investigación Científica Aplicada. El código de MICLASS puede tener entre 12 y 30 dígitos, donde los 12 primeros son un código universal aplicable a cualquier pieza/parte. Además se dispone de hasta 18 dígitos adicionales para ser aplicados en la codificación de datos específicos de la compañía o industria como se puede observar en la Figura 12; por ejemplo: tamaño de la tanda, tiempo por pieza, coste y secuencia de operaciones deben ser incluidos en estos 18 dígitos suplementarios. [10]-[11]

La aplicación de la clasificación y codificación en la tecnología de grupo es un problema muy complejo y aunque se han creado muchos sistemas y hecho innumerables esfuerzos para mejorarlos, aún no existe un sistema universalmente aceptado, debido a que cada

empresa tiene sus propias necesidades y requerimientos específicos. Por lo tanto, es necesario que el sistema adoptado sea utilizable por todos los departamentos relacionados de una empresa, incluyendo los de diseño e ingeniería, planeación y control, fabricación, así como administración.

**Figura 12. Estructura básica del sistema MICLASS**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “*The Many Faces of Group Technology*” [10], marzo de 2010.

**f) Production Flow Analysis (PFA):** el análisis de flujo de producción es un método de agrupación de las máquinas empleadas en los procesos de manufactura, teniendo en cuenta qué máquina necesita cada una de las partes que se fabrican. Para ello, se utiliza una matriz en la que las columnas representan las máquinas, y las filas representan las partes. A cada máquina se le asigna un valor numérico y a cada parte una letra, cuando una pieza/parte requiere una máquina en particular, el número de secuencia de funcionamiento se encuentra en la intersección de la hoja de cálculo leyendo cada una de las filas, de izquierda a derecha, como un número binario, en el que las ‘X’ representan un ‘1’ y los espacios en blanco un ‘0’, para posteriormente ordenar las filas en orden decreciente, como se observa en la Figura 13. [12]

La función principal del análisis del flujo de producción es permitir una planificación eficiente de la organización de una planta mediante cambios en el diseño de ésta, de tal manera que la producción puede aumentar radicalmente, bajando el tiempo de transporte entre máquinas, lo que llevó a los esquemas tradicionales de producción a cambiar a grupos de producción, logrando que cada una de las partes que se manufacturan estén equipadas con un conjunto de máquinas y equipos que les permitan completar el proceso de manufactura, teniendo que recorrer el mínimo espacio posible entre máquinas, reduciendo de esta forma las pérdidas causadas por el transporte.

**Figura 13. Matriz de análisis de flujo de producción**



Fuente: "Group Technology". [12], marzo de 2010.

Contando con la tecnología de grupos como referencia para extraer sus mejores atributos, métodos y características para la formación de familias de piezas/partes, aspecto fundamental para el diseño del modelo físico de una célula de manufactura, es necesario tener un sistema formal de clasificación y codificación, además de un diseño sistematizado con buena retroalimentación; de tal manera que en el diseño de una nueva parte el grupo interdisciplinario encargado de realizar el diseño del modelo físico de una célula de manufactura puede encontrar en la base de datos información de una pieza/parte que tenga aspectos similares de geometría y funcionamiento de la nueva pieza/parte, ya que en algunos casos puede ser necesarias pequeñas modificaciones nada más. Esto trae como resultado una reducción del tiempo y costo del desarrollo del producto; ahora, en la manufactura, la productividad y el ahorro en los costos se logra explotando las similitudes en: las operaciones de manufactura, los procedimientos de configuración, las herramientas utilizadas y el manejo de equipos, logrando que las partes que tengan requerimientos de manufactura similares puedan ser procesadas conjuntamente en células de manufactura dedicadas para eso, conduciendo a la reducción de los tiempos de preparación del equipo, del empleo de herramientas, materiales y reducción en los transportes.

Después de haber expuesto los principales elementos y evoluciones de la máquina herramienta, del control numérico y la tecnología de grupos, se procede a definir el concepto de manufactura celular, el cual integra todos estos elementos hacia un sistema de producción con prestaciones de flexibilidad para manufacturar familias de piezas/partes, siendo ésta la fuente principal de referencia para la generación del modelo físico de una célula de manufactura posteriormente expuesto en el capítulo 3.

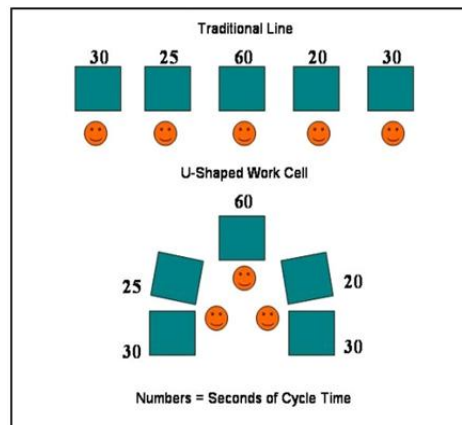
## 1.5 MANUFACTURA CELULAR

Desde un punto de vista conceptual, las células de manufactura son una minifábrica dentro de la fábrica, con responsabilidad total sobre el proceso y el producto, que regula sus costos de operación y sus plazos de entrega, que administra su estructura y determina qué necesita en cuanto a recursos tanto técnicos como humanos. Posee la dinámica de una pequeña estructura muy liviana, por lo general procesa una familia de

productos con características similares, lo que permite estandarizar los procesos, equipos y permite el rápido cambio de configuraciones (ver Figura 14). Además, tiene la capacidad de manejar inventarios discretos de productos en proceso, ya que, al ser muy veloz, puede producir un poco de todo, todos los días y no grandes series. Así mismo los problemas de calidad son resueltos dentro de la unidad por los mismos operarios, quienes determinan las mejores alternativas de solución con base en experiencia y conocimientos. [13]-[14]

Analizando y teniendo en cuenta las tendencias, los avances en la tecnología y el procesamiento de la información, se puede dar el enfoque a una célula de manufactura como una unidad organizacional pequeña dentro de la empresa, diseñada para explotar similitudes en la manera de procesar la información, hacer productos mediante un grupo de estaciones de trabajo estrechamente localizadas, donde operaciones secuenciales múltiples son realizadas en una o más familias de materias primas similares, partes, componentes y productos. Además, la célula de manufactura logra ser una unidad organizativa distintiva dentro de una empresa más grande, integrada por uno o más empleados, responsables del desempeño de producción, y delegada de la responsabilidad de una o más tareas de planificación, control, soporte (apoyo) y tareas de mejora, de tal manera que se fomente mejoras continuas de desempeño en la localización de personal y equipos necesarios para el procesamiento de las familias de piezas/partes o productos similares, considerando que éstas pueden haber recorrido grandes distancias para visitar todo el equipo y mano de obra necesaria para su fabricación, teniendo en cuenta que las partes con requisitos diferentes de manufactura y características del mercado, pueden haber compartido el mismo equipo, personal y recursos.

**Figura 14. Célula de manufactura conceptual.**



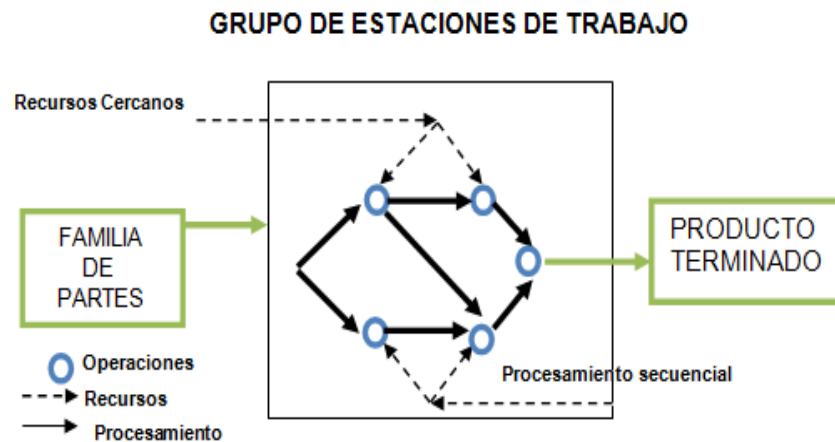
Fuente: “*Gerencia Industrial*”. [14], febrero de 2010

Una vez que se apliquen los métodos de clasificación, codificación y agrupación basados en la tecnología de grupo para la generación de familias, se obtiene una reorganización

del sistema de producción en familias de piezas/partes similares, producidas dentro de los límites físicos de las células, donde se encuentran la mayoría o la totalidad de los recursos necesarios para su manufactura, logrando una disposición enfocada al producto o al proceso, facilitando el flujo rápido y el procesamiento eficiente de material e información, como se observa en la Figura 15.

Esta perspectiva de la célula de manufactura como unidad organizativa complementa su definición a un pequeño grupo de recursos, humanos y técnicos, dedicados al procesamiento de un conjunto de piezas/partes o productos similares, que al ser considerada como una unidad pequeña contempla aspectos importantes desde lo social, la información, el control y el manejo (manipulación) de materiales, así como un punto de vista hacia la mejora continua. También, los operarios de una célula de manufactura pueden ser capacitados en varias máquinas y equipos, participar en la rotación de puestos de trabajo y asumir la responsabilidad de las tareas que anteriormente pertenecían a los supervisores y personal de apoyo, incluyendo actividades como la planificación, programación, control de calidad, resolución de problemas, pedido de piezas/partes, interacción con clientes, proveedores y el área de mantenimiento. Este control local crea una plataforma natural para la mejora del desempeño de la célula de manufactura, como se observa en la Figura 16 y la Figura 17.

**Figura 15. Célula de Manufactura como Unidad Organizacional**



Fuente: Elaboración Propia, marzo de 2010.

**Figura 16. Partes procesadas y transportadas entre diferentes departamentos en grandes lotes (no hay células).**



Fuente: “*Manufacturing Cells and Systems*”.[15], marzo de 2010.

**Figura 17. Partes procesadas dentro de la célula en pequeños lotes.**



Fuente: “*Manufacturing Cells and Systems*”.[15], marzo de 2010.

En general, el aspecto fundamental en el diseño de una célula de manufactura es encontrar las familias adecuadas y determinar el equipo tecnológico adecuado; sin embargo, para que funcionen las células de manufactura también es necesario considerar la infraestructura de la empresa, es decir, los subsistemas utilizados para planificar, gestionar, y las operaciones de control para poder determinar cómo la célula de manufactura encaja en la estructura organizacional de la empresa.

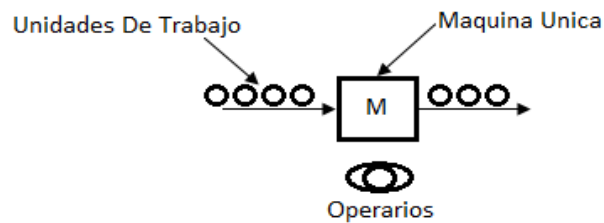
El siguiente numeral define las principales arquitecturas físicas de una célula de manufactura, siendo uno de los aspectos más importantes al momento de diseñar el modelo físico de una célula de manufactura, por lo cual será tenido en cuenta en el capítulo 3.

### **1.5.1 Tipos de Células de Manufactura**

Las células de manufactura pueden estar incluidas dentro de alguna de la siguiente clasificación, acorde al número de máquinas, al grado de mecanización y el nivel de automatización.

- **Células de Máquina Simple:** consiste en una máquina operada en forma manual compuesta de soportes y habilitación de herramientas, para permitir las variaciones de características y tamaños dentro de la familia de piezas/partes producidas en la célula. [15].

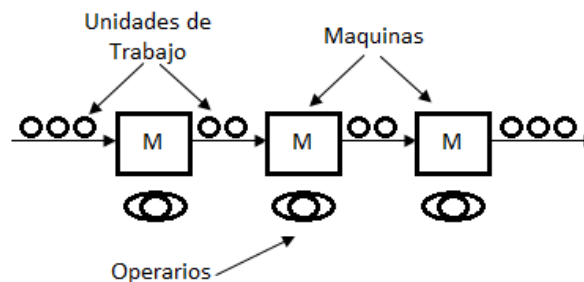
**Figura 18. Célula de máquina simple.**



Fuente: Elaboración propia, con base en “*Factory with a Future*”. [16], marzo de 2010.

- **Célula de un grupo de máquinas con manejo manual:** es un arreglo de más de una máquina usada colectivamente para producir una o más familias de partes. Ésta no provee el movimiento mecanizado de partes entre las máquinas de las células, por lo tanto los operarios desarrollan la función del manejo de material. [16]

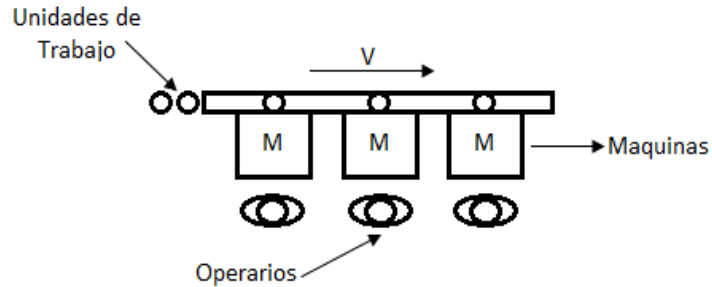
**Figura 19. Célula de grupo de máquinas con manejo manual**



Fuente: Elaboración propia, con base en “*Factory with a Future*”. [16], marzo de 2010.

- **Célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático:** usa un sistema de manejo mecanizado, refiriéndose al transporte de piezas/partes de una máquina a la siguiente, con el propósito de aumentar la velocidad de producción y facilitar el transporte de piezas/partes grandes y pesadas presentes en la producción dentro de la célula. [15]

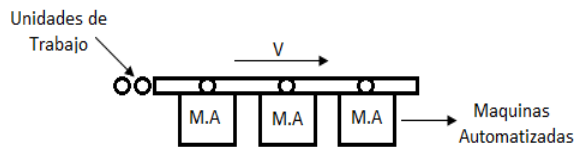
**Figura 20 Célula de grupo de máquinas con manejo semiautomático**



Fuente: Elaboración propia, con base en “*Factory with a Future*”. [16], marzo de 2010.

- **Célula Flexible de Manufactura:** consiste en máquinas automatizadas para realizar las operaciones de maquinado, soldadura, ensamble, etc; con manejo automatizado de alimentación, transporte de materia prima y productos entre los equipos de la célula. [17]

**Figura 21. Célula Flexible de Manufactura**

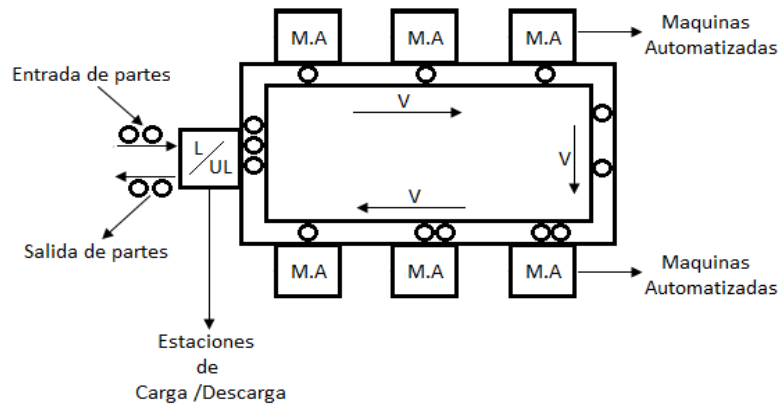


Fuente: Elaboración propia, con base en “*Factory with a Future*”. [16], marzo de 2010.

- **Sistema Flexible de Manufactura (FMS):** es una célula de manufactura con Tecnología de Grupos altamente automatizada, que consiste en un grupo de estaciones de procesamiento, generalmente máquinas-herramientas CNC, robots y equipos especializados interconectados mediante un sistema automatizado de manejo y almacenamiento de material, controlados por medio de un sistema integrado de computadoras con la capacidad de procesar una amplia gama de piezas/partes simultáneamente, bajo un programa de control numérico en diferentes estaciones de trabajo. [17]



**Figura 22. Sistema Flexible de Manufactura**



Fuente: Elaboración propia, con base en “*Factory with a Future*”. [16], marzo de 2010.

La Tabla 3 especifica en resumen los tipos de células de manufactura, con sus principales componentes descriptivos de un modelo físico, como lo son: los equipos, el sistema de control y manejo de materiales.

**Tabla 3. Componentes principales de los diferentes tipos de células de manufactura**

TIPO DE CÉLULA DE MANUFACTURA	EQUIPOS	CONTROL	MANEJO DE MATERIAL
Células de Máquina Simple	Máquina herramienta	Manual (operario)	No necesario
Célula de un grupo de máquinas con manejo manual	Máquinas herramientas ,plantillas	Manual (operarios)	Operarios entre estaciones
Célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático	Máquina-herramienta, CN, CNC, CNA, CND	Semiautomático (operarios, driver)	Sistema de manejo mecanizado
Sistema Flexible de Manufactura	Máquinas automatizadas CNC, CNA, CND Manejo automatizado de alimentación, instrumentación	Automático (microprocesador, pc, driver, plc)	Automático (conveyor)

**Tabla 3 (Continuación)**

<b>TIPO DE CÉLULA DE MANUFACTURA</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>CONTROL</b>	<b>MANEJO DE MATERIAL</b>
Sistema Flexible de Manufactura (FMS):	Máquinas automatizadas CNC, CNA, CND Manejo automatizado de alimentación, robots, AS/RS, instrumentación	Automático, estaciones de control, (pc, plc, software)	Automático (conveyor, AS/RS)

Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010.

Analizando las diferentes características de la manufactura celular en cualquiera de sus configuraciones, se debe tener en cuenta que la implementación de la célula de manufactura se debe desarrollar con un pensamiento estratégico, donde es fundamental estudiar a fondo la empresa en su aspecto productivo y manejo de personal, para posteriormente diseñar y simular la célula de manufactura propuesta, orientada a la estrategia de la empresa en cuanto a calidad, coste, inventarios y mejoras en los tiempos de respuesta así como las capacidades necesarias para lograr la mejora del rendimiento empresarial, sin olvidarse que las células de manufactura son mucho más que una solución técnica donde están involucrados los procesos, tecnología, la gente, la estructura organizativa, los sistemas de gestión y la organización informal en los puestos de trabajo con el propósito de trabajar juntos para la plena eficacia de las células y no contar solo con un máquinas agrupadas en un espacio físico.

### **1.6 METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MANUFACTURA CELULAR**

En sus orígenes la automatización se concentró en la mejora de operaciones de maquinado, líneas de ensamble y otros procesos básicos de fabricación. En las últimas décadas, se le ha dado diferentes énfasis entre los cuales se encuentran el análisis de tiempos no productivos por movimiento o espera, la flexibilidad en la producción, sistemas con altos estándares de calidad y supervisión de los procesos en tiempo real. De esta forma las investigaciones acerca de la manufactura celular recurren a metodologías cada vez más efectivas o sofisticadas de modelado y análisis de sistemas de manufactura con el interés de reducir los tiempos muertos, costos, desperdicios e incrementar la flexibilidad, calidad y productividad de los equipos y operarios.

A continuación se expone en la Tabla 4 la comparativa de cinco metodologías en distintos campos de estudio referentes al diseño de células de manufactura, las cuales son:

- Metodología de programación matemática.

- Metodología basada en el flujo de la producción.
- Metodología por formación de cumulo.
- Metodología de simulación.
- Metodología basada en la formación de familias (Tecnología de grupos).

Nota: Las metodologías son descritas es sus aspectos más relevantes en el Anexo 2.

La Tabla 5 comprende dos ejes, el de las ordenadas corresponde a los parámetros de estimación más relevantes de las metodologías relacionadas en el diseño del modelo físico de una célula de manufactura y el de las abscisas a las metodologías analizadas, donde los parámetros de estimación son el producto del análisis de los procedimientos, métodos y etapas más importantes presentes en las metodologías para generar una célula de manufactura, en las cuales se encontraron aspectos de programación, manejo de la información de producción y estudios de métodos de producción que no serán tenidos en cuenta en esta determinación, de acuerdo con el enfoque hacia el componente físico de una célula de manufactura que se la ha dado a este proyecto; por lo cual, se extrajeron las características y parámetros que involucran componentes físicos como : equipos, máquinas, robots, herramientas, partes/piezas, sistemas de almacenamiento y transporte, junto con parámetros y ventajas suministradas por herramientas software, para lograr ver representado esquemática y virtualmente el modelo físico de una célula de manufactura, además de poder realizar rediseños y modificaciones al modelo propuesto.

Al realizar el análisis de los parámetros de estimación orientado a: los equipos, los procesos de manufactura y las familias de producto, se determinó que son parámetros obligatorios, los cuales deben hacer parte de una metodología sin importar cuál de estos tres haga parte de ésta, ya que éstos son tenidos en cuenta en el diseño conceptual de una pieza/parte o producto y en procesos existentes de manufactura, involucrando la tecnología de los equipos, las materias primas y la forma de manufacturar. Conjuntamente los parámetros de estimación como: propiedades de los elementos en el sistema de la célula manufactura, representación de equipos mediante parámetros y variables, trayectorias de los materiales y el modelado explícito de los elementos de la célula de manufactura son tenidos en cuenta al permitir llevar un seguimiento lógico de la secuencia de operaciones necesarias para la producción de una pieza/parte o producto durante las estaciones de trabajo, descritas por parámetros y variables, logrando identificar equipos y familias relacionadas. Por último, los parámetros de estimación denominados: aplicaciones software, sistema directo de fácil evaluación, verificación del modelo y análisis directo de los procesos, permiten una evaluación de la célula de manufactura en su integridad y funcionalidad física, enfocada hacia la simulación permitiendo un análisis dinámico del modelo físico propuesto.

Para considerar las metodologías expuestas en la Tabla 5, se consultaron algunos casos de aplicación, donde se relacionan directamente los parámetros de estimación, para el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura (Ver Tabla 4).

**Tabla 4. Casos de aplicación que involucran metodologías de diseño de células de manufactura**

<b>CASO DE APLICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Soldadura de chasis de motos, Suzuki	Programación matemática	Desarrollo mediante redes neuronales
Reorganización de puestos de trabajo: Máquinas de coser	Formación de cumulo y tecnología de grupos	Algoritmo binario para la formación de familias, mapeo de la cadena de valor
Asocueros	Flujo de producción	Reorganización de equipos, inclusión de nueva tecnología
Dispositivos de transmisión de potencia	Simulación	Análisis del desempeño mediante modelos computarizados.
Fabricación de ventanas de aluminio	Flujo de la producción mediante análisis de métodos y procesos, tecnología de grupos	Estructura organizativa, recursos humanos, máquinas-equipos

Fuente: Elaboración propia, abril de 2010.

Los casos de aplicación de la Tabla 4 permiten tener una referencia práctica del proceso de diseño del componente físico de una célula de manufactura, para ser considerados en el desarrollo del modelo físico en el capítulo 3.

**Tabla 5. Metodologías de diseño de células de manufactura y sus parámetros de estimación para el diseño**

PARÁMETROS DE ESTIMACIÓN	METODOLOGÍA				
	Programación matemática	Flujo de la producción	Formación de cumulo	Simulación	Formación de familias (TG)
Diseño orientado a los equipos	Presente	No presente	Presente	Presente	Presente
Diseño orientado al proceso de manufactura.	No presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Diseño orientado a familias de productos.	No presente	No presente	No presente	No presente	Presente
Propiedades de los elementos en el sistema de la célula manufactura.	Presente	No presente	No presente	Presente	No presente
Representación de equipos mediante Parámetros y variables.	Presente	No presente	No presente	Presente	No presente
Trayectorias de los materiales	No presente	Presente	No presente	No presente	No presente
Modelado explícito de los elementos de la célula de manufactura.	No presente	Presente	No presente	No presente	No presente
Relación entre piezas partes y máquinas	No presente	No presente	Presente	No presente	No presente
Determinación de la ruta de proceso	No presente	Presente	No presente	No presente	No presente
Aplicaciones Software.	No presente	No presente	Presente	Presente	Presente
Sistema directo de fácil evaluación	No presente	No presente	No presente	Presente	No presente
Verificación del modelo	No presente	No presente	No presente	Presente	No presente
Análisis directo de los procesos	No presente	No presente	No presente	No presente	Presente

Fuente: Elaboración propia, abril de 2010.

## 2 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO

Iluminaciones Técnicas S.A es una empresa dedicada a la fabricación y suministro de soluciones integrales de iluminación con 43 años de experiencia; la empresa se encuentra consolidada como líder en el mercado de la iluminación en Colombia con presencia internacional, utilizando tecnología de vanguardia con aliados estratégicos de talla mundial, reconocida por la calidad de su asesoría, experiencia y como el referente para grandes proyectos de diseño y ensamblaje de luminarias; de igual manera se encuentra comprometida con la flexibilidad en los procesos, generando la capacidad de ofrecer calidad, competitividad e innovación. La empresa principalmente está dedicada a la manufactura de luminarias para múltiples aplicaciones; produce la mayoría de las partes necesarias para la fabricación y posterior ensamble de luminarias. ILTEC<sup>3</sup> cuenta con un departamento de diseño con lo que logran participar activamente en todas las etapas del proyecto con el cliente, resolviendo las necesidades y personalizándolo de acuerdo con estas. Además cuentan con una gran cantidad de recursos humanos y de infraestructura para garantizar los niveles esperados de calidad y satisfacer los requerimientos del cliente.

En la siguiente sección se realiza un análisis detallado del proceso productivo de chasis de luminarias, considerando aspectos básicos de distribución física de la planta en el proceso actual, relacionando de forma descriptiva los equipos y personal de cada una de las etapas, teniendo en cuenta el nivel tecnológico de los equipos presentes.

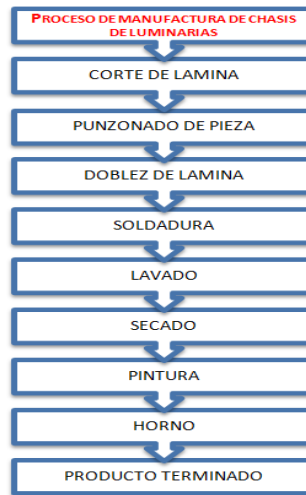
### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHASIS DE LUMINARIAS

El área en planta actualmente está dividida en tres: el área de producción de componentes eléctricos, el área de producción de chasis y el área de ensamblaje. El sector de la fábrica donde producen los chasis de luminarias desde su estado inicial hasta el producto terminado es un área aproximada de 680 m<sup>2</sup>, donde se ubican la mayoría de equipos de control numérico y máquinas-herramientas de la empresa. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis y un estudio del equipamiento tecnológico que hace parte de ILTEC para apoyar un diagnóstico del potencial tecnológico con que cuenta la empresa y así lograr identificar las tecnologías claves existentes y de apoyo para la elaboración de luminarias. Una visualización del proceso productivo de la empresa se ilustra en la Figura 23, donde se enseña el proceso productivo en todas sus etapas, siendo éstas nueve en total.

---

<sup>3</sup> ILTEC: Iluminaciones Técnicas S.A.

**Figura 23. Diagrama de etapas proceso de manufactura de chasis de luminarias en ILTEC**



Fuente: Elaboración propia, junio de 2010.

**Figura 24. Relación descriptiva de recurso humano y tecnológico**



Fuente: Elaboración propia, junio de 2010

La variedad de chasis elaborados por ILTEC influye significativamente sobre la forma en que ésta organiza su personal, instalaciones, procesos y procedimientos, contando con una gran cantidad de máquinas-herramientas y personal, los cuales logran desempeñarse de un modo funcional; la asignación de los equipos, máquinas-herramientas y personal para las nueve etapas del proceso productivo de chasis de luminarias se observa en la Figura 24.

Según la clasificación y codificación de equipos y máquinas-herramientas, basada en la Tecnología de Grupos, éstas pueden ser especificadas dentro de alguna de la siguiente clasificación acorde al número de máquinas-herramientas, su nivel de automatización y al grado de mecanización en el cual el material fluye entre éstas; la clasificación se observa en la Tabla 6.

**Tabla 6. Clasificación de máquinas**

Nº	TIPO DE MÁQUINA
1	Máquina-herramienta simple.
2	Máquinas-herramienta con manejo manual.
3	Máquinas-herramienta con manejo Semiautomático.
4	Máquinas-herramienta con control Automatizado
5	Equipos de sistemas de transporte, carga y descarga.

Fuente: Elaboración propia, con base en “The Many Faces of Group Technology”. [11], abril de 2010.

De acuerdo con la clasificación anterior de los tipos de equipos y máquina-herramienta expuestos en la Tabla 6, se realiza una clasificación detallada de los equipos y las máquinas-herramientas presentes en la etapa productiva de chasis de luminarias, para tener una referencia más clara de éstos en las cuatro primeras etapas del proceso como se observa en la Tabla 7. Esta información será tenida en cuenta en el tercer capítulo de este trabajo para desarrollar el proceso de diseño del modelo físico de la célula de manufactura para el caso de estudio en ILTEC.

**Tabla 7. Clasificación de máquinas del proceso productivo de chasis de luminarias**

MÁQUINA	TIPO DE MÁQUINA	CLASIFICACIÓN
M1	Cortadora de lámina	Máquina simple
M2	Punzadora	Máquina - herramienta con manejo semiautomático
M3	Punzadora	Máquina - herramienta con manejo semiautomático
M4	Dobladora	Máquina - herramienta con manejo semiautomático
M5	Dobladora	Máquina - herramienta con manejo semiautomático



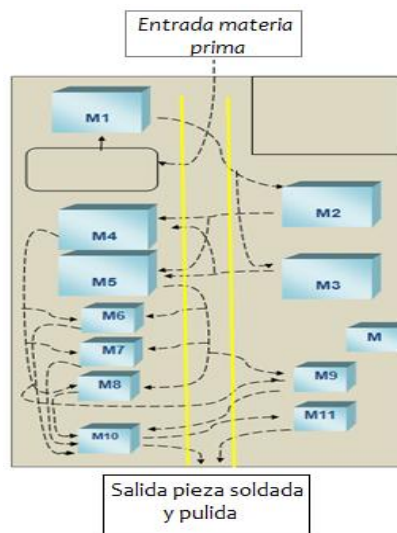
**Tabla 7(Continuación)**

MÁQUINA	TIPO DE MÁQUINA	CLASIFICACIÓN
M6	Soldador de punto	Máquina simple
M7	Soldador de punto	Máquina simple
M8	Soldador de punto	Máquina simple
M9	Soldador de punto	Máquina simple
M10	Soldador autógeno, pulidora, mototool	Máquinas simples
M11	Pistola de pernos	Máquina simple

Fuente: Elaboración propia, junio de 2010.

ILTEC posee equipos y máquinas-herramientas de alto y bajo nivel de automatización, entre los cuales se encuentran máquinas CNC y otras máquinas totalmente manuales; en la Figura 25 se muestra el flujo de la materia prima desde su llegada a la empresa, almacenamiento y posterior procesamiento, hasta la cuarta etapa del proceso productivo que es la etapa de soldadura. Mediante las flechas se indica el flujo que lleva la materia prima entre los equipos y máquinas-herramientas; este diagrama muestra la serie de máquinas “M”, que pertenecen al proceso productivo, las cuales poseen una numeración de acuerdo con el orden consecutivo en el que se encuentran actualmente distribuidas en la empresa.

**Figura 25. Diagrama de flujo de material entre máquinas M, de la etapa uno a la cuatro del proceso productivo de chasis de luminarias**

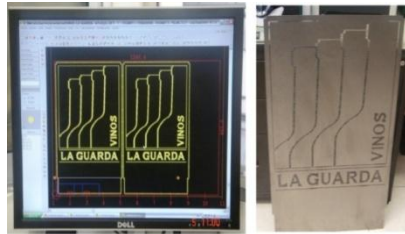


Fuente: Elaboración propia, junio de 2010.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE PROCESO PRODUCTIVO EN ILTEC

En la actualidad, ILTEC realiza la planeación y el control de su producción basado en las órdenes de producción estándar relacionadas con la planeación de ventas y distribución de luminarias; también realiza la planeación y el control de su producción con base en proyectos y licitaciones de grandes envergaduras; sin embargo, el diseño de las luminarias puede ser personalizada por el cliente, por ejemplo: luminarias con especificaciones diferentes a los patrones de diseño ofrecidos por la empresa al mercado, como también avisos publicitarios los cuales requieren de un maquinado especial mediante herramientas CNC como se observa en la Figura 26, identificando así un grado de flexibilidad en su producción, orientada hacia los requerimientos y especificaciones del cliente.

**Figura 26. Modelo de diseño CAD y lámina Punzada de un aviso publicitario**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Las referencias que tienen un nicho de mercado mucho más activo son las manufacturadas en altos volúmenes de producción como se muestra en la Figura 27. Estas referencias, al ser las de mayor rotación en la planta, generan que los operarios tengan mayor destreza en su manufactura debido al gran conocimiento del flujo del proceso de este tipo de luminarias, lo que les permite acoplarse a un cambio repentino de referencia, a pesar de la gran variedad de luminarias que ILTEC ofrece al mercado.

**Figura 27. Proceso productivo de luminarias, Referencia: ILTELUX-IR-2x2**



Fuente: elaboración propia, julio de 2010.

### 2.2.1 Clasificación del tipo de proceso productivo en el caso de estudio

ILTEC opera con un sistema de producción híbrida entre tandas y discreta entre sus etapas de proceso, con lo cual el proceso puede interrumpirse en cualquier momento y en cualquier lugar sin que esto afecte el funcionamiento normal de las demás etapas del proceso. A continuación para tener una imagen más clara del método de manufactura de chasis de luminarias en ILTEC, se presenta en la Tabla 8 las etapas del proceso en las cuales se opera de alguno de estos dos tipos de producción.

**Tabla 8. Clasificación del tipo de proceso productivo por etapas**

ETAPA	TIPO DE PROCESO
Corte de lámina	Discreto
Punzado de pieza	Tanda
Doble de lámina	Discreto
Soldadura	Discreto
Lavado	Tanda
Secado	Discreto
Pintura	Discreto
Horno	Tanda

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

De acuerdo con la clasificación de la Tabla 8, las etapas de proceso seleccionadas como un tipo de proceso discreto se caracterizan por la producción de una unidad separada, es decir, cada chasis es maquinado individualmente; las unidades individuales se pueden producir en la etapa a un alto o bajo volumen de producción, según la orden o las características físicas del chasis. Por otro lado, en las etapas en donde se ha categorizado el tipo de proceso como tanda, se presenta una gran cantidad de existencias de productos intermedios o gran cantidad de materias primas procesándose simultáneamente debido al diseño o configuración de los equipos y máquinas-herramientas relacionadas con la etapa. Este tipo de producción en ILTEC busca que a medida que lleguen piezas provenientes de etapas anteriores, se almacenen hasta que se complete una tanda, para posteriormente ser manufacturada y así sucesivamente esperar a que se almacenen cierto número de nuevas piezas para manufacturarlas nuevamente como una tanda.

El siguiente numeral es una descripción específica de todas las operaciones, transportes, inspecciones y esperas, mediante métodos analíticos-descriptivos que permiten un fácil análisis del comportamiento operativo de la etapa de soldadura de chasis de luminarias; además, se realiza una descripción técnica de equipos, máquinas-herramientas y recurso

humano. Con esta información se genera detalladamente el flujo de proceso y el flujo de materiales presentes actualmente en el proceso productivo de chasis de luminarias.

### **2.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ETAPA DE SOLDADURA**

Actualmente ILTEC cuenta con herramientas de un alto grado tecnológico como lo son las máquinas CNC en algunas de sus etapas; estas herramientas permiten realizar los procesos de un modo más rápido, preciso, seguro y con un alto grado de calidad; pero no todas las etapas cuentan con equipos de tecnología avanzada y han quedado rezagadas por la falta de flexibilidad y automatización en sus equipos, como la etapa de soldadura de chasis de luminarias, encontrando que es una de las etapas que más retrasos está generando en el proceso de producción a causa de la gran cantidad de acciones repetitivas no estandarizadas, almacenamientos intermedios de piezas, esperas indefinidas para el procesamiento de las piezas y constantes configuraciones en los equipos, generando un rendimiento operativo ineficiente y poco productivo en la etapa.

La etapa de soldadura actual con todos sus componentes físicos, humanos y su modo de operación se describe detalladamente a continuación:

La materia prima que ingresa a la etapa de soldadura proviene de las tres primeras etapas del proceso productivo las cuales son: Corte, Punzado y Dobles de Lámina; en la etapa de soldadura se cuenta con un operario y un asistente por soldador, siendo cuatro soldadores en total en la etapa; el método de operación dentro de la etapa es de operaciones repetitivas y varios almacenamientos, donde el asistente es el encargado de entregar la pieza para soldar al operario y también debe ayudar a sostener la pieza para darle forma y solidez mientras se realizan los puntos de soldadura por parte del operario; según el diseño de chasis a soldar se lleva un orden para el proceso de soldadura. Como se observa en la Figura 28, los operarios se ayudan con una variedad de plantillas guía las cuales indican el lugar exacto donde se debe realizar el punto de soldadura, pues sin estas plantillas al operario le resulta complejo acertar en el lugar exacto en donde se necesita el punto de soldadura; además, si el chasis posee una estructura la cual le impide a los electrodos de cobre del soldador llegar a la posición o al ángulo exacto, estos electrodos, como se observa en la Figura 29, deben ser cambiados manualmente por el operario para poder lograr el resto de puntos de soldadura. En cada soldador que se encuentra en operación, el operario realiza una tarea específica, es decir en la tarea de soldar un diseño de chasis es necesario realizar ciertos puntos de soldadura y adicionar aditamentos; el operario realiza los puntos necesarios para que posteriormente el asistente almacene de nuevo la pieza aún no terminada; luego de que se ha configurado la herramienta es necesario tomar de nuevo el chasis, para proceder a realizar los puntos de soldadura faltantes. Una vez se realicen todas estas operaciones, el chasis es almacenado nuevamente, esperando ingresar a la corrección de imperfecciones que resultan de esta operación debido a que los chasis y sus componentes suelen quedar con aberturas entre sus paredes; para solucionar este problema un operario es el encargado de corregirlo con soldadura oxiacetilénica o también llamada autógena, para aportar material y rellenar la abertura. Posteriormente todos los chasis son pulidos por otro

operario mediante una pulidora neumática y un mototool para eliminar bordes sobresalientes y soldaduras protuberantes.

Finalmente, en gran parte de las referencias de chasis es necesario realizar una adición de pernos de sujeción cobreados, los cuales se unen al chasis mediante una pistola de pernos de sujeción, la cual funciona con un sistema de soldadura similar al arco eléctrico. El operario tiene como guía una serie de puntos estratégicos demarcados en la etapa de Punzado de pieza para la ubicación exacta en donde deben ir los pernos; estos pernos cumplen la función de sujetar todos los componentes eléctricos y aditamentos plásticos que se instalan en las luminarias. Una vez terminada esta operación, se disponen en el suelo los chasis para proceder con la etapa de lavado que es la siguiente en el proceso.

**Figura 28. Operario de soldador de punto y asistente**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

**Figura 29. Electrodo de cobre del soldador de punto**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Nota: Los equipos relacionados en la anterior descripción de la etapa de soldadura de chasis son especificados en el numeral 2.4 de este capítulo.

ILTEC cuenta con una estimación de la capacidad de producción de dos mil quinientos (2500) chasis de luminarias mensuales aproximadamente. Esta información es de acuerdo con los resultados obtenidos según las órdenes de producción<sup>4</sup>; sin embargo, es necesario aclarar que ILTEC no tiene una estimación exacta de la capacidad máxima de producción de chasis, ni tampoco la capacidad máxima que puede producir cada una de las etapas pertenecientes al proceso productivo de chasis, de tal forma que en si en algún momento las órdenes de producción sobrepasan la capacidad de respuesta del proceso productivo, se procede a programar un turno extra nocturno de diez (10) horas.

Para lograr una descripción técnica y secuencial del proceso productivo en la etapa de soldadura de chasis de luminarias, se realiza el cursograma de proceso, flujo grama de proceso y diagrama de flujo de materiales, expuestos en el siguiente numeral.

### **2.3.1 Flujo de proceso y flujo de materiales para la etapa de soldadura de chasis de luminarias**

ILTEC en la actualidad no cuenta con un estudio específico del tiempo de las acciones requeridas en la etapa de soldadura para la elaboración de un chasis; mediante un análisis<sup>5</sup> realizado conjuntamente con los operarios y asistentes, se definió la secuencia, tiempos y distancia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, esperas y almacenamientos, durante la ruta de proceso que siguen las materias primas e insumos en la etapa de soldadura para la referencia de chasis de mayor demanda, mostrando así de forma más directa el estado actual del proceso.

Al analizar el cursograma analítico de la Figura 30, se obtuvo que el tiempo para realizar las acciones de la etapa de soldadura de una unidad de chasis de luminaria es de aproximadamente 8.5 minutos, con distancias recorridas en los transportes de 33.18 metros en 0.89 minutos; las acciones de almacenamiento registran un tiempo de 0.26 minutos y las acciones de esperar a ser procesada varían de acuerdo con la orden de producción. De los resultados obtenidos se encuentran altos valores de transportes y esperas los cuales pueden ser descartados o rediseñados para evitar los grandes tiempos muertos; si se realiza una proyección de estos tiempos para producir una orden de 120









---

<sup>4</sup> Información suministrada por ILTEC, considerando un turno diurno de diez horas y veinticuatro días laborales al mes, la información de los reportes por petición de la empresa fueron reservados para la publicación en este documento.

<sup>5</sup> Los resultados obtenidos son el promedio de diez observaciones realizadas a diferentes operarios y asistentes en todo el proceso de la etapa de soldadura.

chasis de luminarias se obtiene que el tiempo transcurrido en las operaciones de transporte y almacenamiento es de 138 minutos aproximadamente de los cuales se podría reducir en un 40% con un rediseño e eliminación de estas acciones; además si se estandariza las operaciones de la etapa se podrá reducir aún más el tiempo de producción de un chasis de luminaria, como se estima en el capítulo 3.

**Figura 30. Cursograma analítico actual**

Cursograma Analítico		Material: Lámina de hierro				
Diagrama # 1	Hoja # 1	Resumen				
Método: Actual		Actividad	Tiempo	Distancia		
Lugar: Etapa de soldadura		Operación 	414	0		
Operarios: 8		Transporte 	53.54	30.18		
Fecha:		Espera 	Variable	0		
Actividad:		Almacenamiento 	15.71	0		
		Inspección 	27.17	0		
Descripción	Distancia promedio metros	Tiempo Segundos	Acciones		Observaciones	
						
Depósito de lámina	0	0				
Llevar al soldador	2.20	5.40				
Posicionar plantillas	0	12.25				
Soldar	0	18.73				
Revisar puntos	0	6.56				
Llevar a área de espera	2.30	4.69				
Almacenar	0.60	2.75				
Espera a ser procesada	0	Variable				Según orden de producción
Cambio electrodos	0	270				
Llevar al soldador	2.20	5.40				
Posicionar aditamentos	0	4.70				
Soldar aditamentos	0	4.34				
Revisar aditamentos	0	2.30				
Llevar a área de espera	7.30	4.69				

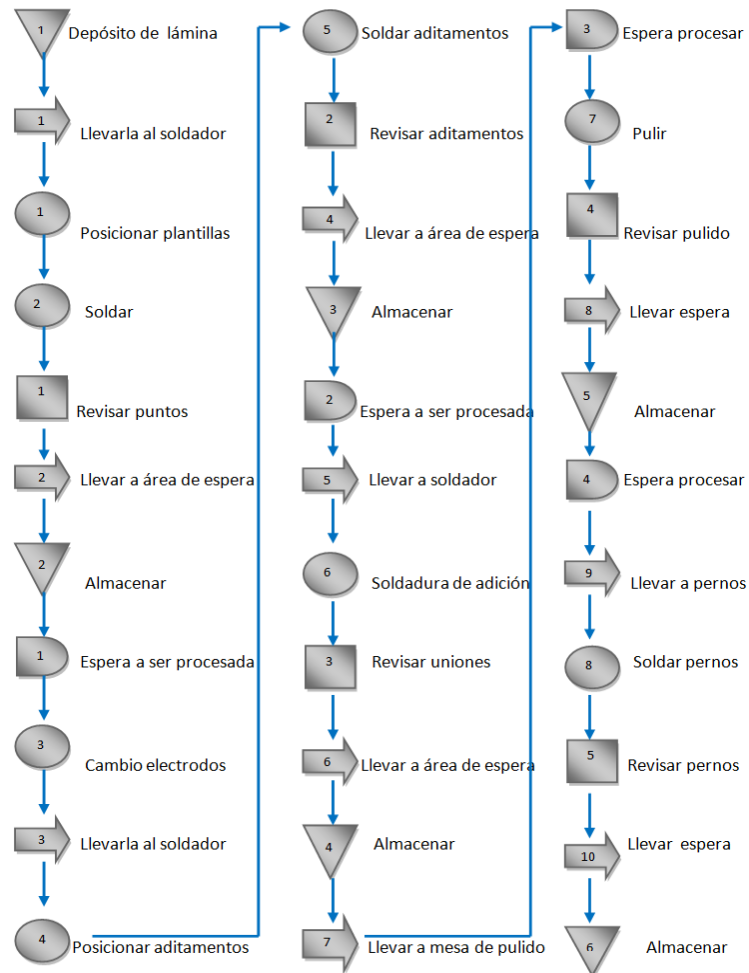
**Figura 30. (Continuación)**

Descripción	Distancia promedio metros	Tiempo Segundos	●	➔	◐	▽	◑	Observación
Almacenar	0.6	2.75						
Espera a ser procesada	0	Variable						Según orden de producción
Llevar a soldador	1.27	15.37						
Soldadura de adición	0	36.47						
Revisar uniones	0	5.54						
Llevar a área de espera	1.30	4.67						
Almacenar	0.60	2.75						
Llevar a mesa de pulido	1.30	2.43						
Espera a ser procesada	0	Variable						Según orden de producción
Pulir	0	17.18						
Revisar pulido	0	4.32						
Llevar a área de espera	5.57	4.27						
Almacenar	0.60	2.75						
Espera a ser procesada	0	Variable						Según orden de producción
Llevar a pernos	5.47	3.47						
Soldar pernos	0	50.56						
Revisar pernos	0	8.45						
Llevar a área de espera	1.27	3.15						
Almacenar	0.60	4.71						
Total	33.18	510.42						

Fuente: elaboración propia, julio de 2010.



**Figura 31. Diagrama de flujo del proceso actual**



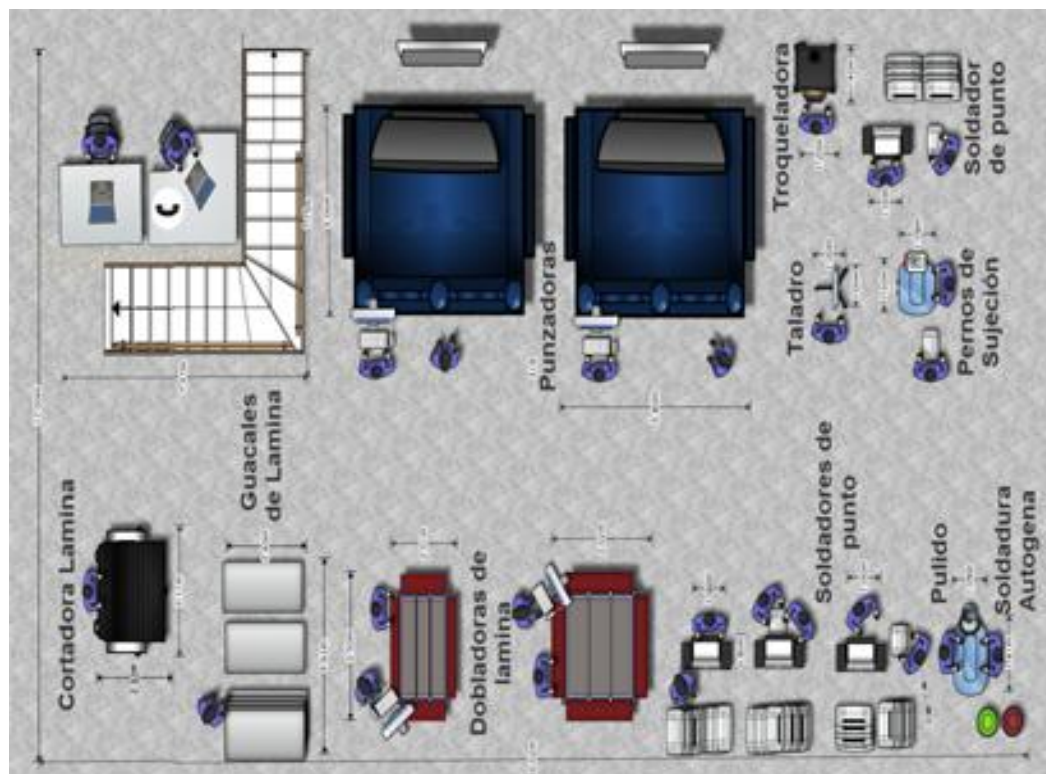
Fuente: elaboración propia, julio de 2010.

Del diagrama de flujo de proceso de la Figura 31 se observa que es un proceso de una única pieza/parte que no presenta actividades paralelas; por lo cual se encuentran, un total de ocho (8) operaciones, diez (10) transportes, cuatro (4) esperas, seis (6) almacenamientos y cinco (5) inspecciones, encontrándose una serie de operaciones fundamentales del proceso de producción de chasis de luminarias imprescindibles ya que éstas son las que otorgan el aspecto y funcionalidad del chasis de la luminaria. Además también se localizaron una gran cantidad de transportes y almacenamientos que pueden resultar de muy poca ayuda para la eficiencia, eficacia y el buen desempeño del resto de las operaciones involucradas en la etapa. Es preciso mencionar que este análisis se realizó para varias de las piezas de mayor demanda y circulación en la planta, para poder

realizar un estudio general del flujo de proceso de producción de chasis de luminarias en la etapa de soldadura.

Para el análisis del flujo de material se realizó un gráfico del área de producción de chasis de luminarias, involucrando las instalaciones y equipos que se encuentran más cercanos y relacionados con la etapa de soldadura como se observa en la Figura 32, logrando así comprender de una forma gráfica la situación actual de la distribución en planta y analizar el área física con que se cuenta actualmente en la planta. En este gráfico se encuentra las dimensiones de la maquinaria y equipos desde la primera hasta la cuarta etapa, las cuales comprenden el corte de lámina, punzado de lámina, dobles y por último soldadura.

**Figura 32. Representación del estado actual del área física de la planta**

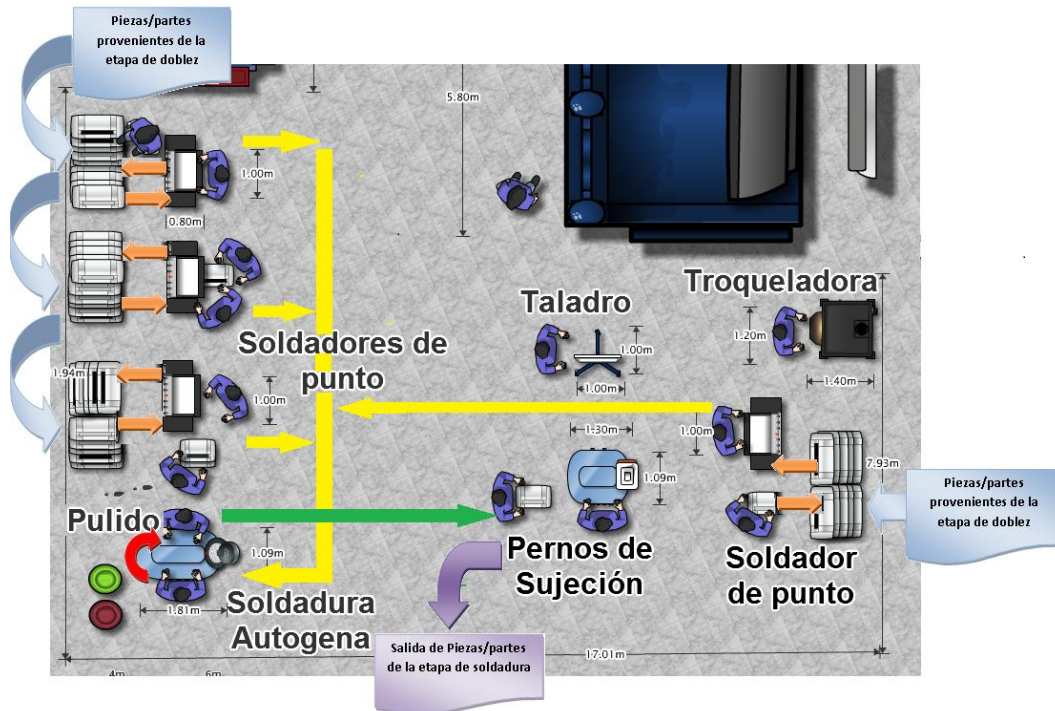


Fuente: elaboración propia, julio de 2010.

Con el fin de destacar el modo de manipulación de los chasis de luminarias en la etapa de soldadura se realizó un diagrama más específico del área, como se observa en la Figura 33, donde se observa la distribución de la etapa, enfatizando en los equipos que conforman las estaciones de trabajo y el flujo de material, una vez ingresa desde la etapa de dobles de lámina hasta que culmina la etapa de soldadura; de esta manera se logra

dar una idea más clara del área en donde se desea proponer el modelo físico conducente a la formación de una célula de manufactura.

**Figura 33. Representación del flujo de materia para la etapa de chasis de luminarias**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

En la Figura 33 se especifica por medio de flechas cada una de las trayectorias que sigue las piezas/partes una vez entran a la etapa de soldadura. Las primeras actividades se indican con flechas de color azul; éstas hacen referencia a las láminas que provienen previamente dobladas de la etapa anterior del proceso productivo; la mayoría de láminas que entran a esta etapa entran con una forma estructural similar a una "u", para posteriormente asignarles las tapas laterales que se encargan de conformar una pieza con forma cúbica, indicadas en la gráfica por las flechas color naranja. Una vez las tapas son soldadas, el chasis se almacena nuevamente hasta que se alcance cierta cantidad de chasis soldados de acuerdo con la orden de producción; seguidamente se cambian los electrodos en el soldador de punto, permitiendo hacer la integración con los demás aditamentos como lo son: los soportes para los porta sockets y los ganchos para colgar. Lo que indica que la pieza ingresa de nuevo al soldador de punto, expuesto en la Figura 33, por las flechas color naranja, permitiendo añadir los nuevos aditamentos.


Es importante recalcar en este punto que se cuenta con cuatro (4) soldadores de punto, de los cuales tres (3) de ellos se encuentran en una organización lineal y el cuarto se encuentra distanciado a más de diez (10) metros de longitud de los demás; esto ocasiona un aumento en los tiempos de transporte e interrumpe el flujo del resto de actividades del proceso productivo. Una vez sale la pieza del soldador de punto con los aditamentos soldados, es almacenada de nuevo y espera para ser trasladada hacia la operación de soldadura de adición, acción indicada en la Figura 33 por las flechas de color amarillo; en esta operación se hace uso de la soldadura de adición de material, la cual cierra grietas que pueden quedar expuestas a la vista una vez se instale una luminaria; esta operación se realiza en cada una de las cuatro esquinas del chasis.

Secuencialmente, en la misma mesa de operación de soldadura de adición se encuentra la operación de pulido, indicada en la Figura 33 por la flecha de color rojo; ésta es encargada de quitar la soldadura sobrante y los bordes sobresalientes que se encuentran en el chasis. Luego de esta operación se almacenan las piezas y luego son transportadas hacia la operación de soldadura de pernos de sujeción, indicado en la Figura 33 con la flecha verde; una vez que esta operación termina, las piezas están listas para ser trasladadas hacia la etapa de lavado, indicado en la Figura 33 por la flecha de color morado. Hasta este punto se realiza el análisis del flujo de material, buscando que se tenga una idea más clara de cómo procede el modo de operar de la empresa en la actualidad, con el fin de destacar las operaciones innecesarias en la manipulación de los chasis dentro de la etapa de soldadura, para tenerlo en cuenta a la hora de proponer el modelo físico de la célula de manufactura.

#### 2.4 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LOS EQUIPOS, MÁQUINAS-HERRAMIENTAS PRESENTES EN LA ETAPA DE SOLDADURA

Los equipos que conforman la etapa de soldadura son: soldadores de punto, soldador oxiacetilénico, pulidora neumática, mototool y soldador de pernos; las características técnicas y de operación más importantes se registran en la Tabla 9.

**Tabla 9. Requerimientos técnicos, características técnicas y control**

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Soldador de punto CEAWELD WS 402 	Alimentación de red: 220 V Tipo: balancín Capacidad: 40 golpes x min Refrigeración: agua Control: Manual (operario)

**Tabla 9. Continuación**

<b>EQUIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>
<p>Soldador de punto CIFFES</p> 	<p>Alimentación de red: 220 V                      Tipo: balancín                      Capacidad: 30 golpes x min                      Refrigeración: agua                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Soldador de punto CIFFES</p> 	<p>Alimentación de red: 220 V                      Tipo: balancín                      Capacidad: 20 golpes x min                      Refrigeración: agua                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Soldador de punto CSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE</p> 	<p>Alimentación de red: 220 V                      Tipo: balancín                      Capacidad: 25 golpes x min                      Refrigeración: agua                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Soldador oxiacetilénico HARRIS</p> 	<p>Alimentación:                      Oxígeno: 6.5 m<sup>3</sup>                      Propano: 40 psi                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Pulidora neumática HOLDEN</p> 	<p>Alimentación de red: aire de alimentación 90 psi                      Capacidad: 2000 rpm                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Mototool AXMO de 2200</p> 	<p>Alimentación de red: aire de alimentación 90 psi                      Capacidad: 2200 rpm                      Control: Manual (operario)</p>
<p>Soldador de Pernos BTH TECH LBS 75</p> 	<p>Alimentación de red: 220 V                      Capacidad: 20 pernos por minuto                      Control: Manual (operario)</p>

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

El equipamiento con que cuenta la empresa en la etapa de soldadura es en gran parte tecnología madura; este tipo de equipos poseen fortalezas al ser equipos estandarizados y reconocidos en procesos de soldadura, adición y pulido; además cuentan con módulos de manipulación básicos, permitiendo la fácil operación por parte de los operarios; sin embargo, también poseen debilidades en términos de productividad y rendimiento. Los diferentes equipos llevan varios años de trayectoria al servicio de la empresa, los cuales han tenido fallas por sobrecarga de trabajo y malos usos, ocasionando una disminución en el ciclo de vida útil de éstos, incrementando los mantenimientos correctivos. Gran parte de los equipos brindan un modo de operar estacionario, limitando la flexibilidad al momento de ser operados, además de carecer de cualquier tipo de comunicación que permita extraer información de su comportamiento físico, rendimiento y modo de operar, por lo que se podría considerar mejoras con tecnologías que incrementen la calidad, confiabilidad y se adapten con otras tecnologías presentes en la empresa.

## **2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD ESTABLECIDOS POR ILTEC PARA LA ETAPA DE SOLDADURA**

La empresa ha establecido un estándar técnico de control para la etapa de soldadura de manufactura de chasis, en la cual se ha definido los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de inspeccionar un chasis, antes, durante y después de maquinarlo. Esto se define para todas las etapas del proceso productivo, tanto para el aseguramiento de la calidad como para el método de control. A continuación se hace énfasis en los parámetros establecidos para la etapa de soldadura [19]:

- **Aseguramiento De La Calidad**

- Características de calidad: observar que al aplicar el punto éste genere chispa, continuando con prueba de tracción a dos piezas.
- Parámetros de control: especificaciones de acuerdo con la referencia.
- Estándar: no aplica.

- **Método de control**

- Responsable: soldador.
- Cuando realizar: cada vez que se cambie de calibre de lámina
- Tamaño de la muestra: al inicio del proceso.
- Instrumento de medida: visual.

### **3 DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**

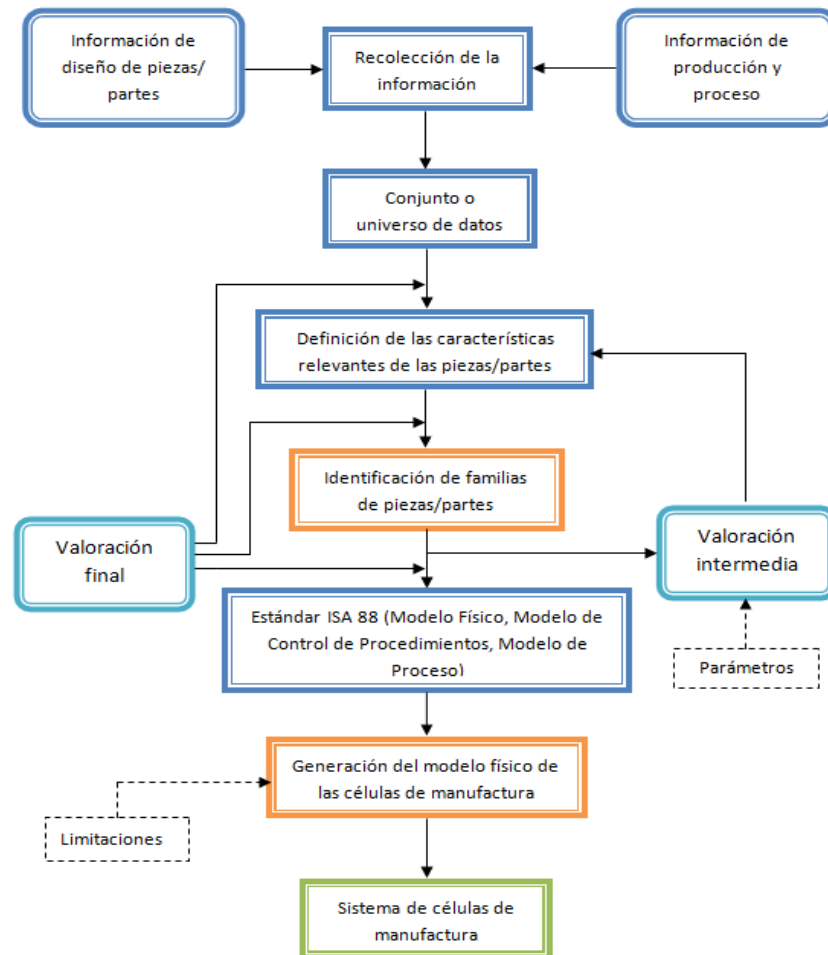
En esta sección se desarrolla el proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura, el cual estará basado en las metodologías descritas en el capítulo uno de este documento. Es necesario aclarar que la mayoría de los autores de estas metodologías no toman en cuenta la aplicabilidad que tienen otras o tienden a ignorar las sugerencias o mecanismos de mejoramiento a las suyas. En el documento se muestra que no hay una sola metodología que sea totalmente completa, ni preferente para determinado tipo de proceso, por lo cual se complementan con nuevas características, funciones, parámetros, alcances y consideraciones para el diseño, surgidas en el transcurso de esta investigación teniendo como referencia el caso de estudio. Los nuevos factores complementarios son importantes para ser incluidos en el proceso de diseño del modelo físico de la célula de manufactura, debido a que se consideran aspectos de tipo de producción, especificaciones del proceso, planificación de la distribución de planta y decisiones de infraestructura, que no son contempladas directamente en las metodologías de referencia como se verá en esta sección.

Como se menciona en el numeral 1.6 del capítulo uno, la manufactura celular tiene su origen en la filosofía de la tecnología de grupo con su enfoque de reducción de la complejidad de la producción de la familia de partes. En el siguiente numeral se presentan características de esta filosofía, describiendo las primeras consideraciones que hay que tener en cuenta en la primera fase del diseño del modelo físico de una célula de manufactura.

#### **3.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**

El diseño del modelo físico de una célula de manufactura se puede desarrollar orientado a dos tipos de enfoque: 1) cuando se realiza el diseño para introducir una célula de manufactura en un sistema de producción, apoyándose en los equipos con que cuenta la empresa, los tiempos de producción del producto y las estaciones de trabajo; 2) cuando se diseñan basados en la semejanza de piezas/partes o productos para la formación de familias. Este trabajo toma las mejores características de estos dos enfoques para la obtención de un modelo físico de una célula de manufactura acorde a la semejanza de los procesos, semejanza de sus piezas/partes o productos, además de considerar las dificultades y necesidades presentes en el entorno industrial apoyándose en el caso de estudio.

**Figura 34. Proceso general de diseño de un modelo físico de una célula de manufactura**



Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010

En la Figura 34 se presenta el proceso general básico propuesto a partir del análisis de las metodologías estudiadas, estableciendo nuevas consideraciones, etapas y procedimientos descritos a continuación:

- Para la etapa de Recolección de la información se determina considerar simultáneamente la Información de diseño de piezas/partes e información de producción y proceso, dejando a consideración del diseñador determinar un peso de ponderación a los dos tipos de información, para establecer la orientación de la definición de la etapa denominada Conjunto o universo de datos con el fin de relacionar el diseño de la pieza con su flujo de proceso y flujo materiales.

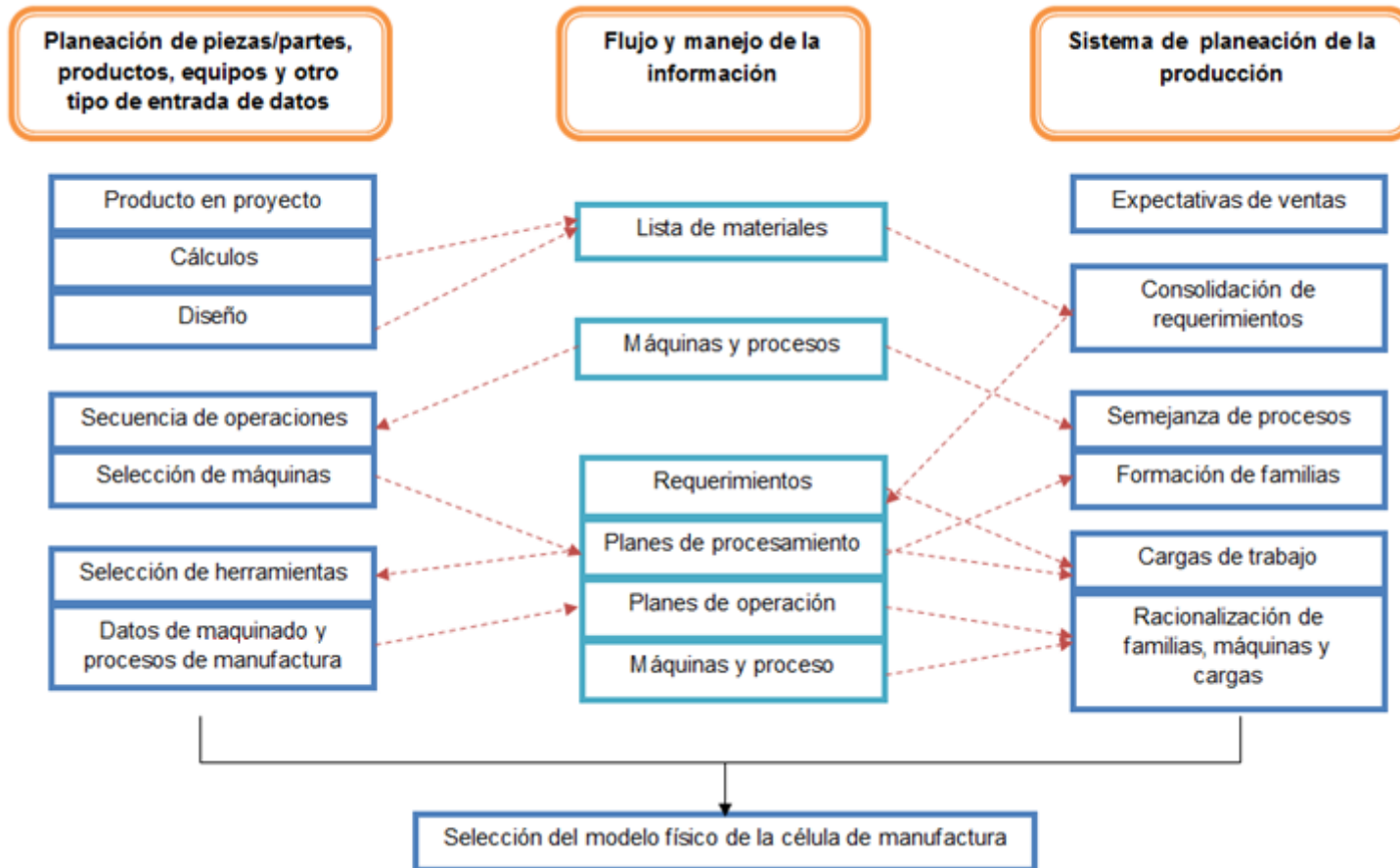


- Se define la nueva etapa denominada Definición de las características relevantes de las piezas/partes para filtrar la información recolectada en las etapas anteriores, garantizando considerar las características y aspectos más importantes de los dos enfoques de diseño de un modelo físico de una célula de manufactura descritos en el numeral 3.1.
- Se establece el procedimiento denominado Valoración intermedia con el fin de realizar una evaluación de la identificación de familias de piezas/partes resultantes, considerando parámetros como: tamaño de la familia, equipos necesarios para la producción de la familia, demanda del mercado de la familia, rentabilidad de producción de la familia (se puede definir cualquier parámetro que se considere necesario para realizar la valoración).
- Se establece el procedimiento de valoración final una vez se establecido la valoración de intermedia y los parámetros analizados en esta, para el resultado de las etapas denominadas: Conjunto o universo de datos, Definición de las características relevantes de las piezas/partes e Identificación de familias de piezas/partes, con el fin de establecer un alto cumplimiento de las características fundamentales de estas etapas, para tener el criterio de decidir un rediseño de la pieza parte/parte o un rediseño del flujo de proceso y producción.
- Se establece la etapa denominada Estándar ISA 88 (Modelo Físico, Modelo de control de procedimientos, Modelo de proceso) tomando como referencia la terminología y los modelos de este estándar, para ayudar a especificar los recursos disponibles, las recetas y las fases necesarias para la fabricación de una pieza/parte o producto, con el fin de modelar el proceso de producción y obtener un esquema común y consistente en el diseño y la operación del proceso de producción de una célula de manufactura.
- La etapa denominada Generación del modelo físico de las células de manufactura se modificó considerando que del resultado de la identificación de familias de piezas/partes se generen familias que determinen el diseño de varios modelos físicos de células de manufactura; es pertinente especificar las limitaciones físicas y de capacidad de producción del modelo físico propuesto para tener claro posibles expansiones o rediseños al modelo.
- Se definieron dos fases principales denominadas: diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura y planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura con sus respectivas actividades descritas en el numeral 3.2 y 3.3 de este capítulo.

Si se observa la Figura 34 se deduce que la información del modelo físico de una célula de manufactura es el proceso que recolecta la información de diseño de piezas/partes o productos (nombre, características de diseño, dimensiones, materia prima) e información

de producción y proceso, para identificar las familias y determinar los procesos de trabajo asociado y asignar el equipo necesario para las familias. Si lo anteriormente descrito se complementa con la información de enrutamiento, es decir, la especificación de la secuencia de procesos necesarios para la manufactura, el tipo de contacto con el cliente, el volumen de producción y la flujo de materiales, se podría tener una mejor descripción y especificación del diseño como se observa en la Figura 35.

Figura 35. Información relacionada con el diseño del modelo físico de una célula de manufactura



Fuente: Elaboración propia, septiembre 2010.

Después de analizar la Figura 34 y la Figura 35 se define que en el proceso general de diseño del modelo físico de una célula de manufactura es necesario puntualizar las siguientes dos fases principales: 1) diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura donde se define las células lógicas, es decir, la colección de piezas/partes y equipos; y 2) planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura donde se determina el área del espacio físico requerido por el modelo físico de la célula, así como su ubicación y delimitación. Estas dos fases del proceso general de diseño del modelo físico de una célula de manufactura se describen a profundidad a continuación.

Al tener como referencia el estándar ISA 88 permite diagnosticar la empresa, establecer claramente las características del sistema de producción, así como especificar formalmente los procedimientos y sus métodos de producción dentro de un esquema de integración del sistema empresarial. De esta manera, se realiza la jerarquización de los activos físicos con un alto grado de independencia con sus actividades de procesamiento con el objetivo de obtener la flexibilidad requerida en el uso óptimo de los recursos y habilitar la construcción de instrucciones genéricas. [22]

## **3.2 DISEÑO LÓGICO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**

En esta fase del proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura se lleva a cabo una serie de actividades que permite desglosar los procedimientos, funciones y características necesarias para lograr un adecuado diseño, teniendo como objetivo principal la formación de familias de piezas/partes o productos, además de la asignación y agrupación de los equipos necesarios para la fabricación de estas familias, contemplando aspectos relevantes de producción, diseño de las piezas/partes, equipos, rutas, requerimientos del cliente, como se especifica en los siguientes numerales denominados actividades de diseño.

### **3.2.1 Recolección de la información basada en la semejanza de piezas/partes, productos y procesos**

En esta actividad se encuentra información de diseño de las piezas/partes o productos, producción y proceso, la cual es tratada de la siguiente manera:

**a) Recolección de la información del diseño de las piezas/partes o productos:** en el ítem 1.1.3.1 del Anexo 1 se hace referencia a las actividades principales que se deben considerar en el diseño de un producto, las cuales serán complementadas hacia el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura como se especifica la Figura 36.

**b) Recolección de la información de producción y proceso:** Después de recolectar la información de diseño es preciso determinar los aspectos generales de producción y proceso, considerando con suma importancia el sistema de producción con que cuenta la

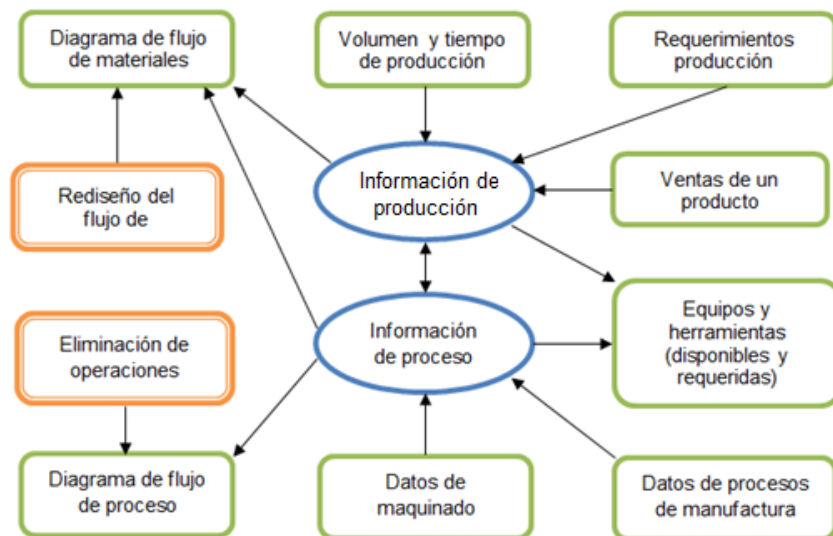
empresa, ya que si la célula de manufactura se va implementar en una etapa de un proceso de producción ya existente, es necesario realizar un estudio tecnológico de diseño y de proceso; por lo cual es necesario contar con la siguiente información, como se especifica en la Figura 37.

**Figura 36. Parámetros de recolección de la información de diseño de piezas/partes**



Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

**Figura 37 Parámetros de recolección de la información de producción y proceso**



Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

En la Figura 36 y la Figura 37 se observa que se cuenta con toda la información relevante de diseño, proceso y producción necesaria para proceder a formar el conjunto o universo de datos, con el objetivo de lograr la identificación de las familias de piezas/partes basado en la semejanza de las características de los parámetros expuestos; para la recolección de esta información se recomienda realizarla mediante el formato expuesto en el Anexo 3. Además en estas dos figuras se hace referencia a la inclusión de tres actividades denominadas rediseño, rediseño del flujo de materiales y eliminación de operaciones, debido a que en este proceso de diseño en la mayoría de los casos es necesario devolverse al inicio del proceso para ir depurando o complementando la formación de las familias con el propósito de lograr obtener un sólido modelo físico de una célula de manufactura; estas actividades se explican en el transcurso de este capítulo.

### **3.2.2 Realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales**

El análisis de flujo de proceso es importante ya que se centra en las actividades necesarias para transformar las materias primas, insumos e información en una pieza/parte o producto, mediante un proceso esquemático sin mostrar distancias o lugares de los recursos o equipos utilizados en el proceso de fabricación, siendo su propósito principal mostrar los pasos del proceso y sus relaciones ilustrando la complejidad del proceso en general. Para realizar esta actividad no es necesario regirse por algún método en particular pero se recomienda realizar el *diagrama de flujo de proceso* que se define como: una representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, los transportes, las inspecciones, las esperas y los almacenamientos que ocurren durante un proceso [21].

El análisis de flujo de material permite determinar la manipulación de materias primas, insumos y piezas/partes en un proceso de manufactura, mostrando un patrón a escala de las distancias, instalaciones y equipos [23]. Se recomienda realizar un diagrama donde se observe la distribución de planta de los equipos, estaciones de trabajo, sistemas de transporte y las rutas establecidas del proceso de manufactura, haciendo énfasis en el proceso general o las etapas del proceso donde será implementada la célula de manufactura. (Este análisis se puede desarrollar mediante cualquier método disponible)

### **3.2.3 Identificación de familias de piezas/partes o productos**

Después de recolectar la información y realizar los análisis del numeral anterior, se procede a definir las características relevantes de las piezas/partes o productos para la formación de las familias. Este procedimiento se efectúa con el desarrollo de las siguientes actividades:

**a)** Determinar el universo o conjunto de piezas/partes a considerar, donde se excluyen aquellas piezas/partes o productos que son notablemente diferentes al resto, en sus dimensiones, materia prima, insumos y aditamentos con que son hechas para obtener

una preclasificación de las familias posibles. Este proceso se puede realizar con las piezas reales como con los planos descriptivos de las mismas.

**b)** Subdividir el universo o conjunto de piezas/partes o productos, teniendo en cuenta los equipos predominantes para su fabricación con base en el análisis de las operaciones de proceso.

**c)** Teniendo en cuenta los equipos predominantes para su fabricación, se analiza el universo de partes/pieza o productos resultantes, para luego determinar su pertenencia a nuevos subconjuntos basados en su semejanza geométrica y así asignarlos a un equipo predominante específico para su fabricación.

**d)** Comparación entre cada una de las rutas de proceso mediante el diagrama de flujo de proceso de cada pieza/parte o producto, registrando en cada caso el grado de similitud entre las rutas.

**e)** Selección del método de clasificación. Existen varios tipos de clasificación y codificación como se mencionó en el ítem 1.5.2 del capítulo uno, los cuales varían en su forma de codificación de unos a otros en la asignación de dígitos numéricos y alfanuméricos, por lo cual se deja a libertad del diseñador la selección de cualquier sistema.

**f)** Formación de familias. Una vez que se ha realizado una adecuada codificación de acuerdo con los atributos físicos y de procesamiento de la pieza/parte o producto, se realiza una verificación de los dígitos distintivos de las características principales de la pieza buscando coincidencias o similitudes que evidencien la pertenencia a una misma familia; esta verificación se recomienda desarrollar mediante tablas, matrices o diagramas.

Nota: en algunos casos la formación de las familias se basa únicamente en las piezas/partes o productos con mayor demanda en el mercado o si se produce solamente para un cliente en específico determinada pieza/parte o producto.

**g)** Rediseño o eliminación de operaciones. Si se observan los miembros de cada familia resultante, se puede descubrir variantes de producto o piezas/partes que son innecesarias y pueden ser eliminadas o rediseñadas, para acoplarlas mejor en las familias; esta actividad se apoya en el diagrama de proceso y el diagrama de flujo de materiales anteriormente descritos.

**Tabla 10. Resumen del proceso de diseño de identificación de familias**

Nº	Fases del proceso de diseño de identificación de familias	Característica principal	Requisitos
1	Determinar el universo o conjunto de piezas/partes o productos	Preclasificación	Planos, representaciones virtuales, la pieza real
2	Subdividir el universo o conjunto de piezas/partes o productos	Equipos predominantes	Operaciones de proceso
3	Determinar la pertenencia a nuevos subconjuntos	Semejanza geométrica	Equipos predominantes
4	Comparación de la ruta de proceso de cada pieza/parte o producto	Similitud de rutas	Diagrama de flujo de proceso, diagrama de flujo de materiales
5	Selección del método de clasificación	Codificación	Fase del proceso de diseño Nº: 1,2,3,4
6	Formación de familias	Análisis de los códigos distintivos	Codificación
7	Rediseño o eliminación de operaciones	Eliminación y rediseño	Diagrama de proceso, diagrama de flujo de material, familias de piezas/partes

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

### 3.2.4 Asignación y agrupación de equipos y herramientas

Al tener conocimiento de las familias resultantes y los equipos predominantes para cada pieza/parte o producto, se procede con la siguiente secuencia de pasos para la selección, asignación y agrupación de equipos y herramientas complementarias que hacen posible la culminación del proceso productivo de una pieza/parte o producto.

**a)** Determinación del tipo de célula de manufactura que se desea implementar de acuerdo con el desarrollo del Diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura establecido en el numeral 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 de este capítulo; además, se deberá enfocar esta determinación basándose en los cinco tipos de arquitectura básicas para el diseño de una célula de manufactura citadas en el numeral 1.5.1 del capítulo uno.



b) Basándose en el diagrama de flujo de proceso anteriormente definido y los equipos predominantes para las piezas/partes o productos, se continúa definiendo los equipos, herramientas y sistemas de transporte complementarios para lograr el acabado final de las familias de piezas/partes o productos. Esta selección se realiza basada en las necesidades, requerimientos, futuras expansiones, flexibilidad y criterios de selección como se especifican en el anexo 4.

c) Determinar el factor humano que operará en la célula de manufactura.

d) Realización del nuevo diagrama de flujo de proceso y flujo de materiales.

**Tabla 11. Resumen de las actividades del proceso de diseño de asignación y agrupación de equipos y herramientas**

Nº	Fases del proceso de diseño de asignación y agrupación de equipos y herramientas	Característica principal	Requisitos
a	Determinar el tipo de célula de manufactura	Arquitecturas físicas básicas	Diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura numerales: 3.2.1,3.2.2 y 3.2.3
b	Definición y determinación de equipos, herramientas y sistemas de transporte complementarios	Equipos, herramientas y sistemas de transporte	Diagrama de flujo de proceso y criterios de selección de equipos
c	Determinar el factor humano	Selección y evaluación	Capacitación en distintas tareas y operaciones en la célula de manufactura

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

### **3.3 PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**

En el desarrollo de este numeral se especifica tres aspectos generales que culminan el proceso de diseño del modelo físico como lo son: el área física, la ubicación y la delimitación para lograr una posterior implementación.

### **3.3.1 Análisis del espacio físico**

Este análisis busca evaluar el área física existente, con el propósito de que los componentes que hacen parte del modelo físico de la célula de manufactura, como lo son maquinaria, equipos, robots, herramientas y sistemas de transporte propuestos, no interfieran con el resto de los componentes del proceso productivo en la planta, además de cumplir con los requerimientos mínimos que debe contar el complejo físico para el correcto funcionamiento de éstas. Este análisis se compone de las siguientes dos actividades:

- a)** Realizar un análisis de los planos de planta enfocándose en el área física disponible e identificando la ubicación de las instalaciones eléctricas, instalaciones de aire e instalaciones de fluidos.
  
- b)** Realizar un análisis físico y de distribución de los procesos de manufactura ya existentes con el fin de evitar problemas e interferencias con los demás procesos y poder contemplar un margen para posibles expansiones y mejoras en la distribución física.

### **3.3.2 Ubicación y delimitación de los nuevos equipos**

En esta sección del proceso de diseño, una vez que se cuenta con el área física y la localización de cada área predeterminada para los equipos, robots, máquinas, herramientas y sistemas de transporte para la célula de manufactura, gracias al estudio de los planos y de los procesos, se procede de la siguiente forma para determinar la nueva distribución de planta:

- a)** Adecuar el área física e instalaciones con requerimientos y suministros técnicos de acuerdo con la demanda de los equipos, máquinas y herramientas (electricidad, agua, aire, tuberías, ductos de ventilación y luminarias).
  
- b)** Definir las dimensiones de cada área teniendo en cuenta los requerimientos de espacio de acuerdo con el tamaño del equipo, el área para operarlo y el área para el tráfico de materia prima, insumos, aditamentos y personal.
  
- c)** Realizar el Layout de acuerdo con el cumplimiento de la planificación del diseño del modelo físico de la célula de manufactura desarrollado en los numerales 3.3.1 y 3.3.2.

**Tabla 12. Resumen de las actividades de planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura**

Nº	Fases de la planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura	Característica principal	Requisitos
1	Realizar una análisis de los planos de la planta de la empresa	Estimación del área física e identificación de instalaciones (agua, electricidad , aire y fluidos)	Planos de la planta
2	Realizar análisis físico y análisis de distribución física de los procesos existentes en la fabrica	Evitar problemas e interferencias con los procesos de producción	Planos de la planta, diagrama de flujo de materiales
3	Adecuar el área física e instalaciones	Requerimientos y suministros técnicos (Electricidad, agua, aire, tuberías, ductos de ventilación y luminarias).	Recolección de especificaciones técnicas de los equipos, máquinas, herramientas y sistemas de transporte
4	Definir las dimensiones del área física	Especificaciones técnicas para la instalación y operación de maquinaria, robots y equipos	Especificaciones técnicas de los equipos, máquinas, herramientas y sistemas de transporte, diagrama de flujo de materiales
5	Realizar la distribución de planta	Reorganización de los equipos, máquinas-herramientas, pasillos, estaciones de trabajo	El proceso de diseño anteriormente descrito
6	Nuevo diagrama de flujo de proceso y flujo de materiales	Detalle de cada una de las actividades relacionadas	Secuencia de operaciones

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

Con todo el proceso anterior queda estipulado el procedimiento por medio del cual se logra el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura, el cual logra de una manera general agrupar gran parte de las mejores características de las metodologías halladas, para acoplarlas en los diferentes factores que intervienen en éstas, logrando el mejor diseño posible del modelo; es por esto por lo que se recomienda realizar un adecuado seguimiento a cada uno de los pasos anteriormente expuestos, para así lograr consolidar un modelo sólido que lleve a un adecuado diseño físico de la célula para una posterior implementación.

### **3.4 APLICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA AL CASO DE ESTUDIO**

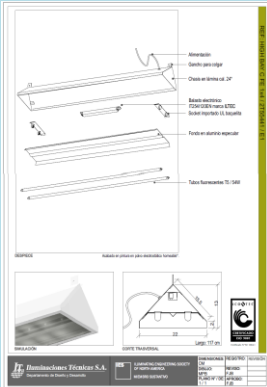
Para realizar la aplicación de diseño del modelo físico de una célula de manufactura se tomará como guía cada uno de los pasos que se encuentran expuestos en este mismo capítulo en el numeral 3.2 y 3.3. Por medio de éstos se busca analizar y aplicar detalladamente cada uno de los requerimientos necesarios para lograr formar un modelo físico bien estructurado para el caso de estudio en la empresa ILTEC S.A., en la etapa de soldadura del proceso de fabricación de chasis de luminarias.

#### **3.4.1 Recolección de la información basada en la semejanza de piezas/partes, productos y procesos**

Lo primero que se debe tener en cuenta para diseñar una célula de manufactura es determinar que se desea manufacturar; en este caso, chasis de luminarias; esto define de forma específica la composición física de la célula como tal; teniendo en cuenta esto se recopiló toda la información de diseño de las piezas/partes en cuestión en los formatos descritos en el Anexo 3, aportando un valioso componente en el diseño de la célula de manufactura. Con esta importante información acerca del diseño de las luminarias resultará más fácil la conceptualización y la planeación de las características físicas y funcionales de la célula.

Para la realización de un nuevo producto se debe tener en cuenta la conceptualización del mismo y su identificación funcional; se modela el producto y se selecciona el material más apropiado, buscando que su manufactura sea lo más práctica y eficiente posible, sin dejar a un lado los atributos de diseño como las tolerancias y especificaciones, para así lograr la satisfacción del cliente. Todas estas consideraciones se deben tener en cuenta para la aplicación al caso de estudio, pero al tener un producto existente que cuenta con un previo diseño y que en estos momentos ya se tiene en producción, se partirá desde este punto, en el cual se tiene toda la información necesaria para la aplicación del modelo físico de una célula de manufactura, sin dejar a un lado todas las especificaciones que los diseñadores han tenido en cuenta a la hora de generar todos los diseños de las luminarias con las cuales se pretende desarrollar este trabajo. Lo que se busca al momento de implementar el diseño de una célula de manufactura es que el producto a elaborar pertenezca a alguna de las familias formuladas; de no ser así, se puede considerar rediseñar el producto o su proceso con el cual es manufacturado para hacerlo pertenecer a una de las familias resultantes.

**Tabla 13. Atributos y consideraciones de diseño para una luminaria**

ATRIBUTO	CONSIDERACIÓN
<b>Requerimientos del cliente</b>	Luminaria para colgar a 3 m de altura para iluminar un área de 25 m <sup>2</sup> que no genere fatiga ocular, para trabajo diario diurno a dos turnos.
<b>Conceptualización del diseño</b>	No Aplica (Diseño existente)
<b>Nombre y Referencia</b>	HIGH BAY C FE 1x4/2T55441/E1
<b>Planos de diseño</b>	
<b>Atributos de diseño (Dimensiones, tolerancias, y especificaciones)</b>	Dimensión: 117cmx22cmx13cm
<b>Materia prima, aditamentos e insumos materiales</b>	Lámina de hierro calibre 24, Tubos fluorescentes T5 / 54W, Acabado en pintura en polvo electrostático horneado
<b>Forma de la pieza/parte o producto (rotacional, no rotacional, plana o compuesta)</b>	Forma: Prismática Pieza no rotacional

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

### 3.4.2 Recolección de la información de producción y proceso

Con la ayuda de los aspectos generales de producción se puede realizar un estudio tecnológico con todo el universo de datos del proceso productivo de los chasis de luminarias actuales, pero, como se especificó desde el inicio de esta investigación, no se realiza el estudio de todo el proceso productivo, si no, de la etapa de soldadura. La

recolección de la información de producción y proceso esta detallada en el numeral 2.3 del capítulo 2.

### **3.4.3 Realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales**

La realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales está especificado y detallado en el numeral 2.3.1 del capítulo 2.

### **3.4.4 Identificación de familias de piezas/partes o productos**

#### **a) Determinación del universo o conjunto de piezas/partes**

ILTEC S.A. actualmente cuenta con más de cien variedades de productos, entre los cuales se encuentran luminarias de sobreponer, luminarias de incrustar, luminarias de colgar, luminarias apliques, luminarias balas y luminarias cielos; estas variedades son especificadas en el Anexo 5.

Para la determinación del universo de piezas/partes se consideran tres grupos de luminarias, pues son éstas las que se encuentran directamente más relacionadas con la etapa de soldadura (ver Tabla 14).

**Tabla 14. Universo de piezas/partes**

<b>UNIVERSO DE PIEZAS/PARTES</b>	<b>CÓDIGO</b>
<b>Luminarias de Colgar</b>	<b>C</b>
<b>Luminarias de incrustar</b>	<b>I</b>
<b>Luminarias de sobreponer</b>	<b>S</b>

Fuente: Elaboración propia, octubre de 2010.

Para tener una idea más clara del tipo de luminaria con que se está trabajando, en el Anexo 6 se desarrolla una abreviación de las referencias del universo total de luminarias.

Continuando con el proceso de diseño del modelo físico, es necesario subdividir el universo de luminarias, teniendo en cuenta la forma final de la pieza, el material y el calibre del chasis, siendo ésta una selección enfocada hacia el diseño, como se especifica

en el Anexo 7. Una vez se clasifica la forma final del chasis de las luminarias y el calibre de la lámina con que se elaboran, se tiene una idea más clara de acuerdo con la nueva subdivisión del universo de chasis de luminarias relacionados de acuerdo con su forma y con su composición física. Después se debe realizar una comparación de acuerdo con el flujo de proceso de cada pieza/parte, teniendo en cuenta los equipos predominantes para la fabricación de los chasis y registrar las similitudes entre las rutas de proceso y flujo de materiales, como se especifica en el Anexo 8.

Cumplida la anterior actividad en el proceso de diseño, se realiza el análisis del flujo de proceso de acuerdo con la información brindada en el Anexo 8, donde se presenta una comparación entre cada una de las rutas de proceso del universo seleccionado de chasis de luminarias, registrando en cada caso el grado de similitud entre las rutas; pero debido a que la mayoría de piezas para el caso de estudio cumple con las cuatro primeras actividades estipuladas en el Anexo 8, denominadas soldadura de punto, aditamentos al chasis, pernos de sujeción y el cambio de electrodos, se realizará un discriminación en este caso enfocado hacia la soldadura de adición y el pulido, pues varios de los modelos prescinden de alguna de estas dos operaciones o de ambas, logrando así un subgrupo más selecto.

**Figura 38. Luminarias que cumplen con todas (6) las actividades y operaciones del proceso**

LUMINARIAS DE COLGAR	LUMINARIAS DE INCRUSTAR	LUMINARIAS DE SOBREPONER	
C1	I1	S1	S16
C2	I2	S2	S19
C4	I3	S4	S20
C8	I5	S5	S22
C10	I9	S6	S23
C11	I13	S7	S24
	I17	S8	S25
	I18	S9	S26
		S10	S27
		S14	S29
		S15	S32

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Figura 39. Luminarias que cumplen con las cuatro primeras actividades y que por sus características físicas y de proceso pueden obviar las dos últimas actividades**

LUMINARIAS DE COLGAR	LUMINARIAS DE INCRUSTAR	LUMINARIAS DE SOBREPONER	
C6	I4	S3	
C7	I6	S11	
C9	I7	S12	
	I8	S13	
	I10	S17	
	I11	S18	
	I12	S21	
	I14	S23	
		S28	
		S30	
		S31	

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Figura 40. Luminarias que cumplen con las cuatro primeras actividades, con la sexta y no con la quinta actividad**

LUMINARIAS DE COLGAR	LUMINARIAS DE INCRUSTAR
C3	I15
C5	I16

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

La clasificación donde se cumplen las cinco primeras actividades y no la sexta y última no es necesario realizarlo; pues si se realiza la quinta actividad se sobreentiende que es necesario hacer la sexta.

### 3.4.5 Selección del método de clasificación

Hay varios tipos de clasificación y codificación, pero se debe buscar el que más se acople al proceso productivo, ver numeral 1.5.2.; ILTEC cuenta con un proceso metal mecánico, por lo que se encontró en la literatura que el código OPITZ es uno de los más usados para este tipo de aplicaciones, considerando sus características de factibilidad, precisión, facilidad de uso y flexibilidad, acoplándose de la mejor manera a las actividades y operaciones presentes en la etapa de soldadura.

La clasificación se realizó con base en la información suministrada por la empresa ILTEC S.A., para cada uno de los componentes del universo de chasis, con cada una de las especificaciones tanto de diseño como de fabricación; esta clasificación se encuentra en el Anexo 9, por lo que se requiere mirar detalladamente la clasificación para lograr tener una apreciación más clara del proceso que se realizó. La estructura de este sistema se puede observar en literal **d** del numeral 1.5.2 del capítulo 1.

Una vez realizada la codificación por medio del código Opitz, se deben verificar los dígitos distintivos de las características principales de los chasis de luminarias, para buscar coincidencias que evidencien la pertenencia a una misma familia, es decir, asignar cada uno de los chasis del universo a las familias propuestas; esta verificación se desarrolla para la generación de las familias de chasis que se toman para continuar con la aplicación del diseño del modelo físico; estas familias de chasis se exponen en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.



**Tabla 15. Familia 1**

CÓDIGO DE ASIGNACIÓN	1° dígito clase de la parte	2° dígito forma principal	3° dígito maquinado rotacional	4° dígito maquinado del plano de la superficie	5° dígito agujeros adicionales dentado y formado	A	B	C	D
<b>C6</b>	9	3	0	0	0	0	2	4	5
<b>C7</b>	9	3	0	0	0	0	2	6	5
<b>S28</b>	9	3	0	0	0	0	2	4	5
<b>S4</b>	9	3	0	1	5	1	2	4	4
<b>S7</b>	9	3	0	1	0	0	2	4	4
<b>S25</b>	9	3	0	1	0	1	2	4	4
<b>S17</b>	9	0	0	0	0	0	2	4	5
<b>S18</b>	9	0	0	0	0	0	2	4	5
<b>S21</b>	9	0	0	0	0	0	2	4	5
<b>S15</b>	9	0	0	1	0	0	2	4	4
<b>S19</b>	9	0	0	1	0	0	2	4	4
<b>I2</b>	9	0	0	1	0	1	2	4	4
<b>C8</b>	9	0	6	1	0	0	2	4	4

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 16. Familia 2**

CÓDIGO DE ASIGNACIÓN	1° dígito clase de la parte	2° dígito forma principal	3° dígito maquinado rotacional	4° dígito maquinado del plano de la superficie	5° dígito agujeros adicionales dentado y formado	A	B	C	D
<b>C11</b>	6	3	0	1	0	1	2	4	4
<b>S5</b>	6	3	0	1	0	0	2	4	4
<b>S6</b>	6	3	0	1	0	0	2	4	4
<b>S20</b>	6	3	0	1	0	1	2	4	4
<b>S24</b>	6	3	0	1	0	1	2	4	4
<b>S26</b>	6	3	0	1	0	1	2	4	4
<b>I15</b>	6	3	0	1	5	1	2	4	5
<b>I16</b>	6	3	0	1	5	1	2	4	5
<b>I18</b>	6	3	0	1	5	0	2	4	4
<b>C5</b>	6	3	1	1	0	1	2	6	5
<b>S2</b>	6	3	1	1	0	0	2	6	4

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 17. Familia 3**

CÓDIGO DE ASIGNACIÓN	1° dígito clase de la parte	2° dígito forma principal	3° dígito maquinado rotacional	4° dígito maquinado del plano de la superficie	5° dígito agujeros adicionales dentado y formado	A	B	C	D
I6	6	4	0	0	5	0	2	4	5
I7	6	4	0	0	5	0	2	4	5
I8	6	4	0	0	5	0	2	4	5
I12	6	4	0	0	5	0	2	4	5
I10	6	4	0	0	5	1	2	4	5
I11	6	4	0	0	5	1	2	4	5
I14	6	4	0	0	5	1	2	4	5
I3	6	4	0	1	0	0	2	4	4
I13	8	4	0	1	5	1	2	4	4
I9	6	4	0	1	5	3	2	4	4
I1	6	4	4	1	0	2	2	6	4

Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2010.

De la clasificación surgieron nueve familias, las cuales cuentan con características similares, tanto físicas como en la forma de ser manufacturadas, obteniéndose una notable cantidad de familias para el universo de chasis de luminarias, requiriendo depurar más esta formación de familias, por lo cual se procede a realizar un rediseño de las piezas que poseen un menor número de integrantes de cada familia; para el caso de estudio, los integrantes de las familias de la cuatro a la nueve (ver Anexo 10) pueden ser rediseñados en la forma de ser manufacturados o en su forma física, para hacerlas pertenecer en lo posible dentro de las tres familias principales conformadas por las familias: uno, dos y tres.

➤ **Planificación del diseño del modelo físico**

**3.4.6 Asignación y agrupación de equipos y herramientas**

En esta actividad del proceso de manufactura, es necesario aclarar que se desarrollan dos escenarios con diferentes enfoques para la formación del modelo físico de una célula de manufactura para la producción de chasis de luminarias para la etapa de soldadura; el primero de ellos, denominado escenario A, es una célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático, el cual fue desarrollado con el fin de satisfacer los requerimientos de la empresa a corto plazo; éste cuenta con la aceptación de la empresa para que en un futuro inmediato procedan a desarrollar el segundo componente fundamental de una célula de manufactura, el cual es orientado a la programación y flujo de información, para

posteriormente culminar con el diseño de la célula de manufactura en su implementación. El otro escenario denominado escenario B, es un sistema de manufactura flexible, el cual cuenta con células de manufactura conformada por equipos, herramientas, máquinas y sistemas de transporte, con un nivel tecnológico totalmente diferente al propuesto en el escenario A y que será de suma importancia en el desarrollo de este trabajo, debido a que cumple con las tendencias actuales en la automatización y los nuevos enfoques de producción; de este modo, el escenario B será el sometido al proceso de simulación mediante la herramienta software Opencim de Intellitek, el cual será descrito posteriormente en el capítulo 4.

## **I. Escenario A**

Se recomienda contar con la referencia del Anexo 3, para el correcto desarrollo de la aplicación del escenario A.

### **a) Tipo de célula**

Para proseguir con el desarrollo del modelo físico, ahora se debe determinar el tipo de célula de manufactura que se desea implementar de acuerdo con los componentes del diseño lógico del modelo físico ya desarrollados anteriormente, especialmente con la información suministrada por el diagrama de flujo de proceso y la identificación de familias de chasis.

Para el caso de estudio se ha encontrado que existen un gran número de transportes realizados por los asistentes de los operarios, los cuales son los encargados de tomar el chasis, ayudarlo a sostener durante la operación y volverlo a llevar hasta el punto de almacenamiento. Es por esta razón por la que se propone para el caso de estudio una célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático, mencionada en el numeral 1.6.1, la cual se compone de un sistema de manejo mecanizado, refiriéndose al transporte de piezas/partes de una máquina a la siguiente. Esto representaría una disminución en los tiempos de manufactura, pues un sistema de transporte aumentaría la velocidad de producción y evitaría los vicios presentes en la manipulación de los chasis por parte de los operarios logrando mejoras considerables para la producción.

### **b) Máquinas, equipos y herramientas propuestas**

Para la célula propuesta de un grupo de máquinas con manejo semiautomático es necesario considerar nuevos sistemas, equipos y transportes, la selección de los equipos, máquinas y herramientas se especifica en el Anexo 11.

**Tabla 18. Equipos propuestos para el escenario A**

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p>Soldador de punto PRO SPOT PR-2000</p>  <p>Equipo predominante de las familias resultantes</p>	<p>Tipo: soldadura de punto                      Alimentación de red: 220,420 V                      Electrodo: Pinza manual                      Longitud cable: 2.5m                      Capacidad: 40 golpes x min                      Refrigeración: aire                      Control: semiautomático con modos de soldadura pre programados                      Expansiones de electrodo                      Presión del electrodo: 90psi</p>
<p>Soldador MIG Millermatic-350p</p> 	<p>Tipo: soldadura MIG                      Alimentación de red: 220,420 V.                      Gas. Dióxido de carbono o argón                      Antorcha con unidad de alimentación de hilo de adición.                      Longitud cable: 3m                      Control: Manual (operario)                      Velocidad de soldadura alta                      Menor aportación de calor a la pieza.</p>
<p>Soldador de Pernos AS Schöler + Bolte de la serie BTH TECH</p> 	<p>Tipo: descarga de condensadores hasta 90.000 mf                      Alimentación de red :220 V                      Tiempo de Soldadura: 1 a 3 milisegundos.                      Cadencia de Trabajo: Hasta 40 pernos /min                      Modulo PRO-SPLIT - para la conexión de 4 pistolas                      Conexión para CNC.</p>

**Tabla 18. (Continuación)**

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p>Banda transportadora Dorner serie 5200</p> 	<p>Alimentación de red: 230/460 voltios, 3 fases Velocidad : 36 m/min a 100 m/min Curvatura: 8 "(203 mm) a 36" (914 mm) Longitud: 36 "(914 mm) a 999" (25,375 mm) Motor de 3hp con unidad de frecuencia variable, 6-60 Hz Motoreductor : 32M060HL423EN, 19 rpm</p>
<p>Pulidora neumática HOLDEN</p> 	<p>Alimentación: aire de alimentación 90 psi Capacidad: 2000 rpm Control: Manual (operario)</p>
<p>Mototool AXMO de 2200</p> 	<p>Alimentación: aire de alimentación 90 psi Capacidad: 2200 rpm Control: Manual (operario)</p>

Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2010.

**c) Determinación del factor humano**

Una vez que se cuenta con toda la propuesta de los componentes físicos de la célula, se debe estimar el número de operarios y asistentes. Por lo tanto, es necesario revisar las nuevas actividades que se pretenden realizar de acuerdo con la nueva propuesta de equipos y herramientas. En este punto es importante aclarar que el tipo de célula propuesta es una célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático, la cual requiere de componente humano para control, operación y supervisión de cada uno de los equipos máquinas o herramientas que componen la célula. La estimación que se propone para el componente humano en las actividades del proceso involucradas con la etapa de soldadura de chasis de luminarias se observa en la Tabla 19:

**Tabla 19. Componente humano para el escenario A**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>OPERARIOS</b>	<b>ASISTENTES</b>
<b>Soldadura de punto</b>	SPOT PR-2000	1	0
<b>Soldadura de Punto Aditamentos</b>	SPOT PR-2000	1	0
<b>Soldadura de adición</b>	MIG Millermatic-350p	1	0
<b>Pulido</b>	Pulidora neumática Holden	1	0
<b>Pernos de sujeción</b>	Bth Tech Lbs 75	1	0
<b>Transporte</b>	Dorner serie 5200	0	2

Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2010.

#### **d) Análisis del espacio físico**

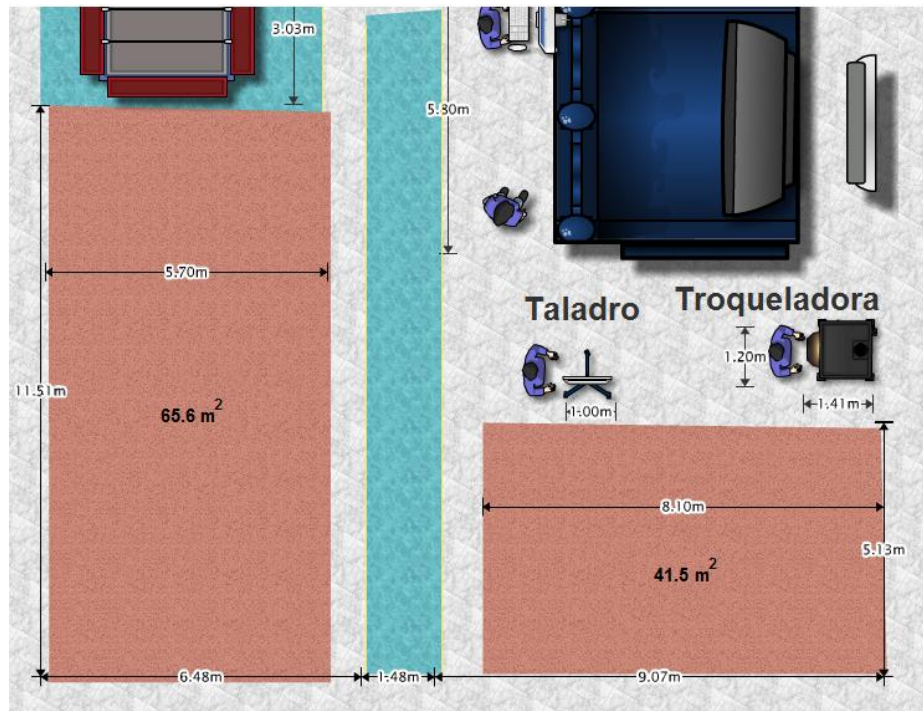
El área física con que se cuenta en la etapa de soldadura es de 107.1 m<sup>2</sup> distribuida en dos secciones de 65.6 m<sup>2</sup> y 41.5 m<sup>2</sup>, como se indican en la Figura 41 señaladas de color salmón. Estas dos áreas son la disponibilidad que se tiene para implementar la célula de manufactura; además, se deben estimar todas y cada una de las instalaciones necesarias para que los equipos funcionen de forma integral con la alimentación eléctrica trifásica, presión de aire de 100 a 200 psi y fluido de agua a caudal normal. Todos estos recursos se deben tener listos y sin limitaciones para no interferir con el funcionamiento de los demás equipos tanto externos como internos de la etapa de soldadura.

En Figura 41 se logra observar que se tienen dos áreas, las cuales se encuentran divididas por un corredor indicado de color azul de aproximadamente 1.50 m de ancho. En ILTEC, este corredor es de vital importancia tanto para el libre movimiento de los operarios, como de las mesas con ruedas que se tienen en toda la planta para el transporte de materia prima; es por esta razón por la que el área disponible se encuentra dividida en dos y se debe decidir cuál de estas es la más indicada para implementar la célula de manufactura, sin que haya colisiones entre los chasis mientras se realizan cada una de las operaciones en la etapa.

Por medio de observación se escoge la zona que se encuentra ubicada a la izquierda del plano, no solo porque es un poco más amplia sino porque se encuentra junto al área de

doble de lámina y al ubicarla en este sector evitaría largos transportes hasta el otro extremo de del área y así no interferirá con las demás etapas del proceso productivo.

**Figura 41. Distribución del área física de la etapa de soldadura**



Fuente: elaboración propia, noviembre de 2010.

### e) Ubicación y delimitación de los nuevos equipos

Una vez que se ha decidido el área que servirá para la implementación de la célula de manufactura, se procede a definir las dimensiones de cada una de las sub-áreas que componen la etapa. Lo primero que se debe tener en cuenta es el número de operaciones y acciones que se pretenden realizar; para la etapa de soldadura son siete en total, las cuales son: suministro inicial de materia prima en la banda transportadora, soldadura de punto para darle forma al chasis, soldadura de punto para los aditamentos, soldadura de adición, pulido, adición de pernos de sujeción y por último, el almacenamiento del producto terminado.

La longitud en el eje Y con que se cuenta es de aproximadamente 11.50 m; esta longitud resultó corta para la implementación de una banda transportadora lineal que pueda albergar los chasis sin que hayan colisiones entre las operaciones y actividades, por lo

que se propone que la banda transportadora tenga una desviación de 90° hacia la derecha, al final de la línea, con lo que se obtendría un transporte con forma de L; esta determinación es posible ya que se cuenta con un longitud en el eje X de aproximadamente seis (6) metros; esta distancia permitirá albergar esta desviación, ya que es poco lo que se requiere para lograr cumplir con todas operaciones. Además, el sistema de transporte propuesto posee este tipo de atributo de poder formar desviaciones, por lo que no será necesaria una segunda banda para hacer desplazamientos de los chasis en el eje X.

La distribución propuesta entre las trayectorias a lo largo de la banda transportadora se encuentra especificada en la Tabla 20. Estas distancias logran el correcto flujo de las piezas de una operación a otra sin que se presenten colisiones.

**Tabla 20. Distancias de trayectorias en la banda transportadora**

TRAYECTORIA	DISTANCIA APROXIMADA
Almacenamiento-soldadura	1.7 m
Soldadura -soldadura	1.45 m
Soldadura - soldadura de adición	2.17 m
Soldadura de adición - pulido	2.17 m
Pulido – pernos de sujeción	1.72 m
Pernos de sujeción -almacenamiento	2 m

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

Realizadas las especificaciones de las distancias entre las trayectorias de las operaciones, la distribución de los equipos y los requerimientos, se integran todos éstos para conformar la distribución de planta final propuesta con cada una de las consideraciones necesarias para poder implementar una célula de manufactura, como se observa en la Figura 42.

Por último, si se observa la Figura 42, existe un área ubicada en el lado derecho del plano, donde se puede pensar en una posible expansión o la formación de otra célula, la cual contenga una familia de chasis que prescindan de algunas de las operaciones; por el momento se recomienda realizar una reorganización del área y, si es necesario, se puede dejar a disposición los anteriores equipos en esta área para la producción de un nueva referencia de luminaria.



**Figura 42. Definición de la distribución de planta para el escenario A**



























Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

El nuevo diagrama de flujo de proceso y flujograma de proceso del modelo físico propuesto para una célula de manufactura se observa en la Figura 43 y Figura 44 respectivamente.

**Figura 43. Diagrama de flujo de proceso para el escenario A**

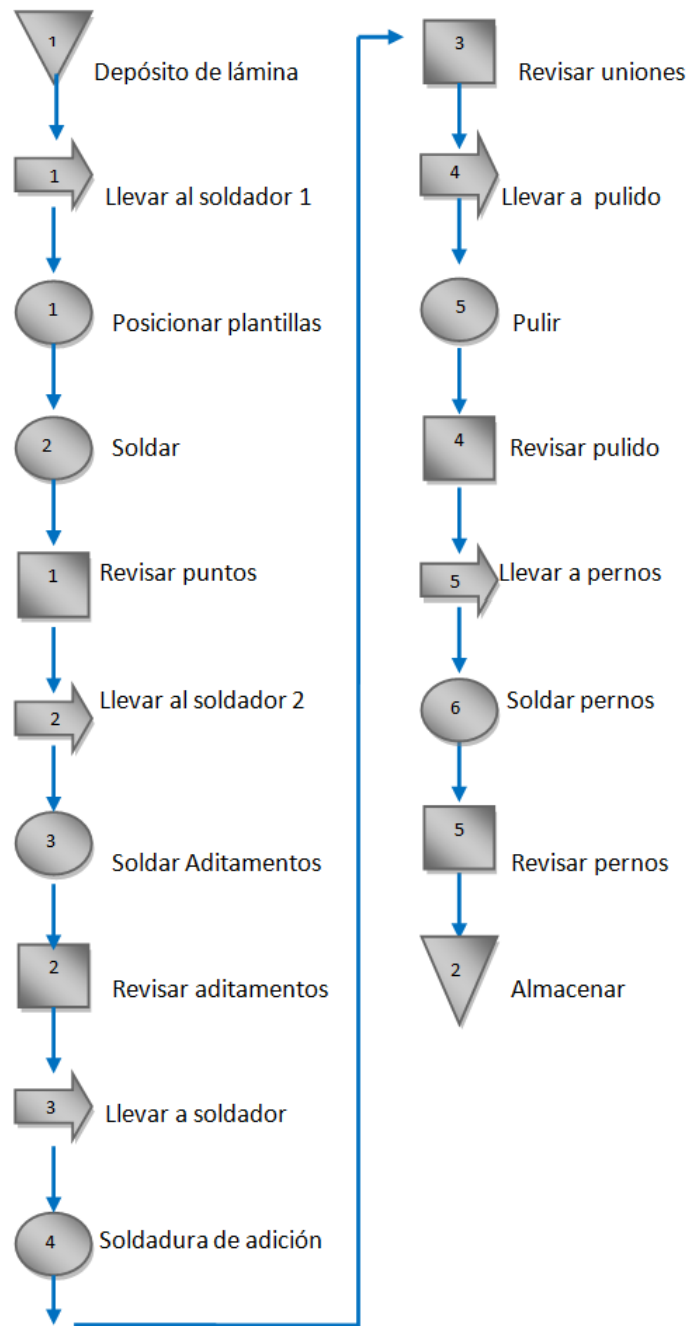
<b>Cursograma Analítico</b>		Material: Lámina de hierro	
<b>Método:</b> propuesto	<b>Actividad</b>		
<b>Lugar:</b> Etapa de soldadura	<b>Operación</b>		
<b>Operarios:</b>	<b>Transporte</b>		
<b>Fecha:</b>	<b>Espera</b>		
<b>Actividad: Escenario A</b>	<b>Almacenamiento</b>		
	<b>Inspección</b>		
	Distancia(metros)		

**Figura 43 (continuación)**

Descripción	Distancia promedio m	Tiempo	Símbolo					Observaciones
								
Depósito de lámina	0	0						
Llevar a soldador 1	1.70	No disponible						
Posicionar plantillas	0	No disponible						
Soldar	0	No disponible						
Revisar puntos	0	No disponible						
Llevarla al soldador 2	2.17	No disponible						
Posicionar aditamentos	0	No disponible						
Soldar aditamentos	0	No disponible						
Revisar aditamentos	0	No disponible						
Llevar a soldador	2.17	No disponible						
Soldadura de adición	0	No disponible						
Revisar uniones	0	No disponible						
Llevar a pulido	1.72	No disponible						
Pulir	0	No disponible						
Revisar pulido	0	No disponible						
Llevar a pernos	2.03	No disponible						
Soldar pernos	0	No disponible						
Revisar pernos	0	No disponible						
Almacenar	2	No disponible						

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Figura 44. Flujoograma de proceso para el escenario A**



Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

## II. ESCENARIO B

### a) Tipo de célula

Para desarrollar el escenario B se debe tener en cuenta las mismas actividades y consideraciones del escenario A, por lo cual se describirán únicamente las actividades donde se presenten cambios debido a la arquitectura física del escenario B, la cual está basada en la de un sistema flexible de manufactura descrita en el numeral 1.6.1 del capítulo uno.

### b) Máquinas, equipos y herramientas

Para el caso de estudio según su proceso productivo es necesario implementar los siguientes grupos de trabajo: estación de soldadura de punto y aditamentos que contiene el equipo predominante del proceso, estación de soldadura de adición de material, estación de pulido y adición de pernos de sujeción y un conveyor para el transporte de materias primas, insumos y productos. Para llevar a cabo la selección de los equipos se tuvo en cuenta el análisis de diferentes criterios de selección de equipos, como se observa en el Anexo 11.

**Tabla 21. Equipos propuestos para el escenario B**

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p data-bbox="548 1373 813 1402">Robot ABB IRB 2400L</p>  The image shows a yellow ABB IRB 2400L industrial robot arm. To the right of the main photograph is a smaller technical diagram of the robot arm, showing its joints and reach. The robot arm is a six-degree-of-freedom (6-DOF) articulated arm with a yellow and grey color scheme.	<p data-bbox="889 1247 1268 1667">Grados de libertad: 6 Alimentación de red: 220,600 VAC, trifásica Capacidad de carga: 18 k Precisión en la repetición: 0.06-0.1 mm. Controlador: M94A-M96 S4, armario de control externo Consumo: 700-1500 vatios Buses de campo: Interbus-S 64/64, Allen Bradley RIO 128/128, ProfiBus DP 128/128, CC Link, DeviceNet Red: Ethernet FTP/NFS</p>

Tabla 21. (Continuación)

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p>Pinza de soldadura para robot ARO 3-GZ</p> 	<p>Tipo: soldadura de punto Alimentación de red: 220,420 V. Golpes por minuto:50 Compatibilidad con ABB Brazos en aluminio Refrigeración: agua Sensores de fuerza integrados Configuración: plug and play</p>
<p>Soldador MIG OTC DAIHEN MIG 135</p> 	<p>Tipo: soldadura MIG Alimentación de red: 220,420 V. Gas. Dióxido de carbono o argón Antorcha con unidad de alimentación de hilo de adición. Control: automático</p>
<p>Lijadora BURT BS220X2000</p> 	<p>Alimentación de red: 400V potencia: 4000W Velocidad de correa: 29m/s( a 50Hz) Longitud de la correa: 0.20 X 2m</p>
<p>Cabeza de soldadura de pernos SOYER SK-5AN</p> 	<p>Alimentación de red: 220,420 V Aire de alimentación 100 psi Compatibilidad con ABB Capacidad: 30 pernos por minuto Rango de Pernos: 3-8 mm de diámetro y 6-40 mm de longitud</p>
<p>Sensor de cortina de luz XU2S18KP340DT</p> 	<p>Sensor: fotoeléctrico, transmisor receptor Tensión de alimentación 12,24 Dc Detección: 70-120cm Consumo de corriente ≤ 35 mA sin carga Conexión eléctrica: 1 conector M12 macho de 4 pines Resistencia a impactos 30 gn</p>

**Tabla 21. (Continuación)**

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
PLC SIEMEN S7 1200 1214c 	Alimentación de red: 85-264 Vac, 47 - 63 HZ, Procesador: CPU 1214 Entradas DC:14 a 24V Salidas a relé: 10 Entradas análogas: 2,0-10Vdc ó 0 - 20mA,
Módulo de comunicación rs 232 	Alimentación de red:24Vdc Consumo de corriente max: 220mA Numero de interfaces: 1 Punto a punto: 10m max.

Fuente: elaboración propia, noviembre de 2010.

**c) Determinación del factor humano**

Debido al tipo de célula propuesta basada en sistema de manufactura flexible, la estimación que se propone para el componente humano en las actividades del proceso involucradas con la etapa de soldadura de chasis de luminarias son (Ver Tabla 22):

**Tabla 22. Estimación de componente humano para escenario B**

ESTACION	EQUIPO	PERSONAL A CARGO
Soldadura de punto y aditamento	ABB IBR 2400L ARO 3-GZ	1 programador supervisor
Soldadura de adición de material	ABB IBR 2400L OTC DAIHEN MIG 135	1 programador supervisor
Pulido y adición de pernos de sujeción	BURT BS220X2000 SOYER SK-5AN	1 programador supervisor
Sistema de transporte	Dorner serie 5200 XU2S18KP340DT SIEMEN S7 1200	0

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**d) Ubicación y delimitación de los nuevos equipos**

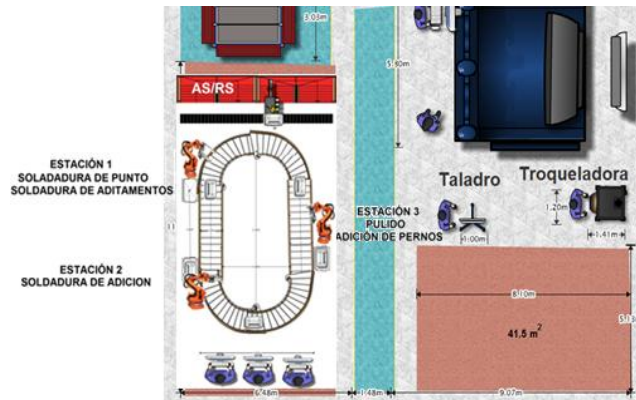
El área con la que se cuenta es la misma dispuesta para el escenario A (ver Figura 41), por lo cual solamente se especificaran las distancias necesarias entre estaciones determinadas por los requerimientos técnicos y operativos de las mismas, teniendo como consideración especial el conveyor de forma de óvalo determinado para el sistema de transporte.

**Tabla 23. Delimitación de equipos para el escenario B**

ESTACION	EQUIPOS	DISTANCIA
Soldadura de punto y aditamento	ABB IBR 2400L ARO 3-GZ	2.7m
Soldadura de adición de material	ABB IBR 2400L OTC DAIHEN MIG 135	3.5m
Pulido y adición de pernos de sujeción	BURT BS220X2000 SOYER SK-5AN	2.7m
Sistema de transporte	Dorner serie 5200 SIEMEN S7 1200	7m x 4m

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

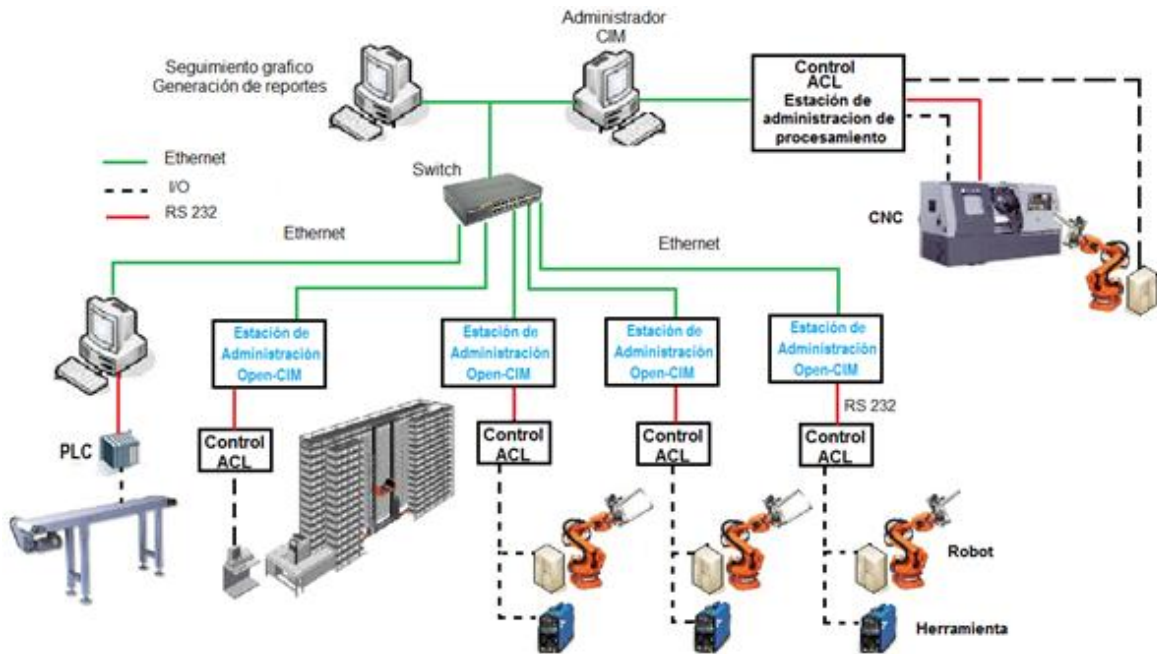
**Figura 45. Definición de la distribución de planta para el escenario B**



Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

Una visión general del modelo físico de una célula de manufactura del escenario B, desde el punto de vista de la integración de los diversos sistemas, dispositivos y máquinas-herramientas que intervienen en ésta, se puede observar en la Figura 46.

**Figura 46. Visión general de comunicaciones entre las estaciones de un sistema de manufactura flexible**



Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

Después de determinar los dos escenarios posibles del diseño de un modelo físico de una célula de manufactura para la etapa de soldadura, cumpliendo con el proceso de diseño descrito en este capítulo, queda especificado y estructurado el primer componente fundamental en el diseño de una célula de manufactura.



## 4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO FÍSICO PROPUESTO PARA LA ETAPA DE SOLDADURA DE CHASIS DE LUMINARIAS

En este capítulo se describirá el proceso de diseño realizado para obtener la representación esquemática del diseño del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura mediante la herramienta software Opencim y su complemento Robocell; además se mostrará el código de programación desarrollado en estas herramientas, para evidenciar el funcionamiento e integridad de la célula en el momento que se realiza una orden de pedido para una determinada familia de chasis de luminarias.

El anexo 12 describe de forma general los componentes y características más generales de la herramienta software Opencim y su complemento Robocell para generar una idea más clara de los alcances de estas herramientas software.

### 4.1 MODELO FÍSICO PROPUESTO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA PARA LA ETAPA DE SOLDADURA DE CHASIS DE LUMINARIAS

En el capítulo anterior se desarrolló y explicó el proceso que se debe realizar para obtener un diseño físico de una célula de manufactura; posteriormente se aplicó este procedimiento al caso de estudio y se obtuvo los siguientes elementos que conforman el diseño físico de la célula de manufactura propuesta, como se describe en la siguiente Tabla 24.

**Tabla 24. Elementos que conforman el diseño físico de la célula de manufactura propuesta para la etapa de soldadura de chasis de luminarias**

ESTACIÓN	EQUIPOS	CONTROL	CONTROLADOR
Soldadura de punto y aditamento	ABB IBR 2400L ARO 3-GZ	Estación de administrador (Opencim software ,red RS232)	Driver ACL (controla robots, cnc, herramientas, equipos)
Soldadura de adición de material	ABB IBR 2400L OTC DAIHEN MIG 135	Estación de administrador (Opencim software, red RS232)	Driver ACL (controla robots, cnc, herramientas, equipos)

**Tabla 24 (continuación)**

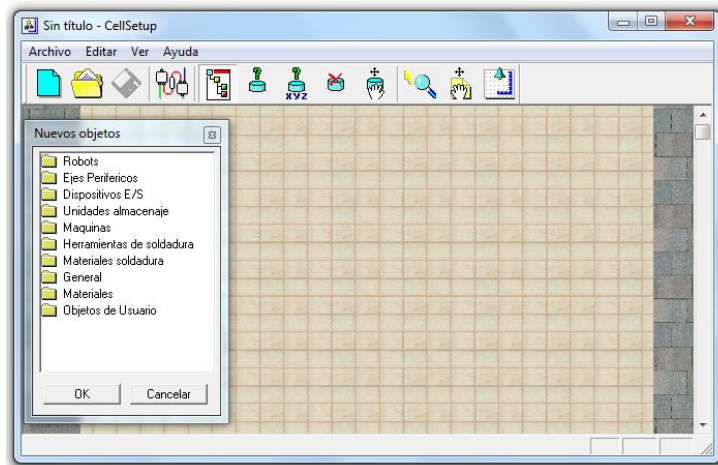
ESTACIÓN	EQUIPOS	CONTROL	CONTROLADOR
Pulido y adición de pernos de sujeción	Beltsander BS220X2000 SOYER SK-5AN	Estación de administrador (Opencim software red RS232)	Driver ACL (controla robots, cnc, herramientas, equipos)
Sistema de transporte	AMBER TR100 LT 123A	PC con software de programación y ejecución de Rockwell	PLC S7 1200 CPU1214C

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

#### 4.1.1 Diseño de la representación esquemática de la estación de soldadura de punto y aditamento

Para proceder a realizar este diseño es necesario abrir Cellsetup de Opencim para realizar el diseño de los elementos físicos que componen esta estación, como se observa en la Figura 47.

**Figura 47. Entorno de trabajo de Cellsetup**

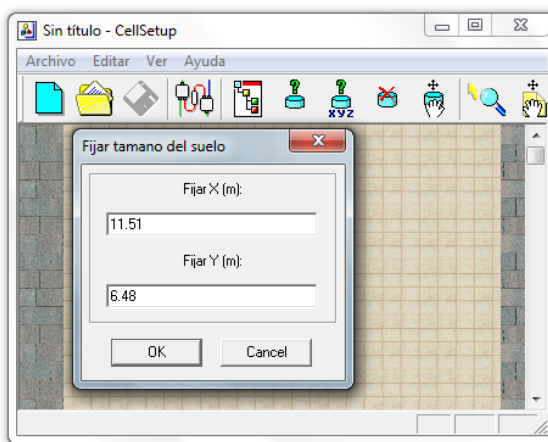


Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

En la interfaz gráfica se habilita una ventana que contiene todos los elementos categorizados en carpetas, indicando qué tipo de elemento se puede utilizar para el diseño como por ejemplo: robots, ejes periféricos, dispositivos de entrada y salida, unidades de almacenaje, máquinas, herramientas de soldadura, materiales de soldadura, materiales generales y objetos de usuario, permitiéndonos desarrollar una amplia gama de diseños físicos con diferentes elementos para cualquier célula de manufactura.

Lo primero que se define es el área con que se cuenta en la planta, como se especificó en el numeral 3.4.4 del capítulo 3; esta área la definimos mediante la opción de medidas de piso de planta presente en OpenCim, como se observa en la siguiente Figura 48,

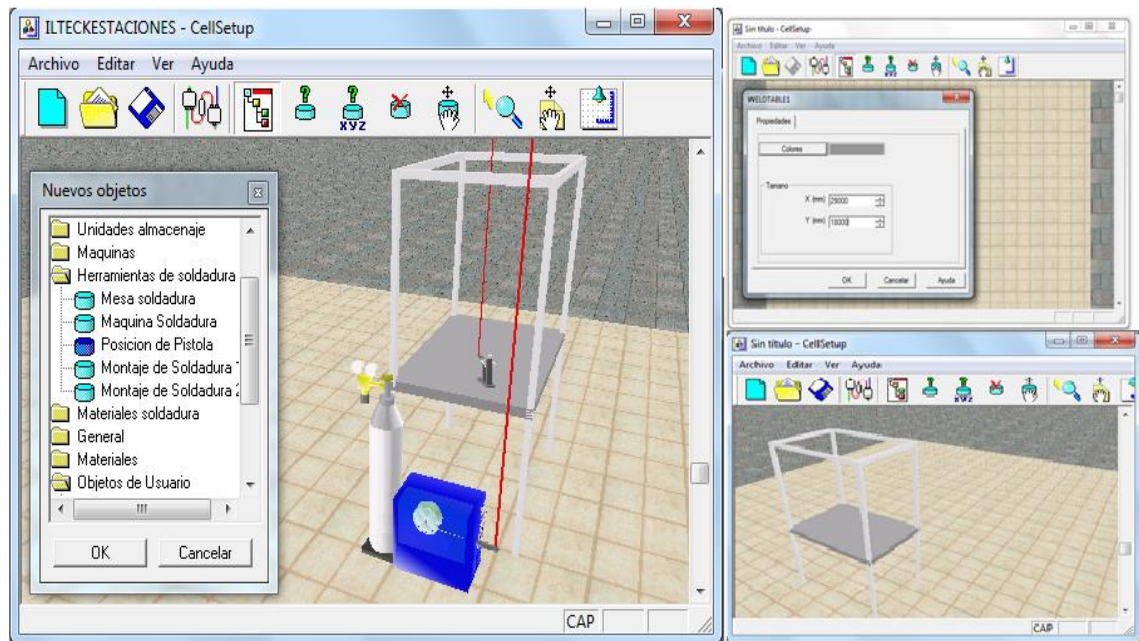
**Figura 48. Definición del área en la planta requerida por el modelo físico propuesto**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

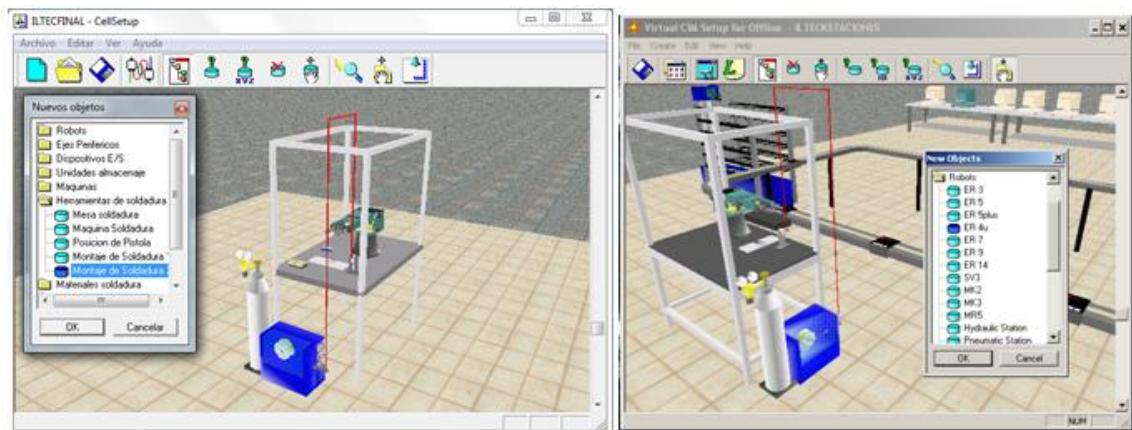
Después de haber definido el área necesaria en la planta, se procede a definir el tamaño necesario del soporte para la estación de soldadura, además del equipo necesario de soldadura de punto (*ABB IBR 2400L*) y adición (*ARO 3-GZ*) en su representación física, como se observa en la Figura 49, y posteriormente el procedimiento para acoplar el robot encargado de esta estación, como se observa en la Figura 50.

**Figura 49. Definición de dimensiones del equipo de soldadura y soporte**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

**Figura 50. Robot para la estación de soldadura de punto y aditamento**



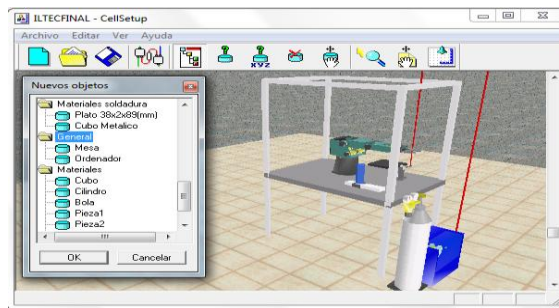
Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

De esta manera queda representada esquemáticamente la primera estación denominada estación de soldadura de punto y adición en su aspecto físico; posteriormente se realizará la implementación del código para su operación.

#### 4.1.2 Diseño de la representación esquemática de la estación de soldadura de adición

El diseño de esta estación se basa formalmente en la estación de soldadura de punto y aditamento, por lo cual no se especificará el procedimiento básico de establecimiento de las dimensiones del soporte y el robot del numeral 4.1.2 de este capítulo; sólo se mostrará el establecimiento del equipo que permite realizar la operación de adición, como se observa en la Figura 51 y la Figura 52.

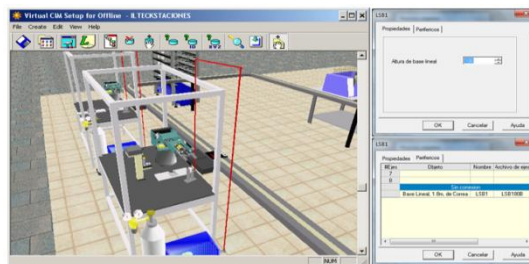
**Figura 51 Definición del elemento de soldadura de adición**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

La Figura 52 evidencia la configuración de las propiedades de dimensión del nuevo elemento (OTC DAIHEN MIG 135) y su relación en la estación con el robot y los materiales.

**Figura 52. Estación de soldadura de adición**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

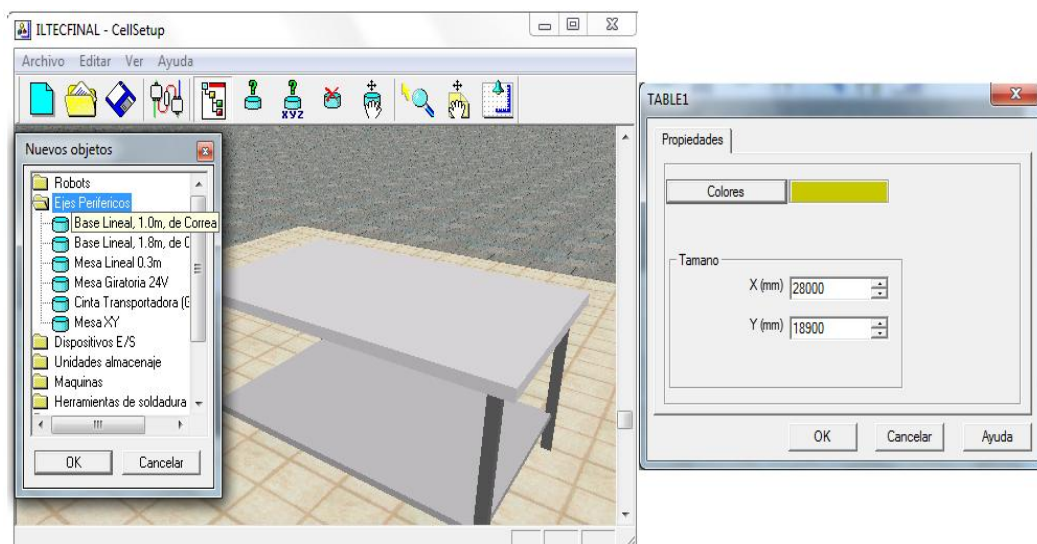
Mediante el anterior procedimiento de diseño queda representada esquemáticamente la segunda estación denominada estación de soldadura de adición en su aspecto físico, posteriormente se realizara la implementación del código para su operación.

#### 4.1.3 Estación de pulido y adición de pernos de sujeción

El procedimiento de diseño de esta estación es similar a las dos estaciones anteriores; sin embargo, se desarrollará el procedimiento general como se describe a continuación:

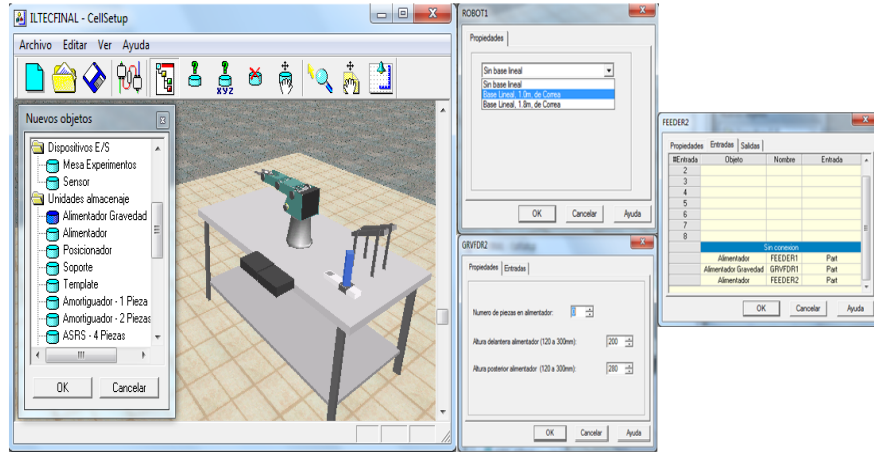
Primero se procede a definir la dimensión de la base o mesa donde estarán instalados los equipos, como se observa en la Figura 53; posteriormente se define y acopla el robot encargado de manipular los elementos y equipos de la estación y se definen las herramientas necesarias, como se observa en la Figura 54, y por último se adiciona el equipo de pulido configurando sus dimensiones y relaciones con el robot y herramientas, como se observa en la Figura 55.

**Figura 53. Definición de la base para la estación de pulido y adición de pernos de sujeción**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

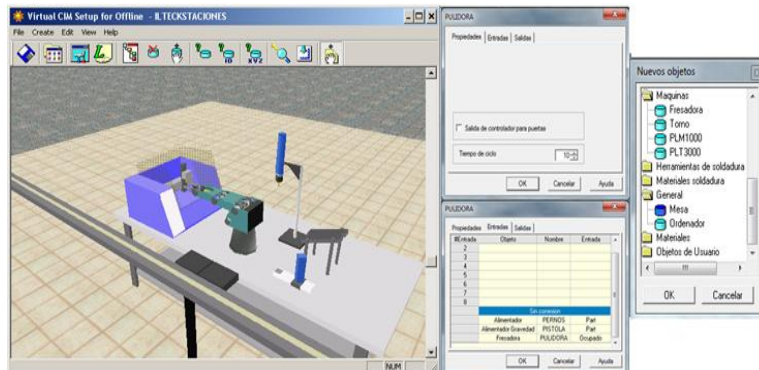
**Figura 54 Definición del robot y herramientas de la estación de pulido y adición de pernos de sujeción**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

En la Figura 54 se observa que es necesario definir las características y propiedades de las herramientas para dimensionar su representación esquemática física, además de considerar las entradas y las salidas de las herramientas de la estación para relacionarlas con el robot y la pulidora.

**Figura 55. Definición del equipo de pulido para la estación de pulido y adición de pernos de sujeción**

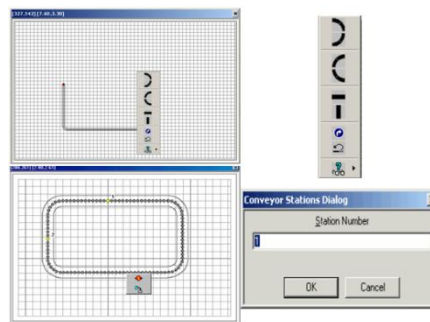


Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

#### 4.1.4 Estación del sistema de transporte

Para el diseño de esta estación, se procedió a diseñar la forma del conveyor mediante una interfaz gráfica intuitiva desarrollada por Opencim, mediante formas básicas de rectas, curvas y herramientas de giro, permitiendo definir sus dimensiones y el lugar determinado de la estaciones, como se observa en la siguiente Figura.

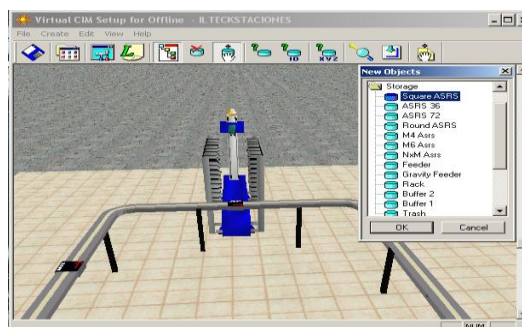
**Figura 56. Diseño del conveyor del modelo físico de la célula de manufactura propuesta**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

Después de haber definido el conveyor con la respectiva definición de la ubicación de las 4 estaciones, se procede a diseñar el sistema de carga y descarga de materiales y piezas/parte como se observa en la Figura 57.

**Figura 57. Definición del sistema de carga/descarga de materiales y piezas/partes.**

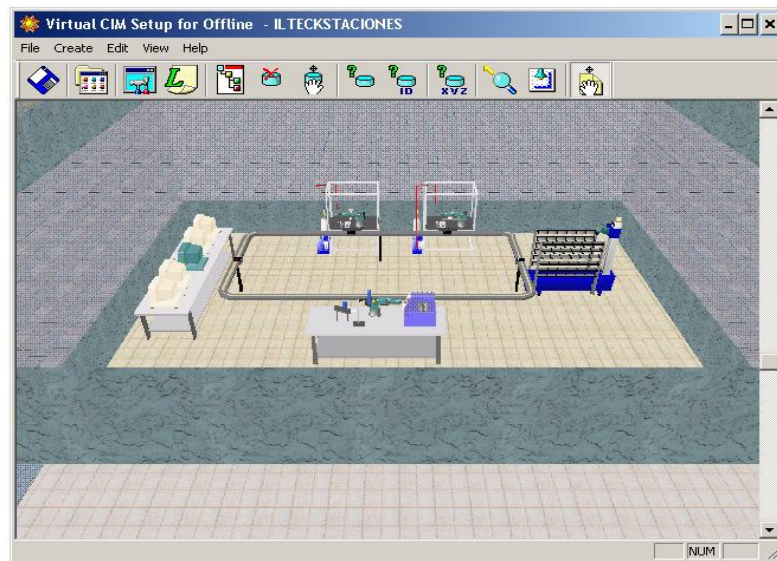


Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.



Con lo anteriormente expuesto queda definido la representación esquemática del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura mediante la herramienta software OpenCim de Intellitek, orientada hacia una célula de manufactura flexible cumpliendo con todas las especificaciones establecidas en el proceso de diseño descrito en el capítulo 3, como se observa en la Figura 58.

**Figura 58. Representación esquemática del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura**



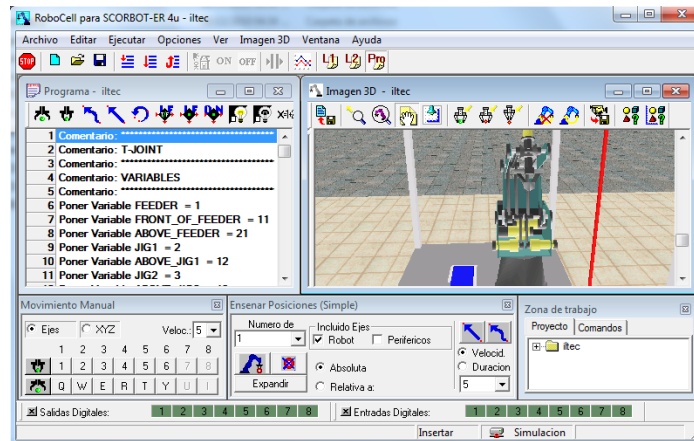
Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

## 4.2 PROGRAMACIÓN DE LAS ESTACIONES DE SOLDADURA

En esta sección se describirá un pequeño código de programación para ejecutar la operación de soldadura de punto y adicción para la producción de un chasis de luminaria determinado, el cual programará los movimientos del robot para manipular los equipos de la estación de soldadura.

Robocell permite un entorno de trabajo un poco complejo, pero tiene a disposición todas las herramientas necesarias para llevar a cabo la programación de los movimientos de un robot según lo deseado, como se observa en la Figura 59, mediante la opción de movimiento manual de las articulaciones del robot o enseñándole posiciones simples para a partir de éste realizar el código de programación.

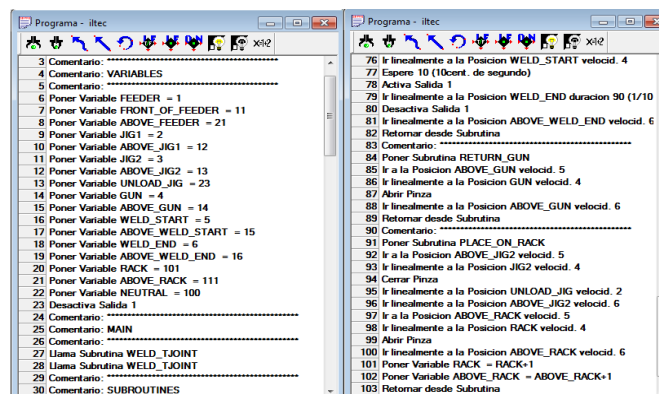
Figura 59. Entorno de trabajo en Robocell



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

La programación para realizar las operaciones de la estación de soldadura de punto y aditamento y la estación de soldadura de adición se puede observar en la Figura 60, donde está desarrollado todo el código y las subrutinas necesarias para cumplir con las tareas de la estación determinando las trayectorias lineales, trayectorias curvas y la acción de abrir y cerrar pinza del robot.

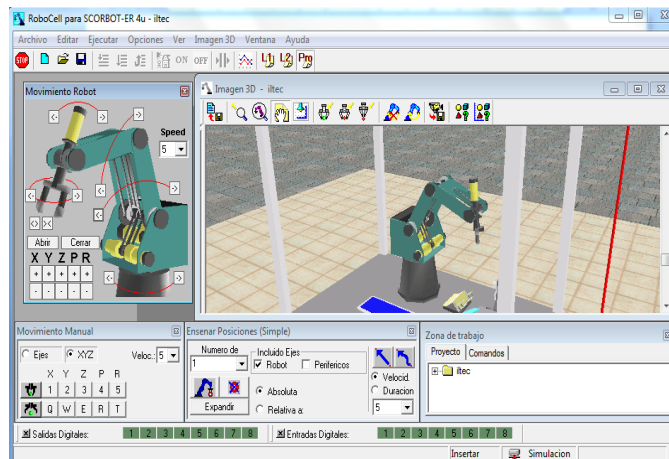
Figura 60. Programación de la estación de soldadura de punto y aditamento y la estación de adición.



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

Después de ejecutar el código anterior ya queda realizada la programación para ejecutar las operaciones de esta estación mediante el modo de simulación 3D que ofrece la herramienta software Robocell, como se observa en la Figura 61.

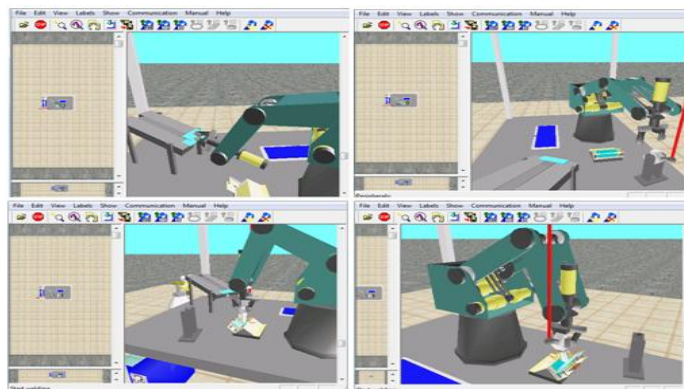
**Figura 61. Modo simulación 3D para la estación de soldadura de punto y adición**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”:

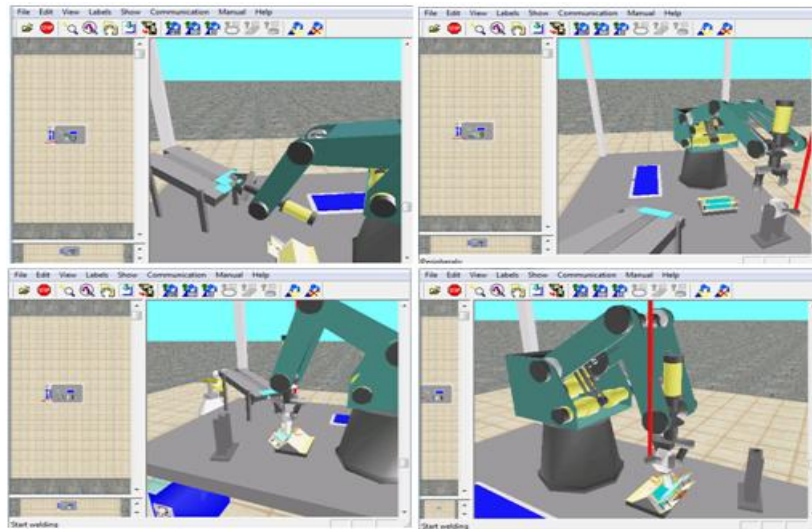
Los procesos de soldadura de punto se puede observar en la Figura 62 y el proceso de soldadura de adición se puede observar en la Figura 63, permitiendo realizar un seguimiento virtual del comportamiento de las estaciones.

**Figura 62 Proceso de soldadura de punto**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

**Figura 63 Proceso de soldadura de adición**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

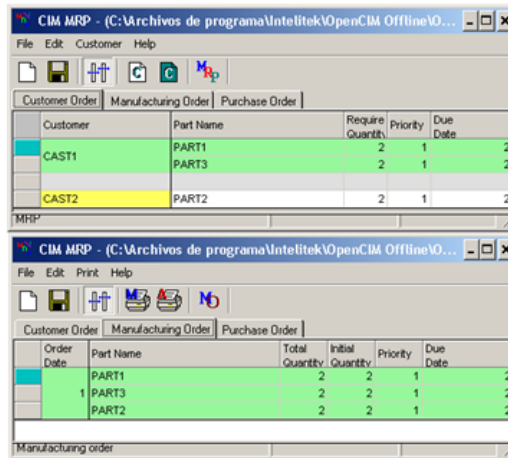
**Nota:** Los tiempos estimados de operación de máquina corresponden a los tiempos reales tomados del levantamiento de información de ILTEC S.A, ya que no es factible tomar los tiempos de operación de los equipos propuestos implementada la célula de manufactura.

### 4.3 REALIZACIÓN DE UNA ORDEN DE PRODUCCIÓN

La herramienta software Opecim permite simular una de orden de producción mediante su módulo de MRP (*Material requirements planning*), para el caso de estudio se simuló una orden de producción para una familia de chasis de la siguiente forma:

- Primero se simula una orden de pedido por un cliente, determinando la familia de chasis de luminaria, la cantidad y la referencia deseada; después se realiza la orden de manufactura especificando el nombre del chasis, la cantidad y la prioridad de producción con base en la orden de pedido por el cliente; y por último se realiza la orden de compra de la materia prima e insumos necesarios para la producción de la familia de chasis; todo este procedimiento se puede observar en la Figura 64.

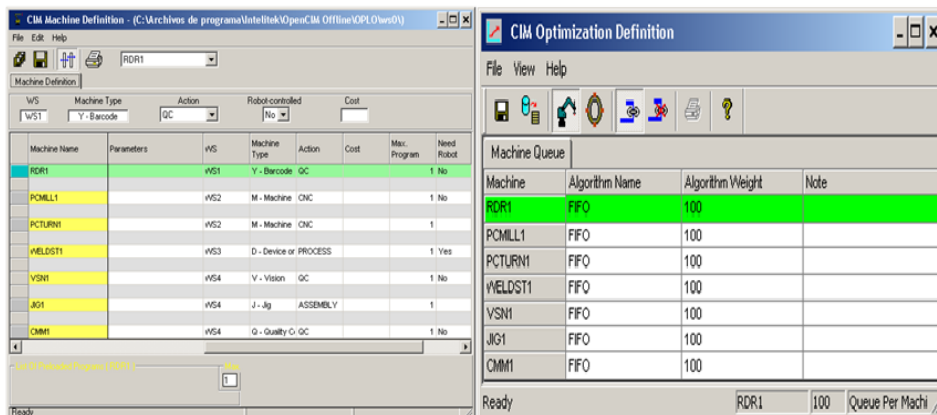
**Figura 64. Realización de una orden de producción**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

- Después de haber realizado la orden de producción de una determinada familia de chasis es necesario definir las máquinas y robots necesarios para producir la familia determinada, asignando específicamente las operaciones realizadas por cada uno de los equipos, máquinas, herramientas y robots; esta configuración se puede observar en la Figura 65.

**Figura 65. Definición de las máquinas y equipos**



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

- Por último después de haber realizado la orden del pedido, como la orden de manufactura y la definición de las máquinas equipos, herramientas, se procede a definir las partes que conforman el chasis de la luminaria, especificando las partes, siendo ésta la materia prima principal, las subpartes, los aditamentos, el tiempo estimado para la realización de cada operación y la secuencia específica de las operaciones en cada estación, para la obtención del producto deseado, como se muestra en la Figura 66.

**Figura 66. Definición de las partes del chasis de luminarias**

The screenshot shows the 'CIM PART DEFINITION' software window. The title bar indicates the file path: 'C:\Archivos de programa\Intelitek\OpenCIM Offline\OPL0\ws0\'. The interface includes a menu bar (File, Edit, Help), a toolbar with icons for file operations, and a dropdown menu showing 'PART1' and '6'. Below this are tabs for 'Supplied Parts', 'Product Parts', and 'Phantom Parts'. The main area contains a table with the following data:

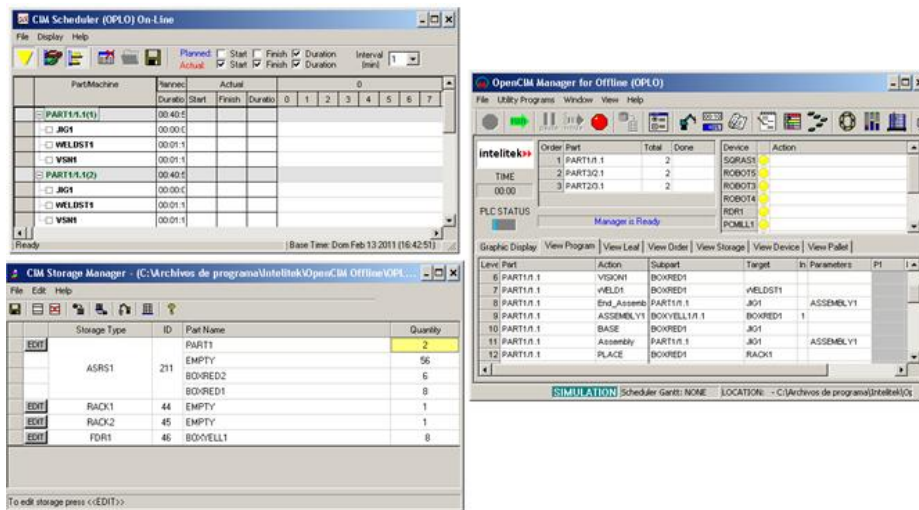
Part Name	Part ID	Subpart	Process	Parameters	Sequence
PART1	6	BOXRED1			T
		BOXYELL1	ASSEMBLY1		T
		WELD1			T
		VISION1			T
		PHANTOM1	ONFAIL	TRASH1	T
PART3	8	BOXRED2	TURN1		T
			CMM		T
		PHANTOM2	ONFAIL	ASRS1	T
PART2	7	BOXRED2	MILL1		T
			CMM		T

Below the table, there is a 'PART1 details' section with fields for 'Template Type' (01), 'Rack/Feeder' (with a plus sign and dropdown), and 'Color' (red). The status bar at the bottom shows 'Ready'.

Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en "OpenCim".

Como herramientas adicionales, el software Opencim facilita los módulos de análisis de desempeño, el módulo de calendario y el módulo de administrador y almacenamiento, para realizar un respectivo seguimiento de todas las características e información relevante de producción, presentes en la célula de manufactura cuando se encuentra en operación; estos módulos se pueden observar en la Figura 67.

Figura 67 Herramientas adicionales de la manufactura integrada por computador



Fuente: Elaboración propia septiembre de 2010, con base en “OpenCim”.

Al culminar todas las actividades descritas en este capítulo, se obtiene la representación esquemática del modelo físico de una célula de manufactura, mediante una herramienta software que facilita el análisis de la integridad conceptual de la célula, para ser contrastada con el modelo físico propuesto en el capítulo 3.

## CONCLUSIONES

El proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura generado en este documento, permite ser tomado como guía general, logrando brindar una ayuda metódica para la determinación del componente físico de una célula de manufactura de cualquier tipo de arquitectura o proceso de aplicación.

En el desarrollo del modelo físico de una célula de manufactura, se logró definir la célula como una estructura organizacional que puede planificar, gestionar y controlar las operaciones de un proceso productivo. Donde el éxito de esta estructura radica en encontrar las familias adecuadas y determinar el equipo apropiado, para lograr explotar las semejanzas y similitudes de diseño de las piezas/partes, flujo de proceso y flujo de materiales con el fin de lograr un proceso de producción eficiente y caracterizado para un universo piezas/partes.

Se definió específicamente dos fases principales en el diseño del modelo físico de una célula de manufactura denominadas: diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura, en donde se considera la colección de piezas/partes y equipos; y la planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura, que determina el área del espacio físico requerido por el modelo físico de la célula, así como su ubicación y delimitación, para agrupar las actividades, etapas y procedimientos fundamentales para generar un modelo físico sólido.

Al diseñar el modelo físico de una célula de manufactura es relevante iniciar con la recolección de toda la información relacionada con las funciones y características involucradas, desde la concepción de un producto hasta su culminación mediante formatos y diagramas que faciliten la tarea de recolección de la información más relevante. Por eso, es necesario guiarse por el análisis de flujo de proceso y flujo de material, para lograr desglosar todas las acciones relacionadas con la manufactura de una pieza/parte, desde su estado inicial hasta que culmina su elaboración, permitiendo centrar de forma práctica toda la información de las operaciones, transportes, inspecciones y almacenamientos relacionados con la pieza/parte o producto.

Para la realización del diagrama de flujo de materiales y el análisis de la ubicación y delimitación del área física, se recomienda el uso de herramientas gráficas que permitan establecer los mímicos de los equipos existentes y las rutas de proceso relacionando las dimensiones, la distribución de planta y factor humano que puede intervenir en el proceso.



Las herramientas software de diseño 3D permiten realizar representaciones virtuales de los modelos físicos propuestos, con el propósito de evaluar la integridad y el comportamiento de los equipos, máquinas-herramientas y sistemas de transporte en un ambiente simulado, permitiendo efectuar rediseños y cambios si es necesario mediante una interfaz dinámica conformada por módulos de programación, diseño y seguimiento de la célula de manufactura en modo de operación offline; sin embargo, los resultados obtenidos en la etapa final de este proyecto no llevan a decretar resultados verídicos del desempeño de producción del modelo físico propuesto, debido a la carencia de información real del comportamiento de las estaciones propuestas; pero permitió observar a cabalidad la representación esquemática del modelo físico propuesto simulando un orden de producción de una familia de chasis resultante.

Encontrar las familias resultantes del universo de piezas/partes adecuadas y determinar el equipo tecnológico apropiado son elementos importantes para el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura. Sin embargo, para que funcione este modelo físico también se debe considerar la infraestructura de la empresa, es decir, los numerosos subsistemas utilizados para planificar, gestionar y controlar las operaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Historia Tecnológica.  
<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion>  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [2]. Museo de la Máquina Herramienta.  
<http://www.museo-maquina-herramienta.com>  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [3]. C. Chang, M. Melkanoff, *CN Machine Programming and Software Desin*  
Oxford : Prentice Hall. 1992.
- [4]. Mecánica y Control Numérico.  
[http://www.sitenordeste.com/mecanica/control\\_numerico.htm](http://www.sitenordeste.com/mecanica/control_numerico.htm)  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [5]. M. Groover, *Automatización, Sistemas de Producción y Manufactura Integrada por Computador*. USA: New York, Prentice Hall. 1993.
- [6]. J. Bollinger, N. Duffie, *Computer Control of Machines and Processes*. London, Addison-Wesley publishing Co, Reading. 1990.
- [7]. Tendencias del Control Numérico.  
<http://members.fortunecity.es/armandor/elcontro.htm>  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [8]. S. Schmid, S. Kalpakjian, *Manufactura: Ingeniería y Tecnología*. México: México DF, Prentice Hall. 2001.
- [9]. C. Gallagher, W. Knight, *Group Technology*. London, Butterworth & Co .1987.
- [10]. P. Aznar, C. Carmona, *Sistemas Integrados De Fabricación*. España: Barcelona, Universidad de Barcelona. 2006
- [11]. A. Houtzeel, *The Many Faces of Group Technology*. American Machinist.1986.

- [12]. C. Snead, *Group Technology: Foundation for Competitive Manufacturing*. New York. 1990.
- [13]. I. Ham, K.Hitomi and T. Yoshida, *Group Tecnology*. Hingham, Kluwer Nijhoff Publishers.1989.
- [14]. J. Black, *An Overview of Cellular Manufacturing Systems and Comparison to Conventional Systems*. Industrial Engineering. 1989.
- [15]. *Gerencia Industrial*.  
<http://www.gerenciaindustrial.com/ampliarNota.php?id=133>.  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [16]. W. Luggen, *Manufacturing Cells and Systems*. New Jersey, Prentice Hall. 1991.
- [17]. J. Black, *Factory with a Future*, New York, McGraw-Hill Book Co. 1992.
- [18]. F. Choobineh and R. Suri, *Flexible Manufacturing Systems: Current Issues and Models*, Norcross, Institute of Industrial Engineers. 1996.
- [19]. A. Kamrani and K. Hubbard, *Simulation based math methodology for machine cell desing*. Computers & Industrial Engineering. 1999.
- [20]. F. Masmoudi, *Sizing manufacturing cell machines based on the simulation and an expert system*. Chicago, Institute J of simulation modeling math. 2005.
- [21]. G. Habchi and C. Berchet, *Simulation Modelling Practice and Theory: A model for manufacturing systems simulation with a control USA*: New York. Prentice Hall. 2002.
- [22]. E. Chacon, I. Victoria, K. Rossa y O.rojas, *Aplicación del estándar ISA88 en el modelado del proceso de producción de azúcar en un central azucarero*. San Cristobal Venezuela 7<sup>th</sup> Latin American Conference for Engineering and Technology, Junio 2009,
- [23]. J. Villalobos y G. Mejia, *Redes Y Algoritmos Genéticos: Una propuesta para la programación de sistemas de manufactura flexible*. Pontificia Universidad Javeriana. 2006.