

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

## **ANEXOS**



**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 FÍSICO DE UNA CÉLULA DE MANUFACTURA**

## **ANEXOS**



**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**

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| ANEXO 1. FUNDAMENTOS DE LAS CÉLULAS DE MANUFACTURA .....   | 1  |
| 1.1    MANUFACTURA.....  | 1  |
| 1.2    PROCESOS DE MANUFACTURA .....   | 1  |
| 1.3    SISTEMAS DE MANUFACTURA .....   | 3  |
| 1.3.1    Actividades de diseño para los sistemas de manufactura .....  | 3  |
| 1.3.2    Actividades de planeación y control de los sistemas de manufactura.....                                 | 4  |
| 1.3.3    Control de la manufactura.....  | 4  |
| 1.3.4    Funciones en los procesos de manufactura .....  | 5  |
| 1.4    PROCESOS DE MANUFACTURA CONVENCIONALES .....  | 6  |
| 1.4.1    Diseño del proceso de manufactura teniendo en cuenta el volumen .....                                   | 6  |
| 1.4.2    Sistemas de apoyo a la manufactura.....   | 8  |
| ANEXO 2. METODOLOGÍAS REFERENTE AL DISEÑO DE CÉLULAS DE MANUFACTURA.....   | 9  |
| 2.1    METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA .....  | 9  |
| 2.2    METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FLUJO DE PRODUCCIÓN.....   | 10 |
| 2.3    METODOLOGÍA POR FORMACIÓN DE CÚMULO.....  | 11 |
| 2.4    METODOLOGÍA DE DISEÑO BASADA EN SIMULACIÓN .....  | 12 |
| ANEXO 3. ESTÁNDAR ISA 88 .....   | 14 |
| 3.1    MODELO FÍSICO.....  | 14 |
| 3.2    MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS.....  | 15 |
| 3.3    MODELO DE PROCESO.....  | 16 |
| 3.4    APLICACIÓN DEL ESTANDAR ISA88 PARA EL ESCENARIO A.....  | 17 |
| 3.5    MODELO DE SEGMENTO DE PROCESO .....   | 22 |
| 3.5.1    Especificación de las reglas de producción y de la lista de recursos .....                              | 22 |
| 3.5.2    Formula del Récipe Maestro para la etapa de soldadura de chasis para la familia 1 de piezas/partes..... | 22 |
| 3.5.3    Lista de recursos.....  | 23 |
| ANEXO 4. FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....   | 25 |
| ANEXO 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS .....   | 27 |
| 5.1    CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....  | 27 |
| 5.2    COSTOS .....  | 28 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.3    | RELACIÓN CON PROVEEDORES .....   | 28 |
|        | ANEXO 6. TIPOS DE LUMINARIAS ELABORADAS POR ILTEC .....                        | 29 |
|        | ANEXO 7. ABREVIACIÓN DE LAS REFERENCIAS DEL UNIVERSO TOTAL DE LUMINARIAS ..... | 33 |
|        | ANEXO 8. SUBDIVISIÓN DEL UNIVERSO DE LUMINARIAS .....                          | 36 |
|        | ANEXO 9. SIMILITUD DE LAS RUTAS DE PROCESO .....                               | 39 |
|        | ANEXO 10. CLASIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN POR MEDIO DEL CÓDIGO OPITZ .....        | 41 |
|        | ANEXO 11. FAMILIAS RESULTANTES PARA REDISEÑAR .....                            | 43 |
|        | ANEXO 12. CRITERIOS DE SELECCIÓN APLICADOS A LOS ESCENARIOS PROPUESTOS.....    | 46 |
|        | ANEXO 13. HERRAMIENTA SOFTWARE OPENCIM .....                                   | 59 |
| 13.1   | OPENCIM.....   | 59 |
| 13.1.1 | Componentes fundamentales de Opencim.....                                      | 59 |
| 13.2   | ROBOCELL.....  | 60 |
| 13.2.1 | Componentes fundamentales de Robocell .....                                    | 60 |
| 13.3   | GUÍA DE MANEJO BÁSICO DE OPENCIM .....   | 61 |
| 13.3.1 | Instalación del software OpenCim .....   | 61 |
| 13.3.2 | Manejo básico OpenCIM.....   | 61 |
|        | BIBLIOGRAFÍA .....   | 77 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Concepto de manufactura .....  | 2  |
| Figura 2. Diagrama de los Sistemas de Manufactura.....   | 3  |
| Figura 3. Diagrama de actividades de diseño.....   | 4  |
| Figura 4. Diagrama de actividades de planeación y control .....  | 5  |
| Figura 5. Entradas, salidas y operaciones típicas de un proceso de manufactura .....   | 6  |
| Figura 6. Modelo Físico.....   | 14 |
| Figura 7. Modelo de Control de Procedimientos .....  | 15 |
| Figura 8. Modelo de Proceso .....  | 16 |
| Figura 9. Control de Procedimiento/Equipo mapeo para lograr la funcionalidad del proceso .....   | 17 |
| Figura 10. Modelo físico para el proceso productivo de chasis de luminarias, para el escenario A.18                                      |    |
| Figura 11 Modelo físico, para la unidad D del proceso productivo de chasis de luminarias, para el escenario A .....                      | 19 |
| Figura 12. Modelo de control de procedimiento para el proceso productivo de chasis de luminarias del escenario A .....                   | 21 |
| Figura 13. Modelo de control de procedimiento para la unidad D, para el proceso productivo de chasis de luminarias, del escenario A..... | 22 |
| Figura 14. Luminarias de sobreponer .....  | 29 |
| Figura 15. Luminarias De Incrustar.....  | 30 |
| Figura 16. Luminarias De Incrustar.....  | 30 |
| Figura 17. Luminarias Apliques.....  | 31 |
| Figura 18. Luminarias Balas .....  | 31 |
| Figura 19. Luminarias Cielos .....   | 32 |
| Figura 20. Representación gráfica de acuerdo con la forma geométrica del chasis de las luminarias .....                                  | 36 |
| Figura 21. Creación de un proyecto.....  | 62 |
| Figura 22. Lanzar modulo CIM Setup .....   | 62 |
| Figura 23. Modulo CIM Setup .....  | 63 |
| Figura 24. Componentes del modulo <i>New Object</i> .....  | 63 |
| Figura 25. Configuración de un objeto .....  | 64 |
| Figura 26. Entorno de diseño del Conveyor .....  | 65 |
| Figura 27. Asignación y orden de las estaciones .....  | 65 |
| Figura 28. Configuración del área.....   | 66 |
| Figura 29. Estación de recuperación y almacenamiento .....   | 66 |
| Figura 30. Estación de soldadura .....   | 67 |
| Figura 31. Ambiente de conexiones del robot .....  | 68 |
| Figura 32. Entorno de conexiones entre elementos de la estación .....  | 68 |
| Figura 33. Estaciones de trabajo y administrador CIM .....   | 69 |
| Figura 34. Célula de manufactura propuesta y paquete de archivos de lectura .....  | 69 |
| Figura 35. Lanzar modulo CIM Manager .....   | 70 |
| Figura 36. Modulo CIM Manager .....  | 70 |

Figura 37. Utility programs CIM Setup .....71  
Figura 38. Modulo Machine Definition .....71  
Figura 39. Modulo MRP .....72  
Figura 40. Customer Order .....72  
Figura 41. Manufacturing Order .....73  
Figura 42. *Purchase Order*.....73  
Figura 43. Modulo Part Definition .....74  
Figura 44. Supplied Parts.....74  
Figura 45. Product Parts .....75  
Figura 46. Modulo Storage Manager .....76  
Figura 47. Modulo Storage Manager y Storage Definition.....76

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación general de los procesos de manufactura .....   | 2  |
| Tabla 2. Modelo de proceso para la unidad D, para el proceso productivo de chasis de luminarias, del escenario A .....            | 20 |
| Tabla 3. Lista de responsables .....  | 23 |
| Tabla 4. Formato de recolección de información de diseño .....  | 25 |
| Tabla 5. Formato de recolección de información de proceso y producción .....  | 25 |
| Tabla 6. Abreviación de referencias del universo total de luminarias .....  | 33 |
| Tabla 7. Subdivisión enfocada hacia al diseño existente de chasis de luminarias .....   | 36 |
| Tabla 8. Operaciones realizadas en los chasis de luminarias del universo seleccionado basado en diagrama de flujo de proceso..... | 39 |
| Tabla 9. Aplicación del código OPITZ para el universo de chasis de luminarias para la etapa de soldadura.....                     | 41 |
| Tabla 10. Familia 4.....  | 43 |
| Tabla 11. Familia 5.....  | 43 |
| Tabla 12. Familia 6.....  | 44 |
| Tabla 13. Familia 7.....  | 44 |
| Tabla 14. Familia 8.....  | 44 |
| Tabla 15. Familia 9.....  | 45 |
| Tabla 16. Equipos analizados para la selección del escenario Ay B.....  | 46 |
| Tabla 17. Criterios de características técnicas fundamentales para la selección de un equipo para el escenario A .....            | 52 |
| Tabla 18. Criterios de costos para la selección de un equipo para el escenario A .....  | 52 |
| Tabla 19. Criterios de relación con proveedores para la selección de equipo para el escenario A ..                                | 53 |
| Tabla 20. Criterios de características técnicas fundamentales para la selección de un equipo para el escenario B .....            | 53 |
| Tabla 21. Criterios de costos para la selección de un equipo para el escenario B .....  | 54 |
| Tabla 22. Criterios de relación con proveedores para la selección de equipo para el escenario B ..                                | 55 |
| Tabla 23. Comparación de la capacidad de producción de máquinas-herramientas propuestas para el escenario A .....                 | 57 |
| Tabla 24. Comparación de la capacidad de producción de máquinas-herramientas propuestas para el escenario B .....                 | 57 |

## **ANEXO 1. FUNDAMENTOS DE LAS CÉLULAS DE MANUFACTURA**

En este anexo se da a conocer la información más básica que se debe considerar para el diseño de una célula de manufactura, complementado los diferentes conceptos involucrados en la manufactura con la tendencia actual de los sistemas de producción.

### **1.1 MANUFACTURA**

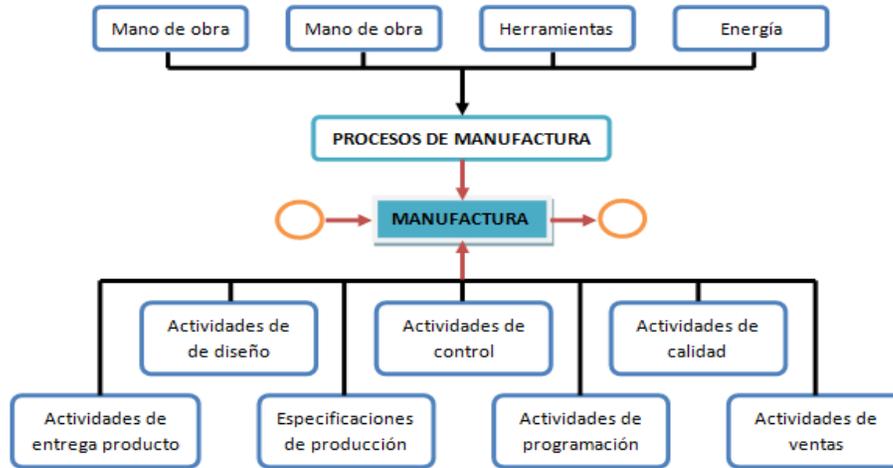
El origen de la palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (manos) y factus (hacer); esta combinación de términos significa hacer con las manos. El concepto de manufactura en el campo de estudio moderno; puede definirse en el campo tecnológico y económico; en el campo tecnológico es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados mediante máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. En el campo económico es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones o procesos agregando valor al material original, cambiando su forma o propiedades. [1]-[2]

En la actualidad, hay que relacionar: actividades de diseño, actividades de especificación de la producción, actividades de control, actividades de calidad, actividades de programación, actividades de entrega del producto y actividades de ventas, considerando la integración de todas estas actividades en los sistemas de información del proceso productivo para entender el concepto de manufactura que se maneja hoy por hoy en los sistemas producción con enfoque flexible (ver Figura 1).

### **1.2 PROCESOS DE MANUFACTURA**

Los procesos de manufactura son las actividades de manufactura que tienen como objetivo fundamental obtener piezas de una configuración geométrica requerida y acabado deseado, de acuerdo con las especificaciones requeridas por el cliente [3]; se clasifican como se muestra en la Tabla 1:

**Figura 1. Concepto de manufactura**



Fuente: Elaboración propia, febrero de 2010, con base en “Origins of Industrial Engineering”. [1]

**Tabla 1. Clasificación general de los procesos de manufactura**

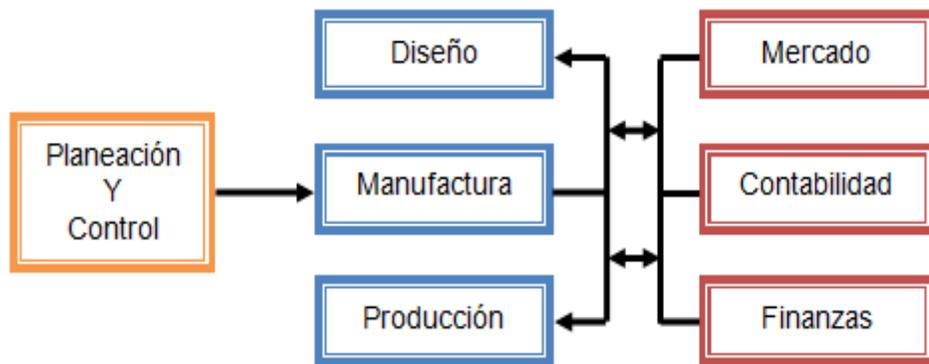
| TIPOS DE PROCESO   | CARACTERÍSTICAS  |
|--|--|
| Procesos que cambian la forma del material.                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metalurgia extractiva.</li> <li>• Fundición.</li> <li>• Formado en frío y caliente.</li> <li>• Moldeo de plástico.</li> </ul> |
| Procesos que provocan desprendimiento de viruta por medio de máquinas. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos de maquinado convencional.</li> </ul>   |
| Procesos que cambian las superficies.                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con desprendimiento de viruta.</li> <li>• Por pulido.</li> <li>• Por recubrimiento.</li> </ul>                                |
| Procesos para el ensamblado de materiales.                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniones permanentes: Soldadura térmica, adhesivos.</li> <li>• Uniones temporales</li> </ul>                                   |
| Procesos para cambiar las propiedades físicas.                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temple de piezas.</li> <li>• Tratamientos térmicos.</li> </ul>  |

Fuente: <http://www.intelmecatronica2.blogspot.es/>, febrero de 2010. [3]

### 1.3 SISTEMAS DE MANUFACTURA

Los sistemas de manufactura modernos son dinámicos y globales, se basan en el concepto de *lean production/manufacturing*<sup>1</sup>, apoyados en procesos integrados de producción orientados al logro de la calidad y optimización del uso de los recursos, en los cuales las decisiones sobre productos, procesos, organización e información interactúan y afectan el desempeño global de la empresa [5]. Estos procesos comprenden varios subsistemas de manufactura interrelacionados logrando intercalar las funciones de la producción para optimizar el desarrollo de la productividad total del sistema, tales como los tiempos de producción, costos y utilización de la maquinaria [6]. Las actividades de estos subsistemas incluyen diseño, planeación, manufactura y control, donde los subsistemas son conectados con las funciones de producción fuera del sistema, tales como contabilidad, mercadeo, finanzas y personal.

**Figura 2. Diagrama de los Sistemas de Manufactura**



Fuente: Elaboración propia, febrero de 2010, con base en "Ingeniería de Manufactura". [6]

#### 1.3.1 Actividades de diseño para los sistemas de manufactura

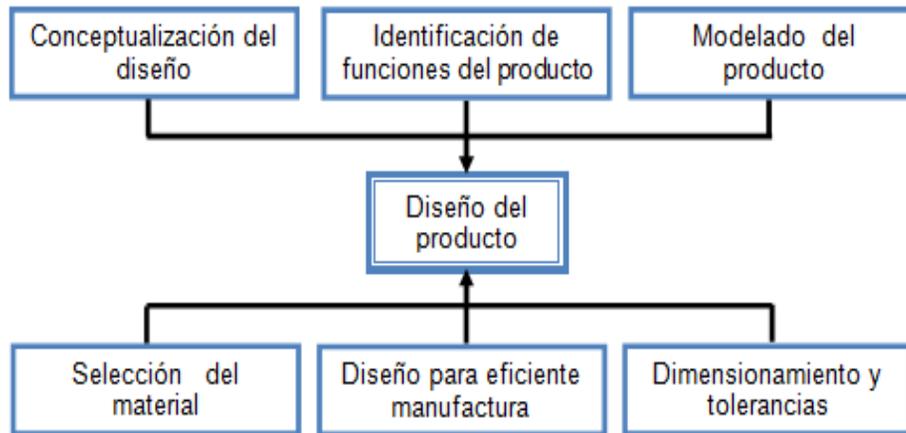
El diseño del producto es el primer paso de la actividad de la manufactura que desarrolla la conceptualización y planeación de las características físicas y funcionales de un producto. Los subsistemas incluidos en las actividades de diseño son las siguientes [6] (ver Figura 3):

- Conceptualización del diseño e identificación funcional.

<sup>1</sup> Lean Production/Manufacturing: es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de los 7 tipos de "desperdicios" (sobrepoducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos) en productos manufacturados. Eliminando el despilfarro, la calidad mejora y el tiempo de producción y el costo se reducen. [7]

- Modelado del producto y selección del Material.
- Diseño para una manufactura eficiente.
- Dimensionado y Tolerancia del producto.

**Figura 3. Diagrama de actividades de diseño**



Fuente: Elaboración propia, febrero de 2010, con base en “Ingeniería de Manufactura”. [6]

### 1.3.2 Actividades de planeación y control de los sistemas de manufactura

El desarrollo de los sistemas de manufactura puede únicamente ser garantizado por la planeación preliminar detallada, el control real y la retroalimentación del sistema. Las actividades de planeación y control pueden ser categorizadas y basadas en factores específicos como: recursos físicos, flujos de información, control y administración (ver Figura 4). [5]-[6]

### 1.3.3 Control de la manufactura

El control de la manufactura abarca una larga variedad de actividades en una fábrica; en el nivel de fábricas de operación, el control usualmente se refiere a la coordinación de una variedad de actividades para asegurar operaciones eficientes, gestionar la administración de la materia prima y los recursos tecnológicos, proporcionando información detallada a tiempo real para el control de producción, incluyendo la programación de lotes, las instrucciones de proceso y las órdenes de producción; en los centros de manufactura de bajo nivel, tales como centros de producción, el foco principal de control está en la

coordinación de actividades para maximizar la utilización de la célula de manufactura y minimizar los niveles de inventario [6]-[9]. Además el control de manufactura apoyado de en sistema MRP<sup>2</sup> y ERP<sup>3</sup> facilita la información del personal de producción y de atención al cliente acerca de la situación de los lotes mediante consultas en línea.

**Figura 4. Diagrama de actividades de planeación y control**



Fuente: Elaboración propia, febrero de 2010, con base en “Ingeniería de Manufactura”. [6]

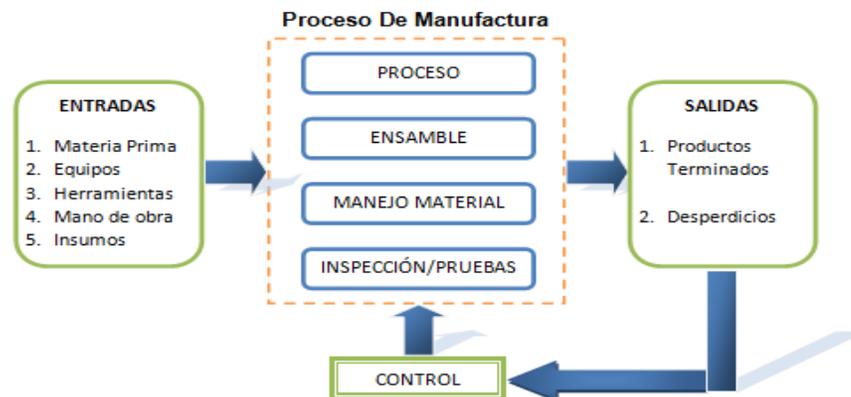
### 1.3.4 Funciones en los procesos de manufactura

En la Figura 5 se observa que las primeras cuatro funciones son actividades físicas que tocan al producto cuando se está manufacturando. Proceso y ensamble son operaciones que le agregan valor al producto mientras que la tercera y cuarta función pueden ser desarrolladas pero no le agregan valor al producto; éstas ocurren directamente en el producto; la quinta función, denominada control, es requerida para controlar y regular las actividades físicas con el propósito de adherir valor a la materia prima transformándolas a un estado deseable, el proceso es usualmente encargado a un equipo que refleja el grado de automatización de una empresa, el cual es adaptado a la pieza de trabajo en particular por el uso de herramientas, moldes y plantillas. Finalmente, la mano de obra es requerida para operar el equipo, cargar material, descargar piezas, verificar el funcionamiento de las máquinas y supervisar el proceso. [4]-[6]

<sup>2</sup> MRP: Planificación de los requerimientos de material es un Sistema de Planeación y Administración, usualmente asociada con un software basado en la planeación de la producción y el sistema de control de inventarios usado para los procesos de manufactura gerencial. [10]

<sup>3</sup> ERP: Planificación de recursos empresariales es un sistema de información gerencial que integra muchas de las prácticas de los negocios asociados con las operaciones de producción y gestión. [11]

**Figura 5. Entradas, salidas y operaciones típicas de un proceso de manufactura**



Fuente: Elaboración propia, febrero de 2010.

#### **1.4 PROCESOS DE MANUFACTURA CONVENCIONALES**

En los procesos de manufactura es necesario tener en consideración el concepto de instalaciones de producción, el cual comprende: la planta, el equipo de producción, el equipo de manejo de materiales e instrumentación del proceso, incluyendo la distribución de equipo dentro de la empresa, lo que se conoce como distribución de planta, con el propósito de lograr un adecuado diseño o adaptación de un proceso a un tipo de sistema de manufactura.

En la actualidad se encuentran ciertas configuraciones de instalaciones de producción que representan la manera más apropiada para organizar determinados tipos de manufactura, teniendo en cuenta los siguientes aspectos fundamentales en el diseño de un proceso de manufactura:

- El volumen o cantidad del producto a ser manufacturado.
- Sistemas de apoyo a la manufactura.

##### **1.4.1 Diseño del proceso de manufactura teniendo en cuenta el volumen**

En un diseño de un proceso de manufactura, el volumen a ser manufacturado debe siempre ser considerado como el volumen a ser producido en un periodo dado. De esta manera puede ser relacionado con la capacidad del equipo de manufactura bajo consideración y acorde con el mejor tipo de sistema de manufactura seleccionado. [12]

**a) Taller:** la característica distintiva de la producción de taller es el bajo volumen de productos especializados y a la medida; es usado para órdenes de clientes específicos donde se encuentra una gran variedad de productos complejos. El equipo de producción puede ser flexible y de propósitos generales requiriendo que la habilidad del trabajador sea relativamente alta para así poder desarrollar diferentes asignaciones de trabajo; si el producto es grande y pesado, y por tanto difícil de mover dentro de la fábrica, tendrá que permanecer en una ubicación única mientras se fabrica o ensambla. Los trabajadores y el equipo de proceso son llevados al lugar del producto en lugar de que el producto se mueva hacia el equipo. Este tipo de disposición de planta se conoce como *disposición de posición fija*<sup>4</sup>, mientras que los componentes individuales que forman estos grandes productos se hacen comúnmente en fábricas donde el equipo se dispone según su función o tipo, lo que se conoce como *disposición de proceso*<sup>5</sup>. [13]

**b) Producción Batch (Tandas):** el rango de producción envuelve la manufactura de tamaño mediano con altas especificaciones en variedad de productos, en el cual se fabrica una tanda de productos y a continuación de éste se cambian las instalaciones (máquinas-herramientas) usadas, configurando las plantillas y fijadores especiales para producir una tanda del siguiente producto e incrementar el rango de salidas. Las órdenes de producción de cada producto se repiten y la velocidad de producción del equipo es mayor que la demanda por un tipo único de producto, de esta forma puede compartirse el mismo equipo entre múltiples productos. Este tipo de producción se diferencia claramente en el sentido en que el procesamiento se realiza siguiendo una secuencia específica, donde la materia prima se mezcla toda junta y luego se procesa en una trayectoria bajo ciertas condiciones de operación como temperatura, presión, densidad, viscosidad, etc. En algunas ocasiones se usan aditivos especiales en diferentes momentos en el ciclo de procesamiento para obtener el producto deseado y posteriormente ser separado y embalado en unidades de operación por lotes. [13]

**c) Producción en Masa:** se caracteriza por una alta demanda especializada en productos idénticos, donde las instalaciones están dedicadas a la manufactura de un producto en particular. Dentro de la producción en masa se encuentran las siguientes clases:

- **Producción en cantidad:** Esta clase de producción se caracteriza por la producción en masa de partes sencillas con piezas simples del equipo. El método de producción involucra máquinas estándar equipadas con herramientas especiales que configuran eficientemente al equipo para la producción de un solo tipo de partes. [13]

---

<sup>4</sup> Disposición de posición fija: este concepto viene referido al producto donde a causa de su peso y tamaño éste permanece en un sitio concreto y los equipos para su fabricación se llevan a este punto. [14]

<sup>5</sup> Disposición de proceso: en este concepto los equipos de producción se ordenan en grupos de acuerdo con el tipo general de proceso de manufacturación. [14]

- **Producción en línea de flujo:** esta clase de producción se caracteriza por las múltiples piezas de equipo o estaciones de trabajo dispuestas en secuencia, a través de la cual se mueven físicamente las unidades de trabajo para completar el producto. El equipo y las estaciones de trabajo están diseñadas para procesar el producto con la mayor eficiencia donde las estaciones de trabajo se disponen a lo largo de una línea. [13]

#### 1.4.2 Sistemas de apoyo a la manufactura

Los sistemas de apoyo a la manufactura son muy importantes ya que permiten organizar, diseñar los procesos y los equipos, planear y controlar las órdenes de producción, satisfacer los requisitos de calidad del producto con el propósito de organizar y administrar las operaciones de producción. Comúnmente estos sistemas de apoyo no tienen contacto directo con el producto, pero planean y controlan su avance dentro de la empresa.

Las funciones de los sistemas de apoyo a la manufactura más básicas son las siguientes:

- **Ingeniería de la Manufactura:** es la encargada decidir qué procesos deben usarse para fabricar y/o ensamblar las partes de los productos. Además está involucrada en el diseño y distribución física de las máquinas-herramientas y otros equipos que utilizan los departamentos operativos para realizar el procesado y ensamble de productos. [14]
- **Planeación y control de la producción:** es responsable de resolver los problemas logísticos en la manufactura, es decir, la planificación de los requerimientos de material en el sistema de planeación y administración. Además de la planificación de los recursos empresariales es un sistema de información gerencial, integrando las prácticas de los negocios asociados con las operaciones de producción y gestión. [14]
- **Control de Calidad:** es la encargada de detectar posibles fallas, desperfectos y errores del producto en el proceso de producción, con el objetivo de satisfacer las especificaciones del diseño del producto, las expectativas y requerimientos de los clientes. Este proceso consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos en las diferentes etapas de producción del proceso, para después ser presentadas y analizadas en diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada. [14]

## ANEXO 2. METODOLOGÍAS REFERENTE AL DISEÑO DE CÉLULAS DE MANUFACTURA

En este anexo se describe los aspectos más relevantes de cinco metodologías en distintos campos de estudio referentes al diseño de células de manufactura.

### 2.1 METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

En esta metodología las propiedades de los elementos de un sistema, máquinas, piezas/ partes en proceso, transporte, zonas de almacenamiento, entre otros, son representadas por cantidades algebraicas que pueden ser parámetros o variables. Éstos son almacenados en un programa matemático formulado o diseñado en términos de esas cantidades para alcanzar un objetivo particular, que puede ser maximizar una producción esperada, maximizar la utilización o minimizar los costos. Mediante este tipo de herramientas se logra interpretar y mejorar los parámetros de producción para así estimar si resulta o no rentable la implementación de una célula de manufactura. [15]

Para propósitos de modelación, una planta se compone de tres entidades o unidades que se describen matemáticamente que son:

- **Unidad de almacenamiento:** elemento matemático caracterizado por un vector de cantidades objeto, representando su estado y dónde se efectúan operaciones de almacenamiento y extracción. Pueden plantearse restricciones sobre un almacenamiento en términos de cantidades máximas o mínimas que puede contener, donde el número de almacenamientos es finito. [16]
- **Unidades de transporte:** interconecta dos almacenamientos y efectúa operaciones de transporte caracterizadas por su tiempo. Se extraen cantidades de un almacenamiento y son depositadas en otro, quedando descritas por los vectores de entrada y salida. [16]
- **Unidades de manufactura:** interconecta dos almacenamientos logrando efectuar operaciones como tomar la entrada de almacenamiento de entrada o situar la salida en el almacenamiento de salida. Un almacenamiento puede ser entrada o salida donde cada operación de manufactura se caracteriza por un tiempo de trabajo; además, una unidad de manufactura puede tener diferentes estados de preparación los cuales se califican para efectuar grupos de operaciones. [16]

La programación matemática, particularmente la programación entera (cero-uno), determina qué máquinas y partes deben ser asignadas a cada célula y especifica la posición relativa de las células en la distribución de flujo de material en cierto tipo de sistema de manufactura celular. El modelo, cuyos detalles son cubiertos en la referencia dada, subdivide el sistema de manufactura en células con una configuración bajo criterio de tráfico mínimo intercelular, sujeto a restricciones de capacidad de máquinas y secuencias de operaciones. Además, el modelo igualmente especifica las partes y el tipo de maquinaria que deben agruparse para formar las células determinando el número y el tipo de máquina a asignar a las células individuales para satisfacer los requerimientos de capacidad y proveer al diseñador de la célula la flexibilidad de controlar su número y tamaño.

## 2.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FLUJO DE PRODUCCIÓN

Está apoyada en la información incluida en las hojas de proceso del piezas/parte o el producto. Existen tres aspectos para aplicarla.

- **Análisis del flujo de fábrica:** en este nivel se divide la fábrica en unidades de tamaño departamental y se identifican las piezas que pueden ser fabricadas con las máquinas y equipo de cada departamento según la siguientes características:

- División en unidades con base en las diferencias mayores de procesamiento.
- Asignación de maquinaria y equipo a cada unidad.
- Determinación del número de ruta de proceso (NRP) para cada pieza; este número se asigna al listar en la secuencia correcta todas las unidades por donde pasa la pieza durante su fabricación.
- Trazado del diagrama de flujo básico.
- Identificación de piezas excepcionales, aquellas piezas que siguen trayectorias poco usuales durante la fabricación.
- Disminución de excepciones; consiste en eliminar todas aquellas rutas poco comunes mediante reubicación de máquinas, modificación de diseño de la pieza, subcontratando la fabricación de la pieza, usando otras máquinas del mismo tipo en la misma unidad.
- Verificación de la carga de trabajo; consiste en analizar las unidades donde se encuentran máquinas del mismo tipo para justificar su inclusión.

- **Análisis de grupo:** la finalidad de esta etapa es subdividir cada unidad en grupos de máquinas e identificar a las familias fabricadas en cada grupo, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Las operaciones indicadas en las hojas de rutas.
  - Ordenamiento de las rutas.
  - Identificación de familias y formación de grupos.
  - Asignación de máquinas y equipo.
  - Disminución de excepciones.
  - Especificación de celdas y familias.
- **Análisis de línea:** consiste en el estudio de las trayectorias de los materiales dentro de las celdas con el objetivo de determinar la ubicación más conveniente de las máquinas y los equipos, considerando los siguientes pasos:
    - Remuneración de las operaciones en secuencia.
    - Registro de la incidencia de uso.
    - Codificación de máquinas.
    - Trazado del diagrama de flujo.

### 2.3 METODOLOGÍA POR FORMACIÓN DE CÚMULO

Se fundamenta en una matriz mostrando las interrelaciones existentes entre las distintas piezas y máquinas, siendo esta matriz binaria (uno y cero) creada por *McAuley y Carrie*. Existen dos versiones de este método.

- La Versión de *McAuley* es una matriz binaria que, al existir un "uno" en el cruce de línea y columna, significa que cierta máquina es requerida para la fabricación de cierta pieza. También utiliza un coeficiente de similitud (CS) considerando que piezas iguales siguen procesos de fabricación semejantes. El coeficiente de similitud se debe calcular para cada par de máquinas por medio de la siguiente expresión:

$$CS = \frac{\text{Número de piezas que requieren de ambas máquinas}}{\text{Número de piezas que requieren cualquiera de las máquinas}}$$

Para el caso de dos máquinas que no tienen pieza en común el valor de coeficiente de similitud es 0, los valores de los coeficientes de similitud obtenidos se vacían en una matriz siendo triangular y por tanto con ceros en su diagonal principal. Con este primer grupo de máquinas se crea una máquina artificial y se procede con la formación de otro grupo; debe considerarse que para cada agrupamiento siguiente se considera un valor menor al anterior. Las etapas de agrupamiento terminan cuando todas las máquinas de la planta se encuentran contenidas en una célula.

- La versión de *Carrie* utiliza los coeficientes de similitud no sólo para máquinas, sino también para piezas. Además *Carrie* es un más exigente en el coeficiente de similitud ya que para que una pieza o máquina sea admitida en una célula debe presentar un grado de similitud alto.

## **2.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO BASADA EN SIMULACIÓN**

Existen dos tipos de programas que realizan simulaciones: los de simulación discreta y los de simulación continua. Los primeros sirven para hacer simulaciones gerenciales de una planta, es decir, simulan cuánta materia prima entra y cuántos productos salen en determinado período de tiempo de cada máquina. Con ellos se puede hacer un layout de toda la planta, pero no se ven los cambios dentro de cada una de las máquinas. En cambio, los simuladores continuos muestran operaciones específicas, pues se pueden hacer descripciones virtuales de movimientos en particular, por ejemplo la programación de una pieza [23]. De esta manera, los simuladores discretos permiten analizar la factibilidad de lograr cierta producción en determinado período de tiempo maximizando el uso de las máquinas y los simuladores continuos permiten detectar inconvenientes particulares, así como los tiempos exactos de mecanizado para así determinar también los costos exactos de cada operación.

La simulación es ampliamente utilizada; por lo tanto, las razones más importantes y las ventajas de la metodología de simulación para el modelado de sistemas de manufactura celular son:

- Los modelos realistas son posibles y son un enfoque práctico a la representación de las características más importantes de un sistema de fabricación y puede incluir cualquier interacción compleja que exista entre las diferentes variables. [24]
- Las opciones pueden ser consideradas sin la experimentación con un sistema directo. Otros tipos de diseños pueden ser fácilmente evaluados, independientemente del sistema real. [24]
- Los modelos de simulación están en capacidad de abordar directamente las medidas de ejecución que normalmente se utilizan en un sistema real. [24]

- La representación visual ayuda al usuario en el desarrollo final y la verificación del modelo. [24]
- Comparación de las funcionalidades y diseños híbridos celulares. [24]
- Análisis de la productividad. [24]
- Avistamiento de los factores que influyen en la célula de manufactura y los posibles problemas que puedan surgir, como el desgaste de la máquina, herramientas, averías, etc., así como la configuración de parámetros y los factores que afectan otra célula. [24]

Enfocándose en el tema de estudio, los programas de simulación para celdas ocupan elementos de ambos tipos de simulación detallados anteriormente, pues en la fase inicial usan una simulación discreta para luego usar una continua. Este tipo particular de simulación se denomina simulación de celda de trabajo, con el propósito de ser aprovechada en la etapa de diseño de la celda y evitar nuevas revisiones y rediseños. [25]

Además, los modelos de simulación continuos y los de simulación de eventos discretos pueden proporcionar mayor conocimiento y comprensión en la mejora del rendimiento de un sistema de fabricación. El análisis de los resultados numéricos de las ejecuciones de la simulación puede ser utilizado para identificar los indicadores de rendimiento real para el sistema, como lo son: el tiempo total, tiempo procesamiento durante determina la etapa en el proceso, control de inventario, control de calidad, programación y utilización de la maquinaria, configuración de parámetros producción, sistemas de supervisión, entre otros.

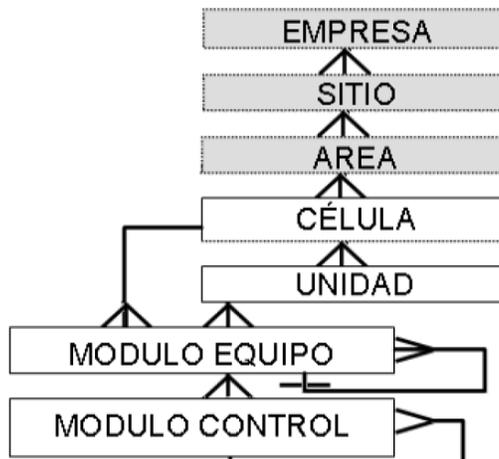
### ANEXO 3. ESTÁNDAR ISA 88

En este anexo se da conocer de forma general el Modelo Físico, el Modelo de Control de Procedimientos y el Modelo de Proceso definidos en el estándar ISA88, para tomarlo como referencia en el modelado de un proceso de producción basado en células de manufactura.

#### 3.1 MODELO FÍSICO

El principal objetivo del Modelo Físico propuesto por el estándar ISA88 es estructurar los activos físicos de la empresa, incluyendo los equipos, el talento humano y el financiero. Esta subdivisión debe realizarse teniendo en cuenta las características y perfiles de los recursos que se requieren para desarrollar cada una de las operaciones y acciones del proceso de producción, debiéndose identificar claramente la capacidad de procesamiento, almacenamiento y la función específica que cumplen dentro de la cadena de valor.[26]

Figura 6. Modelo Físico



Fuente: "Estándar ISA88", enero de 2011.

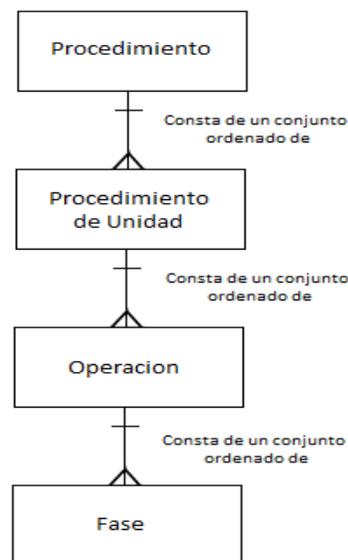
En la Figura 6 el estándar ISA88 define una jerarquía de equipos, específicamente utilizados en el proceso de producción, agrupando los recursos de la empresa con

referencia a siete niveles. Los tres niveles superiores (Empresa, Sitio y Área) se encuentran fuera del enfoque del estándar ISA88 debido a que son los encargados de soportar las decisiones corporativas de la empresa. Por lo tanto, en el estándar se jerarquizan los equipos de la empresa en términos de células, unidades, módulos de equipo y módulos de control. [27]

### 3.2 MODELO DE CONTROL DE PROCEDIMIENTOS

Mediante el Modelo de Control de Procedimiento del estándar ISA88 se especifican las acciones que se deben ejecutar en los equipos a través de secuencias ordenadas, las cuales permiten llevar a cabo una acción orientada al proceso para la obtención de un producto. Estas acciones se agrupan en estructuras que permiten modelar y especificar de manera adecuada una receta, la cual será ejecutada sobre el conjunto de equipos definidos en el modelo físico. [26]

**Figura 7. Modelo de Control de Procedimientos**



Fuente: "Estándar ISA88", enero de 2011.

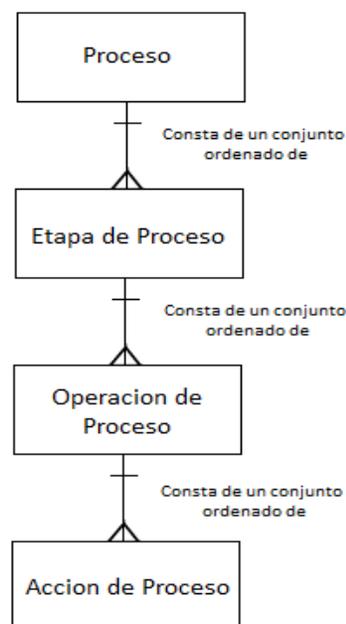
En la Figura 7 las acciones de control están estructuradas en niveles jerárquicos dependiendo de su complejidad, por tanto este modelo está compuesto de: Procedimientos, que constituyen el nivel más alto de la jerarquía; Procedimientos de unidad, correspondiente a las actividades que se ejecutan completamente dentro de una unidad; Operaciones, que relaciona el orden específico de fases que define una

secuencia de proceso especializado; y Fases, que corresponden al componente más bajo de la jerarquía y se encargan de la ejecución del control básico.[27]

### 3.3 MODELO DE PROCESO

El modelo de proceso del estándar ISA88 tiene como objetivo especificar las actividades que se llevarán a cabo en la planta y el orden en que se realizarán, asociando a cada una de estas, los equipos necesarios, ya contenidos en el modelo físico de la empresa. En función de estos activos físicos, se realizan los ajustes necesarios en el modelo control de procedimiento de manera que se obtenga el máximo aprovechamiento de los recursos de la empresa, en aras de obtener el producto deseado con la calidad requerida. [26]

**Figura 8. Modelo de Proceso**

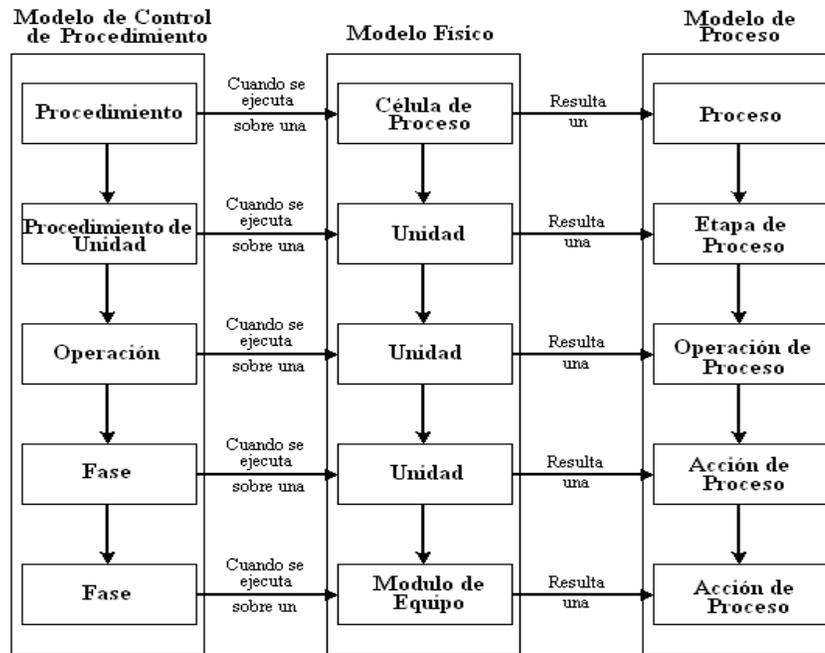


Fuente: “Estándar ISA88”, enero de 2011.

En la Figura 8 y Figura 9 se estructura el Modelo de Proceso según la jerarquía: Proceso, Etapa de Proceso, Operación de Proceso y Acciones de Proceso en la cual se evidencia que un Proceso resulta de la ejecución de un Procedimiento sobre una Célula; de forma análoga, una Etapa de Proceso resulta de la ejecución de un Procedimiento de Unidad sobre una Unidad. Así sucesivamente, cada nivel del Modelo de Proceso está asociado a un nivel específico del Modelo Físico y del Modelo de Control de Procedimientos. De esta manera, las Operaciones de Proceso resultan de la ejecución de Operaciones sobre

Unidades y las Acciones de Proceso pueden resultar de la ejecución de Fases sobre Unidades o sobre Módulos de Equipo. [27]

**Figura 9. Control de Procedimiento/Equipo mapeo para lograr la funcionalidad del proceso**

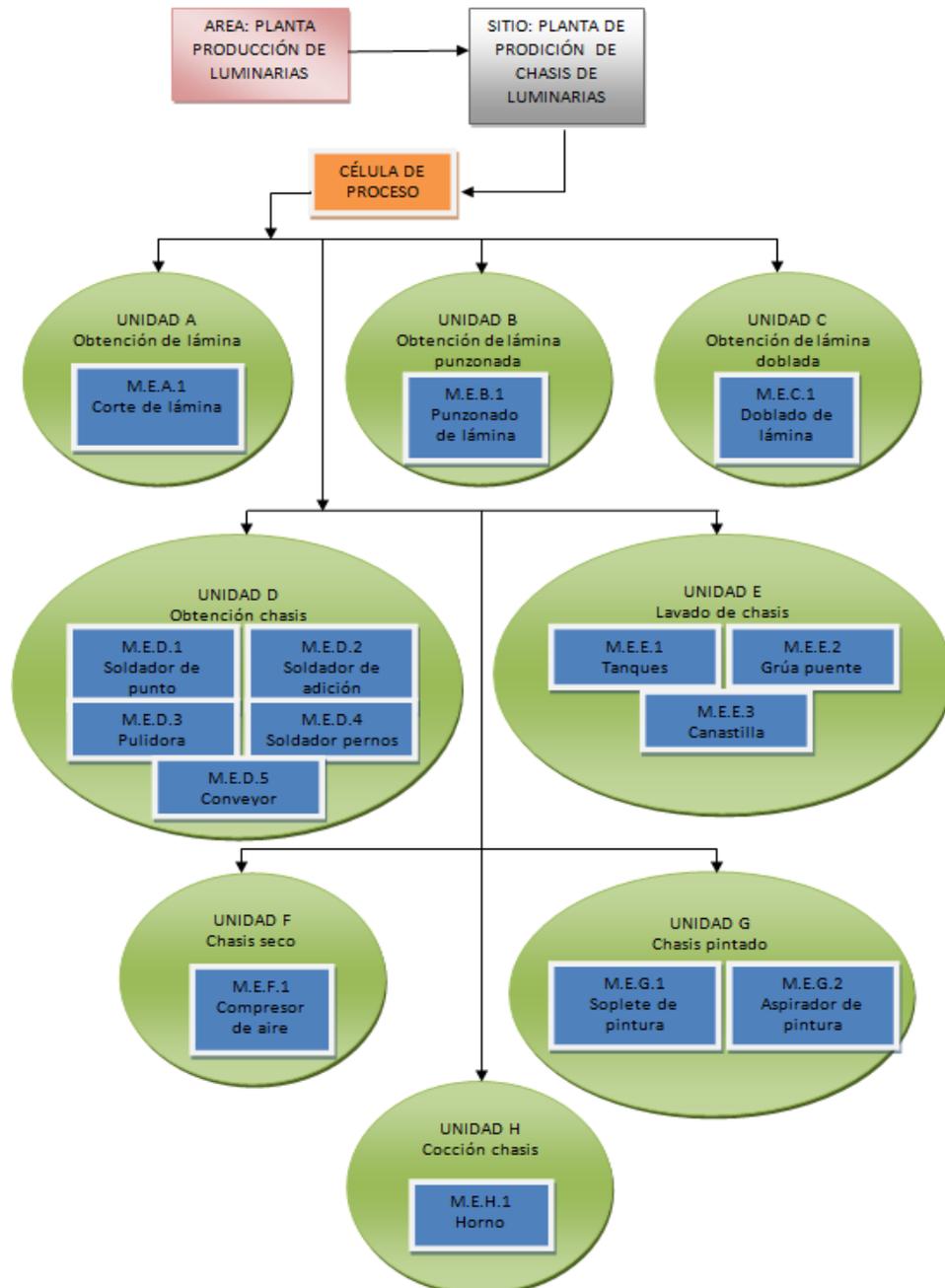


Fuente: “Estándar ISA88”, enero de 2011

### 3.4 APLICACIÓN DEL ESTANDAR ISA88 PARA EL ESCENARIO A

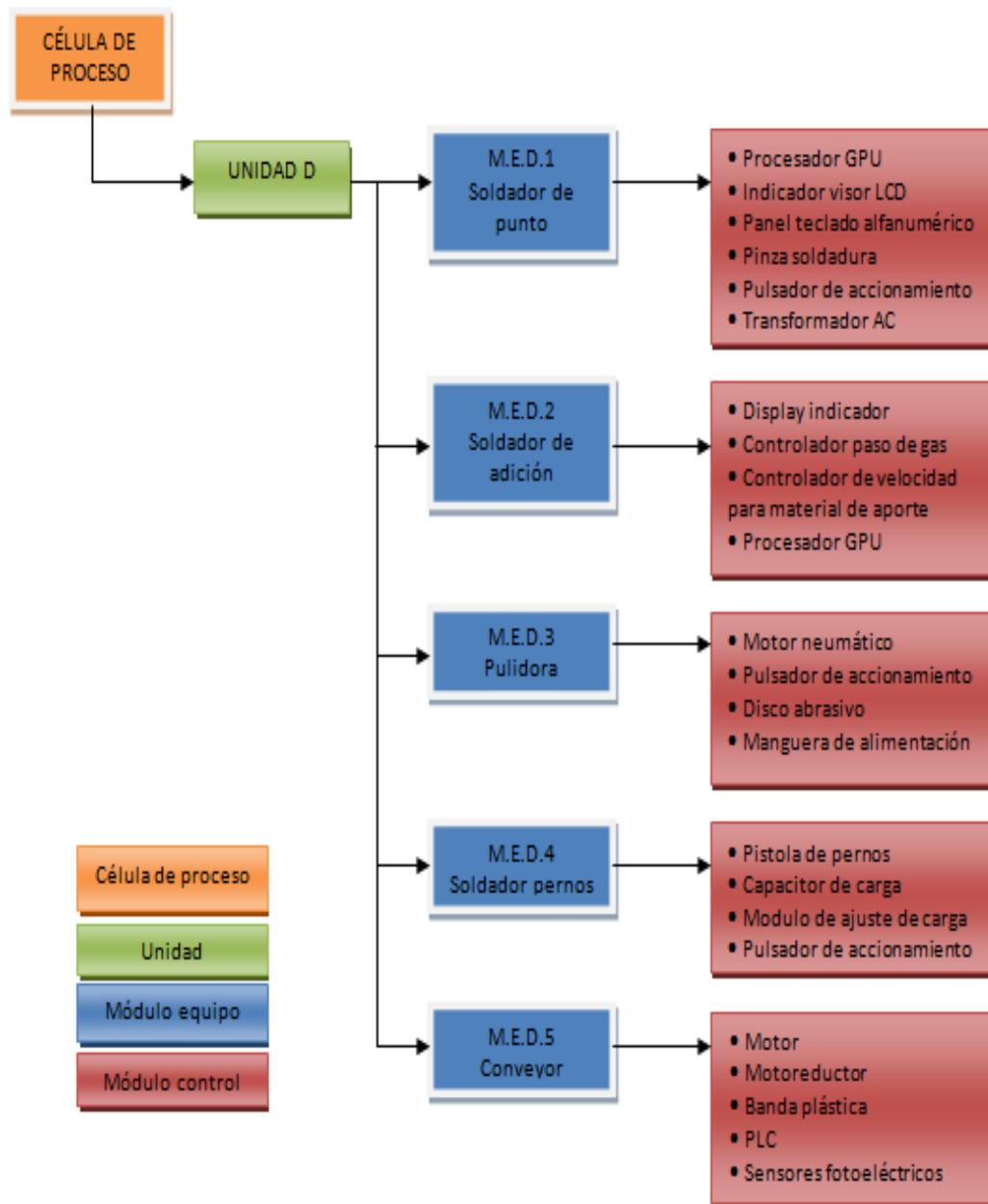
Después de haber realizado el diseño lógico y la planificación del diseño para el proceso de producción de chasis de luminarias para la etapa de soldadura, se procede a modelar estos dos componentes fundamentales en el diseño del modelo físico de una célula de manufactura mediante los el modelo físico, el modelo de proceso y el modelo de control de procedimiento del estándar ISA88. Los resultados obtenidos de la aplicación de este estándar se puede observar en la Figura 10, 11 y 12. y la Tabla 2.

**Figura 10. Modelo físico para el proceso productivo de chasis de luminarias, para el escenario A**



Fuente: elaboración propia, enero de 2011

**Figura 11 Modelo físico, para la unidad D del proceso productivo de chasis de luminarias, para el escenario A**



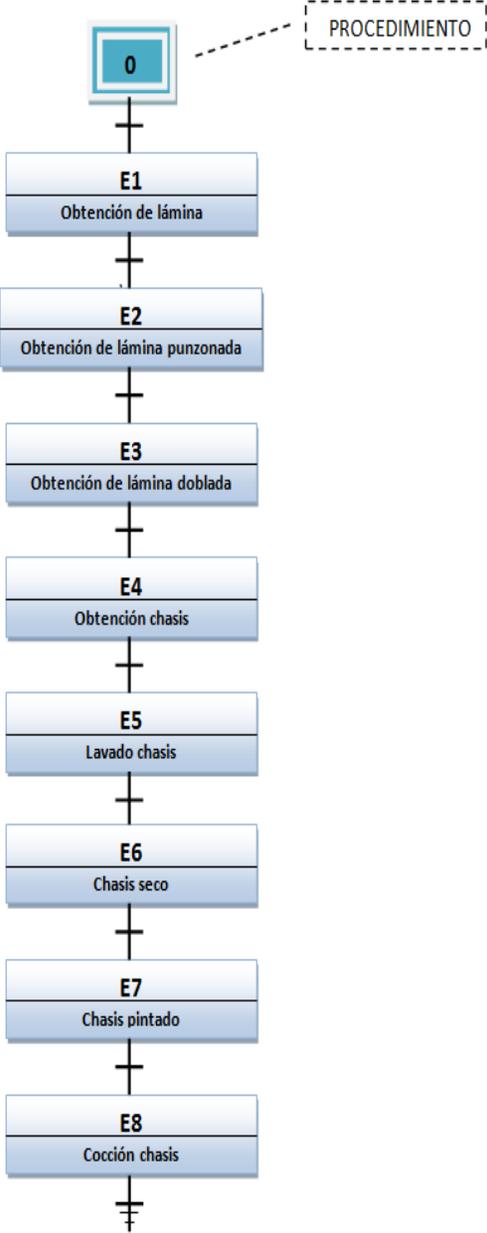
Fuente: elaboración propia, enero de 2011

**Tabla 2. Modelo de proceso para la unidad D, para el proceso productivo de chasis de luminarias, del escenario A**

| Proceso                          | Etapa de proceso     | Operación del proceso (Actividad Principal) | Acción del proceso (actividad secundaria) |
|----------------------------------|----------------------|---|---|
| Soldadura de chasis de luminaria | Soldadura de punto   | Llevar a soldador 1                         | Posicionar tapas                          |
|                                  |                      | Soldar                                      | Soldar tapas                              |
|                                  |                      |   | Revisar puntos                            |
|                                  |                      | Llevar a soldador 2                         | Posicionar plantillas                     |
|                                  | Soldar aditamentos   | Soldar                                      |   |
|                                  |                      | Revisar aditamentos                         |   |
|                                  | Soldadura de adición | Llevar a soldador 3                         | Posicionar material de adición            |
|                                  |                      | Soldar                                      | Realizar el cordón de soldadura           |
|                                  |                      |   | Revisar soldadura                         |
|                                  | Pulido               | Llevar a pulido                             | Posicionar pulidora                       |
|                                  |                      | Pulir                                       | Pulir cuatro extremos                     |
|                                  | Adición de pernos    | Llevar a pernos                             | Posicionar pistola                        |
|                                  |                      | Adicionar pernos                            | Soldar x numero de pernos                 |
| Transporte                       | Transportar          | Trasporte entre estaciones                  |   |

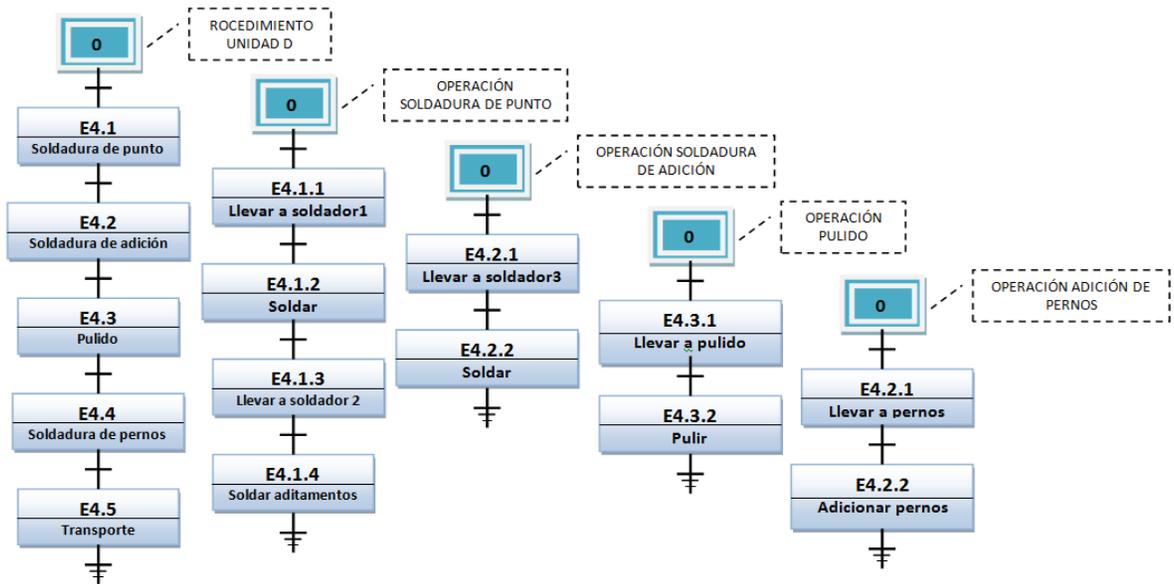
Fuente: elaboración propia, enero de 2011

**Figura 12. Modelo de control de procedimiento para el proceso productivo de chasis de luminarias del escenario A**



Fuente: elaboración propia, enero de 2011

**Figura 13. Modelo de control de procedimiento para la unidad D, para el proceso productivo de chasis de luminarias, del escenario A**



Fuente: elaboración propia, enero de 2011

### 3.5 MODELO DE SEGMENTO DE PROCESO

#### 3.5.1 Especificación de las reglas de producción y de la lista de recursos

Para la definición de las reglas de producción se tendrá en cuenta el récipe maestro de producción que muestra como se lleva a cabo la producción de chasis de luminarias, en la etapa de soldadura describiendo de manera general por la fórmula del récipe maestro los pasos que se efectúan en la etapa. Además, el récipe maestro también especifica los materiales y los equipos utilizados.

#### 3.5.2 Formula del Récipe Maestro para la etapa de soldadura de chasis para la familia 1 de piezas/partes

La lámina en forma de “u” que ingresa a la célula de manufactura establecida como 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 por soldador, siendo dos soldadores de punto en total en la célula de manufactura; en la primera estación el operario realiza la tarea de retirar la lamina de la

banda transportadora para posteriormente soldar las dos tapas a la lamina en forma de “u” para formar el chasis con un promedio de 12 a 20 puntos de soldadura y con una intensidad de corriente especifica de acuerdo al grosor de la lámina (calibre 16, 18, 20, 22, 24), luego devuelve el chasis ya formado a la banda; en la siguiente estación de adición de aditamentos, el segundo operario retira el chasis de la banda para agregar los aditamentos hechos en lamina, estos son los portasokets, esquineros y acoples, una vez estén posicionados los aditamentos, se inspeccionan y el chasis es devuelto a la banda transportadora, posteriormente el chasis llega la estación de soldadura de adición, el operario retira el chasis de la banda transportadora y hace las soldaduras de adición en cada una de las cuatro esquinas de la luminaria mediante soldadura MIG, luego devuelve el chasis a la banda transportadora; en la siguiente estación el operario retira la luminaria de la banda y acciona la pulidora neumática y pule las soldaduras protuberantes realizadas en la etapa anterior, una vez termina de pulir los cuatro extremos, devuelve el chasis a la banda, en la última estación se retira el chasis de la banda para realizar una adición de pernos de sujeción cobreados, los cuales se unen al chasis mediante una pistola de pernos de sujeción, 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, una vez terminada esta operación se dispone nuevamente el chasis en la banda para ser almacenadas por un asistente en el suelo, para proceder con la etapa de lavado que es la siguiente en el proceso productivo de chasis de luminarias.

### 3.5.3 Lista de recursos

A continuación se describirán los recursos necesarios para la elaboración de un chasis de luminaria, dentro de los que se incluye el personal, los materiales y equipos.

- **Lista de responsables**

El personal necesario para la ejecución de la célula de proceso “Obtención del chasis” es descrito a continuación.

**Tabla 3. Lista de responsables**

| RECURSO             | FUNCIONES  | CANTIDAD OPERARIOS |
|---------------------|--|--------------------|
| Soldador de punto 1 | Tomar la lámina que proviene de la etapa de doblado de lamina y se posiciona en la mesa de operaciones para adicionar las tapas laterales que complementan la estructura del chasis. | 1                  |
| Soldador de punto 2 | Tomar el chasis, ubicarlo en la mesa de operaciones, luego se posicionan los aditamentos necesarios para la luminaria y se soldan al chasis.   | 1                  |

**Tabla 3(continuación)**

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Soldadura de adición | Toma el chasis, se ubica en la mesa de operaciones, se adiciona material de aporte a cada uno de los cuatro extremos del chasis de la luminaria                                    | 1 |
| Pulido               | Toma el chasis, se ubica en la mesa de operaciones, se eliminan mediante pulido las soldaduras protuberantes y bordes sobresalientes en el chasis                                  | 1 |
| Pernos de adición    | Toma el chasis, se ubica en la mesa de operaciones, se posiciona la pistola de pernos en cada una de las marcas punzonadas en el chasis de la luminaria y se adicionan los pernos. | 1 |
| Transporte           | Se alimenta la banda transportadora en el inicio de la etapa con las laminas y se retiran los chasis de luminarias terminados al final de la banda                                 | 2 |

Fuente: elaboración propia, enero de 2011

## ANEXO 4. FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En este anexo se describe dos formatos para facilitar la recolección de la información de diseño de las piezas/partes y la información de proceso y producción, como se observa en la Tabla 2 y Tabla 3.

**Tabla 4. Formato de recolección de información de diseño**

| ATRIBUTO  | CONSIDERACIÓN   |
|---|---|
| Requerimientos del cliente                      | (Tipo de producto, funcionalidad, usos, personalización)                                |
| Conceptualización del diseño                    | (Diseño de acuerdo con los requerimientos, mediante ayuda de herramientas CAD o planos) |
| Nombre y Referencia                             | (De acuerdo con el tipo de producto y a nomenclaturas establecidas por empresa)         |
| Planos de diseño                                | (Físicos, maquetas o CAD)   |
| Atributos de diseño                             | (Dimensiones, tolerancias, y especificaciones)  |
| Materia prima, aditamentos e insumos materiales | (Componentes e insumos)   |
| Forma de la pieza/parte o producto              | (Rotacional, no rotacional, plana o compuesta)  |

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

**Tabla 5. Formato de recolección de información de proceso y producción**

| ATRIBUTO                               | CONSIDERACIONES   |
|--|---|
| Flujo de materiales y flujo de proceso | (Determinación de la secuencia de operaciones , tiempos , distancias y rutas) |

**Tabla 5 (continuación)**

| <b>ATRIBUTO</b>   | <b>CONSIDERACIONES</b>   |
|---|--|
| Volumen y tiempo de producción                                | (Capacidad de producción)  |
| Requerimientos producción                                     | (Insumos aditamentos y partes)   |
| Equipos y herramientas  | (Disponibles y requeridas para la elaboración de un producto)                  |
| Datos de procesos de manufactura                              | (Tiempos, capacidad, distancias, consumos)                                     |
| Eliminación de operaciones y rediseño del flujo de materiales | (propuesta de un nuevo diagrama de flujo de materiales y de flujo de proceso ) |

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

## **ANEXO 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS**

En este anexo se hace una breve referencia a los principales criterios de selección de equipos que se deben considerar para una adecuada selección de máquinas, robots, equipos, sistemas de transporte y herramientas.

A continuación se describirán de forma general los principales criterios para la selección de equipos:

La selección de maquinaria y equipos debe ser precedida por una adecuada toma de información a través de fabricantes de equipos, publicaciones comerciales, asociaciones de venta, archivos de las empresas, etc., y se debe distinguir las dos etapas que involucra todo proceso de selección:

Elección del tipo de equipo para especificar las propuestas y selección entre los distintos equipos dentro del tipo elegido, a fin de decidir entre las propuestas.

Los criterios de evaluación para una óptima selección están determinados por los siguientes ítems:

### **5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Acondicionamiento: característica que señala aquella exigencia que pueda tener el equipo o la máquina para un buen funcionamiento.
- Accionamiento: la operación del equipo.
- Capacidad y velocidad: característica ligada a la capacidad de producción de la planta.
- Simultaneidad: operación conjunta con otras máquinas o equipos, o si puede producir uno o más productos.
- Confiabilidad: relacionada con sus especificaciones en forma general.

- Rasgos especiales: especificaciones que pueden ser muy particulares, en relación con otros equipos o máquinas.

## **5.2 COSTOS**

- Adquisición: es el monto que corresponde a la adquisición del equipo o de la maquinaria que precisa el proyecto. El monto involucra generalmente el equipo instalado.
- Personal: cuando exista la exigencia de ciertas calificaciones para el personal que operará o hará el mantenimiento de los equipos.
- Materiales: si los equipos y las máquinas presentan diferencias notorias en sus requerimientos.
- Extensión: requerimiento de espacio físico.

## **5.3 RELACIÓN CON PROVEEDORES**

- Entrenamiento: relacionado con las facilidades que puedan existir para adiestrar al personal que operará y que realizará el mantenimiento de los equipos y las máquinas.
- Mantenimiento: considerar el servicio de post-venta que ofrecen los proveedores para un adecuado mantenimiento, basado en una buena infraestructura de personal, talleres, equipos de auxilio en el lugar y un suficiente stock de repuestos.
- Simulación: posibilidad que brinden los proveedores de simular condiciones en las que operarán los equipos y las respuestas que podemos esperar de éstas.
- Pruebas: posibilidad de que el equipo o la máquina pueda someterse a una prueba de operación en las condiciones reales en las que operará.

## ANEXO 6. TIPOS DE LUMINARIAS ELABORADAS POR ILTEC

ILTEC actualmente produce más de cien tipos de luminarias para todo tipo de aplicaciones las cuales se adaptan a cualquier necesidad o requerimiento del cliente; entre el portafolio de servicios de la empresa se encuentran variedades de luminarias, las cuales van desde luminarias para oficina hasta luminarias para quirófanos con recubrimiento de pintura antibacterial y luminarias antivandálicas con especificaciones y controles de calidad extremos para penitenciarías.

Los productos que actualmente se ofrecen al mercado los han clasificado de la siguiente forma:

- **Luminarias de sobreponer** (Ver Figura 14): son luminarias las cuales no requieren de un espacio específico para su instalación o empotre, son de fácil adaptación al espacio; de este tipo se elaboran más de cuarenta referencias con una gran cantidad de variaciones en su diseño

**Figura 14. Luminarias de sobreponer**



Fuente: "ILTEC", Agosto de 2010.

- **Luminarias De Incrustar** (ver Figura 15): este tipo de luminarias requieren de un espacio previamente definido para su instalación ya que gran parte de su chasis queda oculto, de este tipo de luminarias se elaboran más de veinte referencias.

**Figura 15. Luminarias De Incrustar**



Fuente: “ILTEC”, agosto de 2010.

- **Luminarias de Colgar** (ver Figura 16): este tipo de luminarias son ideales para grandes espacios en donde se requiere de gran iluminación; su instalación es bastante flexible y se fabrican de esta referencia más de diez tipos.

**Figura 16. Luminarias De Incrustar**



Fuente: ILTEC. Agosto 2010

- **Luminarias Apliques** (Ver Figura 17): este tipo de luminarias son usadas para múltiples aplicaciones tanto interiores como exteriores; implementan también tecnología de leds RGB; este tipo de luminarias se elaboran más de veinte variedades.

**Figura 17. Luminarias Apliques**



REF: ITR150-36L

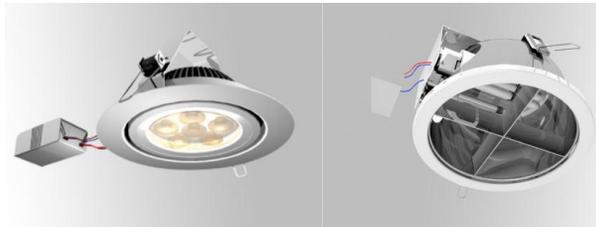


REF: ITW ANTIVANDALICA  
H PERFOPC

Fuente: “ILTEC”, agosto de 2010.

- **Luminarias Balas** (Ver Figura 18): son luminarias que requieren de un espacio específico para ser empotradas pues su diseño requiere que queden a ras del cielo raso; se elaboran aproximadamente 20 referencias de este tipo.

**Figura 18. Luminarias Balas**



REF: BALA-LED-6x1W

REF: ITD-33R-2T44241

Fuente: “ILTEC”, agosto de 2010.

- **Luminarias Cielos** (ver Figura 19): este tipo de aplicaciones son para espacios en donde no se desea que la luminaria quede expuesta, es decir, la luz se filtra por

perforaciones en el cielo raso con diferentes tipos y diseños; de este tipo de cielos se elaboran diez variedades.

**Figura 19. Luminarias Cielos**



Fuente: "ILTEC", agosto de 2010.

## ANEXO 7. ABREVIACIÓN DE LAS REFERENCIAS DEL UNIVERSO TOTAL DE LUMINARIAS

En este anexo se describe la abreviación que se le otorgó al universo total de luminarias para facilitar el proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura, esta abreviación se realiza de acuerdo a criterios del diseñador de la célula de manufactura, para este caso se abrevio con base en la aplicación de la luminaria, como se observa a continuación:

En la Tabla 4 se asigna un nuevo código para la abreviación de las referencias de las luminarias, en tres de las principales familias elaboradas por ILTEC denominadas: luminarias de colgar, luminarias de incrustar y luminarias de sobreponer.

**Tabla 6. Abreviación de referencias del universo total de luminarias**

| NUEVO CÓDIGO DE ASIGNACIÓN     | REFERENCIA DE LUMINARIA                               |
|--------------------------------|---|
| <b>LUMINARIAS DE COLGAR</b>    |   |
| C1                             | HIGH_BAY_C_FE_1x4_-_2T55441_-_E1                      |
| C2                             | HIGH_BAY_C_FE_1x4_-_6T55441_-_3E1                     |
| C3                             | HIGH_BAY_C_FE_PC_1x4__6T55441__3EUNV__con_ventilación |
| C4                             | HIGH_BAY_DOBLE_C_FE_2x4_-_8T55441_-_4EUNV             |
| C5                             | HIGH_BAY_II_C_FE_PC_2x4_-_6T55441_-_3EUNV             |
| C6                             | IF_CURVAS_C_AB_1x8_-_3x3T83241_-_2E1+IT125EDL         |
| C7                             | IF_D_CAB_1x8_-_3x3T55441_-_3EU                        |
| C8                             | ILTELUX_C_P_1X6_2T55441_+_2X50W_-_EUNV_+_2M1A         |
| C9                             | IT_400-001_C_P1_1x4_-_2T55441_-_EUNV                  |
| C10                            | IT_400-001_C_P1_1x4_-_2T55441_-_EUNV                  |
| C11                            | IT_EXHIBIT_S_FE_R_1x4_-_SENV_ESP_11C_-_2T55441_-_EUNV |
| <b>LUMINARIAS DE INCRUSTAR</b> |   |
| I1                             | ANTIVANDALICA_H_IMP_B_1x2_-_2T81741_-_EUNV            |
| I2                             | BAÑADORA_S_FE_VTO_1x6_-_1x1T52141_-_EUNV              |
| I3                             | ILTELUX_IM_PC_H_2x4_4T55441_2EUNV                     |
| I4                             | ILTELUX_I_MP_2x2-3T52441-2EUNV                        |
| I5                             | ILTELUX_I_PO_2X2_2T42641__EUNV_+_60_LED_0.25_1DRI P67 |
| I6                             | ILTELUX_I_R_1x4_-_3_ESP_16C_-_2T83241_-_E1            |
| I7                             | ILTELUX_I_R_2x2_-_3_ESP_16C_-_4T81741_-_E1            |
| I8                             | ILTELUX_I_VOT_1x4_-_2T83241_-_E1                      |
| I9                             | ILTELUX_I_VTO_1x1_-_250W_MHQL_-_M2                    |
| I10                            | ILTELUX_IM_B_PER_2x2_-_4T81741_-_1EUNV                |

Tabla 6 (continuación)

| LUMINARIAS DE INCRUSTAR  |  |
|--------------------------|--|
| I11                      | ILTELUX_IM_FE_R_1x4_- 1T55441_- EUNV                     |
| I12                      | ILTELUX_IM_R_2x2_4T52441_2EUNV                           |
| I13                      | ILTELUX_IM_VOT_1x1_- 2T44241_- E1                        |
| I14                      | LFS_I_FE_1x4_2T55441_EUNV_(ancho_30_cm)                  |
| I15                      | LFS_I_PC_1x4_- 2T83241_- E1                              |
| I16                      | LFS_I_PC_2x2_- 4T81741_- E1                              |
| I17                      | LFSF_I_TB_1x4_- 2T55441_- E1                             |
| I18                      | LFSM_FE_1x8_- 4x4T55441_- 4E1                            |
| LUMINARIAS DE SOBREPONER |  |
| S1                       | ALONE_C_PRD_1x4_- 4T52841_- EUNV                         |
| S2                       | ANTIVANDALICA-S-P-B-1x4--2T83241-01                      |
| S3                       | CAPG_S_TB_1x4_- 2T52841_- E1                             |
| S4                       | CCCE_M_FE_1X8_1X1_T55441_1EUNV                           |
| S5                       | CCCE_S_FE_1x4_- 2T55441_- E1                             |
| S6                       | CCCE_S_PC_1x4_- 2T55441_- E1                             |
| S7                       | CCCE-S-FE-1x8-1x1T55441-01                               |
| S8                       | CERO_S_FE_B_PER_2x3_- 4T52141_- 2E1                      |
| S9                       | DECK_SAE_1x4_- 2T52841_- EUNV                            |
| S10                      | FLY_CAB_1x4_- 2T52841_- E1                               |
| S11                      | GAVIOTA_SA_2x4_- 3T52841_- EUNV                          |
| S12                      | HIGH-BAY-MODULAR-C-FE-2X4-6T55441-01                     |
| S13                      | IF_LINE_S_PO_1X2_2T52441_EUNV                            |
| S14                      | IF_SAB_PER_1x4_2T55441_EUNV                              |
| S15                      | IF_SAE_1x4_- 1T55441_- E1_(vieja)                        |
| S16                      | IF-BELL-S-PO-PERFO-1X4-2T55441-01                        |
| S17                      | IF-SAB-PC-1X8-2x2T83241-01                               |
| S18                      | IF-S-AE-2T55441-01                                       |
| S19                      | ILTELUX_CURVA_S_R_1x4_- _SENV_ESP_12C_-<br>_2T83241_- E1 |
| S20                      | ILTELUX_H_S_PC_2x2_- 4T81741_- E1                        |
| S21                      | ILTELUX_S_FE_PC_1x4_- 1T83241_- E1                       |
| S22                      | ILTELUX_S_FE_VOT_2x2_- 4T52441_- 2E1                     |
| S23                      | ILTELUX_S_R_2x2_- _SENV_ESP_16C_- 4T52441_-<br>_2EUNV    |
| S24                      | ILTELUX_S_R_FB_1X2_1.5_ESP_6C_2T81741_EUNV_(<br>20_CM)   |
| S25                      | ILTELUX-S-FER-1.5"-ESP-32-C-1x8-2x2T83241-01             |
| S26                      | IT_300E_SP_- 2T81741_- E1                                |
| S27                      | IT_FLOO_S_TB_1X2_2T52441_1EUNV                           |
| S28                      | LIGHT_C_PE_1x4_- 2T55441_- EUNV                          |
| S29                      | MICROMAT_S_FM_1X3_4T52141_2EUNV                          |

**Tabla 6 (continuación)**

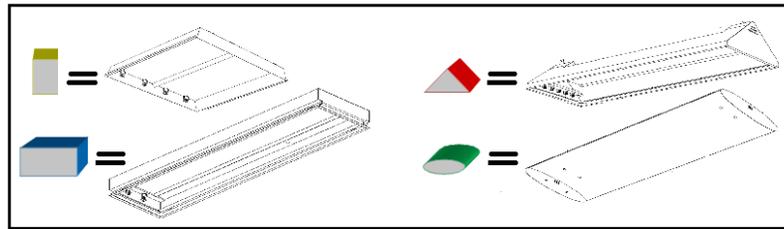
| <b>LUMINARIAS DE SOBREPONER</b> |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| S30                             | MICROPERFO_S_1x4_-_2T52441_-_E1      |
| S31                             | TRIA_S_FE_RPER_1x8__2x2_T55441__EUNV |
| S32                             | TRIA_TRUNCADA_S_1X4_2T55441_EUNV     |

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

## ANEXO 8. SUBDIVISIÓN DEL UNIVERSO DE LUMINARIAS

En este anexo se desarrolla la subdivisión del universo de luminarias teniendo en cuenta la forma final de la pieza, el material y el calibre del chasis, como se observa en la Figura 12 y la Tabla 5.

**Figura 20. Representación gráfica de acuerdo con la forma geométrica del chasis de las luminarias**



Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

**Tabla 7. Subdivisión enfocada hacia al diseño existente de chasis de luminarias**

| CÓDIGO DE ASIGNACIÓN           | FORMA |   |   |   | CALIBRE LAMINA DE HIERRO |           |           |           |
|--------------------------------|-------|---|---|---|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                |       |   |   |   | 16                       | 18        | 22        | 24        |
| <b>LUMINARIAS DE COLGAR</b>    |       |   |   |   |                          |           |           |           |
| C1                             |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| C2                             |       | X |   |   |                          |           |           | X         |
| C3                             |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| C4                             |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| C5                             |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| C6                             |       |   | X |   |                          |           | X         |           |
| C7                             |       |   | X |   | X                        |           |           |           |
| C8                             |       | X |   |   |                          |           |           | X         |
| C9                             |       |   |   | X |                          |           |           | X         |
| C10                            |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| C11                            |       |   | X |   |                          |           |           | X         |
| <b>LUMINARIAS DE INCRUSTAR</b> |       |   |   |   | <b>16</b>                | <b>18</b> | <b>22</b> | <b>24</b> |
| I1                             |       | X |   |   | X                        |           |           |           |

Tabla 7 (continuación)

| LUMINARIAS DE INCRUSTAR  |  |  |  |  | 16 | 18 | 22 | 24 |
|--------------------------|---|---|---|--|----|----|----|----|
| I2                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I3                       |   | X   |   |  |    |    | X  |    |
| I4                       | X   |   |   | X  |    |    |    | X  |
| I5                       | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I6                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I7                       | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I8                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I9                       | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I10                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I11                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I12                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I13                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I14                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I15                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| I16                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| I17                      |   | X   |   | X  |    |    |    | X  |
| I18                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| LUMINARIAS DE SOBREPONER |  |  |  |  | 16 | 18 | 22 | 24 |
| S1                       |   |   |   | X  |    |    |    | X  |
| S2                       |   | X   |   |  |    | X  |    |    |
| S3                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S4                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S5                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S6                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S7                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S8                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S9                       |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S10                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S11                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S12                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S13                      |   |   |   | X  |    |    |    | X  |
| S14                      |   | X   |   | X  |    |    |    | X  |
| S15                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S16                      |   | X   |   | X  |    |    |    | X  |
| S17                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S18                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S19                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S20                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| S21                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S22                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| S23                      | X   |   |   |  |    |    |    | X  |
| S24                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S25                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S26                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S27                      |   |   | X   | X  |    |    |    | X  |

**Tabla 7 (continuación)**

| LUMINARIAS DE SOBREPONER |  |  |  |  | 16 | 18 | 22 | 24 |
|--------------------------|---|---|---|--|----|----|----|----|
| 28                       |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S29                      |   | X   |   |  |    |    |    | X  |
| S30                      |   |   |   | X  |    |    |    | X  |
| S31                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |
| S32                      |   |   | X   |  |    |    |    | X  |

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

## ANEXO 9. SIMILITUD DE LAS RUTAS DE PROCESO

En este anexo se especifica las similitudes en la manufactura de cada chasis, teniendo en cuenta el diagrama de flujo de proceso y los equipos predominantes, como se observa en la Tabla 6.

**Tabla 8. Operaciones realizadas en los chasis de luminarias del universo seleccionado basado en diagrama de flujo de proceso**

| OPERACIÓN<br>CÓDIGO            | 1<br>Puntos de soldadura en el chasis | 2<br>Aditamentos en lámina al chasis | 3<br>Pernos de sujeción | 4<br>Cambio de electrodos | 5<br>Soldadura de adición de material | 6<br>Pulido |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------|
| <b>LUMINARIAS DE COLGAR</b>    |                                       |                                      |                         |                           |                                       |             |
| <b>C1</b>                      | 28                                    | 5                                    | 6                       | X                         | x                                     | X           |
| <b>C2</b>                      | 22                                    | 4                                    | 6                       | X                         | x                                     | x           |
| <b>C3</b>                      | 52                                    | 11                                   | 10                      | X                         |                                       | x           |
| <b>C4</b>                      | 44                                    | 15                                   | 16                      | X                         | x                                     | x           |
| <b>C5</b>                      | 26                                    | 5                                    | 20                      | X                         |                                       | x           |
| <b>C6</b>                      | 8                                     | 7                                    | 20                      | X                         |                                       |             |
| <b>C7</b>                      | 8                                     | 7                                    | 20                      | X                         |                                       |             |
| <b>C8</b>                      | 16                                    | 6                                    | 12                      | X                         | x                                     | X           |
| <b>C9</b>                      | 16                                    | 1                                    | 8                       | X                         |                                       |             |
| <b>C10</b>                     | 14                                    | 1                                    | 6                       | X                         | x                                     | x           |
| <b>C11</b>                     | 18                                    | 6                                    | 6                       | X                         | x                                     | X           |
| <b>LUMINARIAS DE INCRUSTAR</b> |                                       |                                      |                         |                           |                                       |             |
| <b>I1</b>                      | 40                                    | 5                                    | 26                      | X                         | X                                     | X           |
| <b>I2</b>                      | 26                                    | 3                                    | 8                       | X                         | X                                     | X           |
| <b>I3</b>                      | 26                                    | 4                                    | 14                      | X                         | X                                     | X           |
| <b>I4</b>                      | 16                                    | 4                                    | 6                       | X                         |                                       |             |
| <b>I5</b>                      | 24                                    | 6                                    | 8                       | X                         | x                                     | x           |
| <b>I6</b>                      | 30                                    | 4                                    | 6                       | X                         |                                       |             |
| <b>I7</b>                      | 30                                    | 4                                    | 12                      | X                         |                                       |             |
| <b>I8</b>                      | 30                                    | 7                                    | 8                       | X                         |                                       |             |
| <b>I9</b>                      | 30                                    | 4                                    | 12                      | X                         | x                                     | x           |
| <b>I10</b>                     | 30                                    | 4                                    | 10                      | X                         |                                       |             |
| <b>I11</b>                     | 14                                    | 4                                    | 4                       | X                         |                                       |             |
| <b>I12</b>                     | 30                                    | 4                                    | 12                      | X                         |                                       |             |
| <b>I13</b>                     | 30                                    | 4                                    | 8                       | X                         | x                                     | x           |

Tabla 8 (continuación)

| <b>LUMINARIAS DE INCRUSTAR</b>  |    |    |    |   |   |   |
|---------------------------------|----|----|----|---|---|---|
| <b>I14</b>                      | 22 | 6  | 8  | X |   |   |
| <b>I15</b>                      | 22 | 2  | 8  | X |   | x |
| <b>I16</b>                      | 26 | 2  | 8  | X |   | x |
| <b>I17</b>                      | 22 | 5  | 8  | X | x | X |
| <b>I18</b>                      | 24 | 3  | 22 | X | x | X |
| <b>LUMINARIAS DE SOBREPONER</b> |    |    |    |   |   |   |
| <b>S1</b>                       | 16 | 2  | 8  | X | x | X |
| <b>S2</b>                       | 44 | 8  | 34 | X | x | x |
| <b>S3</b>                       | 12 | 5  | 8  | X |   |   |
| <b>S4</b>                       | 14 | 3  | 10 | X | X | X |
| <b>S5</b>                       | 14 | 2  | 8  | X | X | X |
| <b>S6</b>                       | 28 | 5  | 12 | X | X | X |
| <b>S7</b>                       | 14 | 3  | 10 | X | X | X |
| <b>S8</b>                       | 30 | 10 | 12 | X | X | X |
| <b>S9</b>                       | 40 | 5  | 26 | X | x | x |
| <b>S10</b>                      | 14 | 1  | 2  | X | X | X |
| <b>S11</b>                      | 8  | 1  | 8  | X |   |   |
| <b>S12</b>                      | 8  | 1  | 8  | X |   |   |
| <b>S13</b>                      | 60 | 3  | 12 | X |   |   |
| <b>S14</b>                      | 20 | 2  | 4  | X | X | X |
| <b>S15</b>                      | 12 | 6  | 8  | X | X | X |
| <b>S16</b>                      | 12 | 6  | 8  | X | X | X |
| <b>S17</b>                      | 12 | 2  | 8  | X |   |   |
| <b>S18</b>                      | 12 | 7  | 14 | X |   |   |
| <b>S19</b>                      | 20 | 6  | 8  | X | X | X |
| <b>S20</b>                      | 30 | 7  | 10 | X | X | X |
| <b>S21</b>                      | 24 | 6  | 8  | X |   |   |
| <b>S22</b>                      | 38 | 6  | 8  | X | X | X |
| <b>S23</b>                      | 30 | 6  | 8  | X |   |   |
| <b>S24</b>                      | 16 | 3  | 8  | X | X | X |
| <b>S25</b>                      | 16 | 7  | 14 | X | X | X |
| <b>S26</b>                      | 22 | 5  | 8  | X | X | X |
| <b>S27</b>                      | 12 | 1  | 10 | X | X | X |
| <b>S28</b>                      | 12 | 3  | 8  | X |   |   |
| <b>S29</b>                      | 20 | 2  | 12 | x | x | x |
| <b>S30</b>                      | 12 | 1  | 8  | x |   |   |
| <b>S31</b>                      | 8  | 7  | 20 | X |   |   |
| <b>S32</b>                      | 16 | 5  | 8  | X | X | X |

Fuente: Elaboración propia, octubre de 2010.

## ANEXO 10. CLASIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN POR MEDIO DEL CÓDIGO OPITZ

En este anexo se desarrolla la clasificación y codificación del universo de luminarias para la etapa de soldadura mediante el código OPITZ, aprovechando sus características de factibilidad, precisión, facilidad de uso y flexibilidad en procesos metalmeccánicos. La clasificación y codificación se puede observar en la Tabla 7.

**Tabla 9. Aplicación del código OPITZ para el universo de chasis de luminarias para la etapa de soldadura.**

| OPITZ                          | CÓDIGOS DE FORMA: ATRIBUTOS DE DISEÑO |                             |                           |                                |  | ATRIBUTOS DE FABRICACIÓN                         |   |   |   |   |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
|                                | 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>LUMINARIAS DE COLGAR</b>    |                                       |                             |                           |                                |  |  |   |   |   |   |
| C1                             | 6                                     | 1                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| C2                             | 6                                     | 0                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| C3                             | 6                                     | 1                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 5 |   |
| C4                             | 6                                     | 1                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| C5                             | 6                                     | 3                           | 1                         | 1                              | 0  | 1  | 2 | 6 | 5 |   |
| C6                             | 9                                     | 3                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 5 |   |
| C7                             | 9                                     | 3                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 2 | 6 | 5 |   |
| C8                             | 9                                     | 0                           | 6                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| C9                             | 6                                     | 6                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 2 | 5 | 5 |   |
| C10                            | 6                                     | 7                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| C11                            | 6                                     | 3                           | 0                         | 1                              | 0  | 1  | 2 | 4 | 4 |   |
| <b>LUMINARIAS DE INCRUSTAR</b> |                                       |                             |                           |                                |  |  |   |   |   |   |
| I1                             | 6                                     | 4                           | 4                         | 1                              | 0  | 2  | 2 | 6 | 4 |   |
| I2                             | 9                                     | 0                           | 0                         | 1                              | 0  | 1  | 2 | 4 | 4 |   |
| I3                             | 6                                     | 4                           | 0                         | 1                              | 0  | 0  | 2 | 4 | 4 |   |
| I4                             | 6                                     | 2                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 2 | 6 | 5 |   |
| I5                             | 6                                     | 0                           | 1                         | 1                              | 0  | 3  | 2 | 4 | 4 |   |
| 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 |   |
| I9                             | 6                                     | 4                           | 0                         | 1                              | 5  | 3  | 2 | 4 | 4 |   |
| I10                            | 6                                     | 4                           | 0                         | 0                              | 5  | 1  | 2 | 4 | 5 |   |
| I11                            | 6                                     | 4                           | 0                         | 0                              | 5  | 1  | 2 | 4 | 5 |   |

**Tabla 9 (continuación)**

| LUMINARIAS DE INCRUSTAR  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I12                      | 6 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| I13                      | 8 | 4 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| I14                      | 6 | 4 | 0 | 0 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| I15                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| I16                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| I17                      | 6 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 2 | 6 | 4 |
| I18                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 5 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| LUMINARIAS DE SOBREPONER |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| S1                       | 6 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S2                       | 6 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 6 | 4 |
| S3                       | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 5 |
| S4                       | 9 | 3 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S5                       | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S6                       | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S7                       | 9 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S8                       | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S9                       | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S10                      | 6 | 9 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 6 | 4 |
| S11                      | 6 | 9 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 6 | 5 |
| S12                      | 6 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S13                      | 6 | 7 | 0 | 0 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| S14                      | 6 | 7 | 0 | 1 | 5 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S15                      | 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S16                      | 6 | 7 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S17                      | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S18                      | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S19                      | 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S20                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S21                      | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S22                      | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| S23                      | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S24                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S25                      | 9 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S26                      | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S27                      | 6 | 7 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| S28                      | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S29                      | 6 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 5 |
| S30                      | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 |
| S31                      | 9 | 1 | 0 | 0 | 5 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| S32                      | 6 | 1 | 0 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 4 |

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2010.

## ANEXO 11. FAMILIAS RESULTANTES PARA REDISEÑAR

En este anexo se detallan las familias que pueden ser rediseñadas 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.

**Tabla 10. Familia 4**

| 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| <b>S9</b>            | 6                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 4 | 5 |
| <b>S23</b>           | 6                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 4 | 5 |
| <b>S30</b>           | 6                           | 0                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 4 | 5 |
| <b>S8</b>            | 6                           | 0                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S22</b>           | 6                           | 0                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>C2</b>            | 6                           | 0                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>I5</b>            | 6                           | 0                         | 1                              | 1  | 0  | 3 | 2 | 4 | 4 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

**Tabla 11. Familia 5**

| 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| <b>C10</b>           | 6                           | 7                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S1</b>            | 6                           | 7                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S14</b>           | 6                           | 7                         | 0                              | 1  | 5  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S16</b>           | 6                           | 7                         | 0                              | 1  | 5  | 1 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S27</b>           | 6                           | 7                         | 0                              | 1  | 5  | 1 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S13</b>           | 6                           | 7                         | 0                              | 0  | 5  | 1 | 2 | 4 | 5 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

**Tabla 12. Familia 6**

| 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| <b>C1</b>            | 6                           | 1                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>C3</b>            | 6                           | 1                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 5 |
| <b>C4</b>            | 6                           | 1                         | 0                              | 1  | 0  | 0 | 2 | 4 | 4 |
| <b>S32</b>           | 6                           | 1                         | 0                              | 1  | 5  | 1 | 2 | 4 | 4 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

**Tabla 13. Familia 7**

| 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| <b>I4</b>            | 6                           | 2                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 6 | 5 |
| <b>S3</b>            | 6                           | 2                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 6 | 5 |
| <b>I17</b>           | 6                           | 2                         | 0                              | 1  | 5  | 0 | 2 | 6 | 4 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

**Tabla 14. Familia 8**

| 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| <b>S10</b>           | 6                           | 9                         | 0                              | 1  | 0  | 2 | 2 | 6 | 4 |
| <b>S11</b>           | 6                           | 9                         | 0                              | 0  | 0  | 4 | 2 | 6 | 5 |
| <b>S12</b>           | 6                           | 9                         | 0                              | 0  | 0  | 0 | 2 | 4 | 5 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

**Tabla 15. Familia 9**

| CÓDIGO DE ASIGNACIÓN | 1°<br>dígito<br>clase<br>de la<br>parte | 2°<br>dígito<br>forma<br>principal | 3°<br>dígito<br>maquinado<br>rotacional | 4°<br>dígito<br>maquinado<br>del<br>plano de la<br>superficie | 5°<br>dígito<br>agujeros<br>adicionales<br>dentado y<br>formado | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|---|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>C9</b>            | 6                                       | 6                                  | 0                                       | 0   | 0   | 0 | 2 | 5 | 5 |
| <b>S29</b>           | 6                                       | 8                                  | 0                                       | 0   | 0   | 0 | 2 | 6 | 5 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2010.

## ANEXO 12. CRITERIOS DE SELECCIÓN APLICADOS A LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

En este anexo se describen algunos de los equipos que podrían conformar la célula de manufactura para el escenario A y el escenario B. Posteriormente se especificara la clasificación con base en criterios de selección establecidos mediante formatos de recolección de información, los formatos especificados en este anexo contienen la información de los equipos que quedaron establecidos para la planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura

**Tabla 16. Equipos analizados para la selección del escenario Ay B**

| EQUIPOS   | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS   |
|---|--|
| <p><b>Pinza de Soldadura de punto ARO XLA</b></p>       | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>                     Alimentación de red: 220,420 V<br/>                     Electrodo: Pinza manual<br/>                     Capacidad: 50 golpes x min<br/>                     Refrigeración: agua<br/>                     Expansiones de electrodo<br/>                     Presión del electrodo: presión neumática variable</p>   |
| <p><b>Pinza de Soldadura de punto MILLER LMSW</b></p>  | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>                     Alimentación de red: 220V<br/>                     Electrodo: Pinza manual<br/>                     Capacidad: 30 golpes x min<br/>                     Refrigeración: aire<br/>                     Expansiones de electrodo<br/>                     Presión del electrodo: presión neumática variable</p>  |
| <p><b>Soldador de punto tipo balancín ARO</b></p>      | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>                     Alimentación de red: 220V<br/>                     Electrodo: balancín<br/>                     Capacidad: 40 golpes x min<br/>                     Refrigeración: agua<br/>                     Electrodo: fijo<br/>                     Control: Manual<br/>                     Modulo de programación</p>   |
| <p><b>Soldador de punto y MIG PRO SPOT i4</b></p>      | <p>Tipo: soldadura de punto y soldadura MIG<br/>                     Alimentación de red: 220V, gas argón<br/>                     Electrodo: balancín y antorcha<br/>                     Capacidad: 40 golpes x min<br/>                     Refrigeración: agua<br/>                     Electrodo: con expansiones<br/>                     Control: semiautomático<br/>                     Módulos de programación</p> |

Tabla 16. (Continuación)

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Pinza de soldadura de punto<br/>TITE-SPOT</b></p>           | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>Alimentación de red: 220 V<br/>Electrodo: Pinza manual<br/>Capacidad: 25 golpes x min<br/>Refrigeración: agua<br/>Sin expansiones de electrodo<br/>Presión del electrodo: mecánica</p>           |
| <p><b>Soldador MIG<br/>HOBART HANDLER 125</b></p>                 | <p>Tipo: soldadura MIG<br/>Alimentación de red: 220,420 V.<br/>Gas. Dióxido de carbono o argón<br/>Alimentación de hilo de adición.<br/>Longitud cable: 3m<br/>Control: Manual (operario)<br/>Velocidad de soldadura media</p>   |
| <p><b>Soldador MIG<br/>LINCON K2816-1</b></p>                    | <p>Tipo: soldadura MIG<br/>Alimentación de red: 220,420 V.<br/>Gas. Dióxido de carbono o argón<br/>Alimentación de hilo de adición.<br/>Longitud cable: 2.7m<br/>Control: Manual (operario)<br/>Velocidad de soldadura media</p> |
| <p><b>Soldador MIG<br/>SEALEY 150Amp</b></p>                    | <p>Tipo: soldadura MIG<br/>Alimentación de red: 220 V.<br/>Gas. Dióxido de carbono o argón<br/>Alimentación de hilo de adición.<br/>Longitud cable: 2m<br/>Control: Manual (operario)<br/>Velocidad de soldadura: Alta</p>       |
| <p><b>Soldador de Pernos<br/>BTH TECH PRO-D 2200 basic</b></p>  | <p>Alimentación de red: 220 V<br/>Capacidad: 25 pernos por minuto<br/>Control: Manual (operario)<br/>Pistolas: 1</p>   |
| <p><b>Soldador de Pernos<br/>STUD CD-212</b></p>                | <p>Alimentación de red: 220 V<br/>Capacidad: 15 pernos por minuto<br/>Control: Manual (operario)<br/>Pistolas: 2</p>   |
| <p><b>Soldador de Pernos<br/>TAYLOR CDM Multi gun</b></p>       | <p>Alimentación de red: 220 V<br/>Capacidad: 10-50 pernos por minuto<br/>Control: Manual (operario)<br/>Pistolas: 4</p>  |

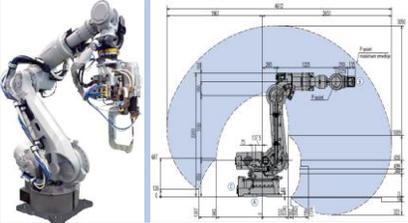
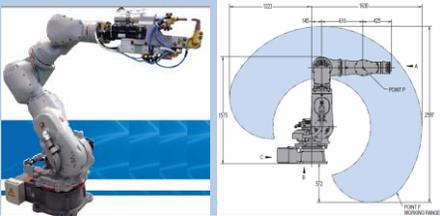
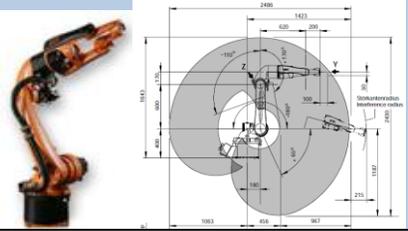
Tabla 16. (Continuación)

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Pulidora neumática<br/>DYNABRADE 5147x</b></p>                    | <p>Alimentación de red: aire de alimentación<br/>100 psi<br/>Capacidad: 3100 rpm<br/>Control: Manual (operario)</p>  |
| <p><b>Pulidora neumática<br/>PNEUMATIC L 1506</b></p>                   | <p>Alimentación de red: aire de alimentación<br/>150 psi<br/>Capacidad: 6000 rpm<br/>Control: Manual (operario)</p>  |
| <p><b>Banda transportadora<br/>AUTOMATION SERIES AS40</b></p>           | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>Velocidad : 45 m/min a 110 m/min<br/>Curvatura: 0"<br/>Longitud: 100"<br/>Motor: 2.7hp<br/>Motoreductor : 25 rpm</p>                         |
| <p><b>Banda transportadora<br/>DUMBAR SYSTEMS BRENDA</b></p>          | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>Velocidad : 55 m/min a 90 m/min<br/>Curvatura: 90°<br/>Longitud: 80"<br/>Motor: 3hp<br/>Motoreductor : 25- 45 rpm</p>                        |
| <p><b>Banda transportadora<br/>AS CONVEYING SYSTEM</b></p>            | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>Velocidad : 30 m/min a 100m/min<br/>Curvatura: 360°<br/>Longitud: 100"<br/>Motor : 4hp<br/>Motoreductor : 40 rpm</p>                         |
| <p><b>Banda transportadora<br/>MATRIX MATERIAL HANDLING 3200</b></p>  | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>Velocidad : 25 m/min a 90 m/min<br/>Curvatura: 0"<br/>Longitud: 20"<br/>Motor : 2hp<br/>Motoreductor : 23 rpm</p>                            |
| <p><b>Conveyor<br/>MOORE CONTROLS HFL 2002-S PALLET</b></p>           | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>Velocidad : 3 m/min a 35 m/min<br/>Curvatura: 360°<br/>Longitud: variable<br/>Pallets : 20<br/>Control: Automático<br/>Alta flexibilidad</p> |

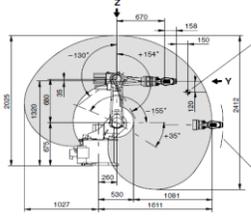
Tabla 16. (Continuación)

|  |   |
|--|---|
| <p align="center"><b>Conveyor<br/>MONTECH</b></p>   | <p>Alimentación de red: 230/460 voltios<br/>                 Velocidad : 5 m/min a 30 m/min<br/>                 Curvatura: 360°<br/>                 Longitud: variable<br/>                 Pallets : 15<br/>                 Control: Automático<br/>                 Alta flexibilidad</p>                      |
| <p align="center"><b>Conveyor<br/>FLEXLINK XT PALLET HANDLING</b></p>                     | <p>Alimentación de red: 220 voltios<br/>                 Velocidad : 30 m/min<br/>                 Curvatura: 360°<br/>                 Longitud: 25m<br/>                 Pallets : 10<br/>                 Control: Automático<br/>                 Alta flexibilidad<br/>                 Carga máxima: 30kg</p> |
| <p align="center"><b>Pinza de soldadura de punto para robot<br/>HERON WELDER</b></p>     | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>                 Alimentación de red: 220,420 V.<br/>                 Golpes por minuto:60<br/>                 Compatibilidad con ABB<br/>                 Brazos en bronce<br/>                 Refrigeración: agua<br/>                 Configuración: plug and play, no</p>     |
| <p align="center"><b>Pinza de soldadura de punto para robot<br/>SERRA GAMA X45</b></p>  | <p>Tipo: soldadura de punto<br/>                 Alimentación de red: 220,420 V.<br/>                 Golpes por minuto: 40<br/>                 Brazos en cobre<br/>                 Refrigeración: agua<br/>                 Configuración: plug and play, no</p>   |
| <p align="center"><b>Cabeza de soldadura de pernos<br/>BTH TECH KKA-50</b></p>          | <p>Alimentación de red: 220,420 V<br/>                 Aire de alimentación 70 psi<br/>                 Rango de soldadura: 3-10 mm<br/>                 Material para soldar: acero, hierro.<br/>                 Capacidad: 40 pernos por minuto</p>  |
| <p align="center"><b>Cabeza de soldadura de pernos<br/>NELSON KSE 100</b></p>           | <p>Alimentación de red: 220,420 V<br/>                 Aire de alimentación 110 psi<br/>                 Rango de soldadura: 5-10 mm<br/>                 Material para soldar: acero, hierro, aluminio.<br/>                 Capacidad: 60 pernos por minuto</p>   |
| <p align="center"><b>Cabeza de soldadura de pernos<br/>SOYER SK-1A</b></p>              | <p>Alimentación de red: 220,420 V<br/>                 Aire de alimentación 90 psi<br/>                 Rango de soldadura: 3-8 mm<br/>                 Material para soldar: acero, hierro, aluminio.<br/>                 Capacidad: 60 pernos por minuto</p>   |

Tabla 16. (Continuación)

|  |  |
|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>Lijadora<br/>LULONG DS 12</b></p>     | <p>Alimentación de red: 120V<br/>potencia: 550W<br/>Velocidad: 7000 rpm<br/>Motor: 1hp<br/>Rodillos abrasivos</p>  |
| <p style="text-align: center;"><b>Esmeril<br/>LULONG MMT3112</b></p>    | <p>Alimentación de red: 120V<br/>potencia: 800W<br/>Velocidad: 7000 rpm<br/>Motor: 1hp<br/>Rodillos abrasivos</p>  |
| <p style="text-align: center;"><b>Robot<br/>MOTOMAN ES165D</b></p>     | <p>Grados de libertad: 6<br/>Precisión en la repetición: <math>\pm 0.2</math> mm (0.008")<br/>Alimentación de red: 220,600 VAC, trifásica<br/>Controlador: armario de control externo<br/>Buses de campo: Interbus, ProfiBus DP 128/128, DeviceNet<br/>Red: Ethernet FTP/NFS</p>           |
| <p style="text-align: center;"><b>Robot<br/>MOTOMAN VS50</b></p>      | <p>Grados de libertad: 7<br/>Precisión en la repetición: <math>\pm 0.1</math> mm (0.004")<br/>Alimentación de red: 220,600 VAC, trifásica<br/>Controlador: armario de control externo<br/>Buses de campo: Interbus, ProfiBus DP 128/128, DeviceNet<br/>Red: Ethernet FTP/NFS</p>           |
| <p style="text-align: center;"><b>Robot<br/>KUKA KR 5 ARC HW</b></p>  | <p>Grados de libertad: 6<br/>Precisión en la repetición: <math>\pm 0.2</math> mm<br/>Alimentación de red: 220,600 VAC, trifásica<br/>Carga max: 5kg<br/>Controlador: armario de control externo<br/>Buses de campo: Interbus, ProfiBus DP 128/128, DeviceNet<br/>Red: Ethernet FTP/NFS</p> |

**Tabla 16. (Continuación)**

| <b>Robot<br/>KUKA KR 16 S</b>   |   |
|---|---|
|   | <p>Grados de libertad: 6<br/>Precisión en la repetición: <math>\pm 0.1</math> mm<br/>Alimentación de red: 220,600 VAC, trifásica<br/>Carga max: 16kg<br/>Controlador: armario de control externo<br/>Buses de campo: Interbus, ProfiBus DP<br/>128/128, DeviceNet<br/>Red: Ethernet FTP/NFS</p> |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

A continuación se aplican los criterios de selección de equipos al escenario A y escenario B propuestos como componentes de la planificación de diseño del modelo físico de una célula de manufactura expuestos en la monografía en el numeral 3.4.6.

**Tabla 17. Criterios de características técnicas fundamentales para la selección de un equipo para el escenario A**

| Equipo                    | Acondicionamiento                               | Accionamiento                 | Capacidad y Velocidad                      | Simultaneidad | Confiabilidad |
|---------------------------|---|-------------------------------|--|---------------|---------------|
| Soldador PR-2000          | Corriente eléctrica, aire de instrumentos, agua | Fácil manipulación Automático | Satisface los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |
| Soldador Millermatic-350p | Corriente eléctrica, soldadura aporte           | Fácil manipulación Automática | Satisface los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |
| Dorner 5200               | Corriente eléctrica, PLC, sensores              | Automático/manual             | Satisface los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 18. Criterios de costos para la selección de un equipo para el escenario A**

| Equipo                    | Adquisición | Instalación | Operación      | Personal                                     | Vida útil       |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------|--|-----------------|
| Soldador PR-2000          | \$ 4920 US  | \$ 270 US   | No determinado | Necesita capacitación (valor no determinado) | +/- 54000 horas |
| Soldador Millermatic-350p | \$ 4687 US  | \$ 230 US   | No determinado | Necesita capacitación (valor no determinado) | +/- 36000 horas |
| Dorner 5200               | \$ 3890 US  | \$ 360 US   | No determinado | Necesita capacitación (valor no determinado) | No determinado  |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 19.** Criterios de relación con proveedores para la selección de equipo para el escenario A

| Equipo                    | Entrenamiento              | Mantenimiento                 | Simulación    | Pruebas                | Garantías                       |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------|
| Soldador PR-2000          | Capacitación mantenimiento | Aceptable servicio post-venta | No la soporta | Servicio no disponible | Por defectos de fábrica (1 año) |
| Soldador Millermatic-350p | Capacitación mantenimiento | Aceptable servicio post-venta | No la soporta | Servicio no disponible | Por defectos de fábrica (1 año) |
| Dorner 5200               | Capacitación mantenimiento | Excelente servicio post-venta | Opcional      | Servicio no disponible | Por defectos de fábrica (1 año) |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 20.** Criterios de características técnicas fundamentales para la selección de un equipo para el escenario B

| Equipo                                     | Acondicionamiento                         | Accionamiento                    | Capacidad y Velocidad                   | Simultaneidad | Confiabilidad |
|--|---|----------------------------------|---|---------------|---------------|
| ABB IBR 2400L                              | Corriente eléctrica, aire de instrumentos | Control Automático, programación | Supera los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |
| ARO 3-GZ                                   | Corriente eléctrica agua                  | Manipulación por robot           | Supera los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |
| OTC DAIHEN MIG 135                         | Corriente eléctrica, soldadura aporte     | Manipulación por robot           | Supera los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |
| Cabeza de soldadura de pernos SOYER SK-5AN | Corriente eléctrica Aire de instrumentos  | Manipulación por robot           | Supera los requerimientos de producción | Flexible      | Alta          |

**Tabla 20 (continuación)**

| <b>Equipo</b>                          | <b>Acondicionamiento</b>                | <b>Accionamiento</b> | <b>Capacidad y Velocidad</b>            | <b>Simultaneidad</b>    | <b>Confiabilidad</b> |
|--|---|----------------------|---|-------------------------|----------------------|
| Lijadora BURT BS220X2000               | Corriente eléctrica                     | Fácil manipulación   | Supera los requerimientos de producción | Flexible                | Alta                 |
| Conveyor AMBER TR100                   | Corriente eléctrica, sistema de control | Control por PLC      | Supera los requerimientos de producción | Flexible                | Alta                 |
| Sensor de cortina de luz XU2S18KP340DT | 24 V Fuente Externa                     | Fácil manipulación   | Supera los requerimientos de producción | Solo elemento metálicos | Alta                 |
| PLC SIEMEN S7 1200 1214c               | Corriente eléctrica                     | Programación         | Supera los requerimientos de producción | Flexible                | Alta                 |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 21. Criterios de costos para la selección de un equipo para el escenario B**

| <b>Equipo</b>                              | <b>Adquisición</b> | <b>Instalación</b> | <b>Operación</b> | <b>Personal</b>                                   | <b>Vida útil</b>                               |
|--|--------------------|--------------------|------------------|---|--|
| ABB IBR 2400L                              | \$ 17000 US        | \$ 520 US Aprox    | No determinado   | capacitación especializada (valor no determinado) | (depende de la carga y el ambiente de trabajo) |
| ARO 3-GZ                                   | \$ 3900 US         | \$ 230 US Aprox    | No determinado   | Necesita capacitación (valor no determinado)      | +/- 66000 horas                                |
| OTC DAIHEN MIG 135                         | \$ 4100 US         | \$ 180 US Aprox    | No determinado   | Necesita capacitación (valor no determinado)      | +/- 41000 horas                                |
| Cabeza de soldadura de pernos SOYER SK-5AN | \$ 3100 US         | \$ 170 US Aprox    | No determinado   | Necesita capacitación (valor no determinado)      | +/- 39000 horas                                |

**Tabla 21 (continuación)**

| Equipo                                    | Adquisición            | Instalación      | Operación      | Personal  | Vida útil  |
|---|------------------------|------------------|----------------|---|--|
| Lijadora BURT<br>BS220X2000               | \$900 US               | \$ 130 US Aprox  | No determinado | No aplica                                       | No determinado                                       |
| Conveyor AMBER<br>TR100                   | \$12000 US             | \$ 1200 US Aprox | No determinado | Necesita capacitación<br>(valor no determinado) | (depende de la<br>carga y el ambiente<br>de trabajo) |
| Sensor de cortina de luz<br>XU2S18KP340DT | \$ 56 US (x<br>unidad) | No aplica        | No determinado | Necesita capacitación<br>(valor no determinado) | No determinado                                       |
| PLC SIEMEN S7 1200<br>1214c               | \$ 1000 US             | \$ 800 US Aprox  | No determinado | Necesita capacitación<br>(valor no determinado) | No determinado                                       |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 22. Criterios de relación con proveedores para la selección de equipo para el escenario B**

| Equipo   | Entrenamiento                                | Mantenimiento                    | Simulación        | Pruebas                                    | Garantías                           |
|--|--|----------------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| ABB IBR 2400L                                    | Capacitación asistida<br>por personal de ABB | Excelente servicio<br>post-venta | Excelente soporte | Servicio disponible<br>con costo adicional | Por defectos de<br>fábrica (5 años) |
| ARO 3-GZ   | Capacitación<br>mantenimiento                | Aceptable servicio<br>post-venta | No la soporta     | No aplica                                  | Por defectos de<br>fábrica (2 años) |
| OTC DAIHEN MIG<br>135                            | Capacitación<br>mantenimiento                | Aceptable servicio<br>post-venta | No la soporta     | No aplica                                  | Por defectos de<br>fábrica (1 año)  |
| Cabeza de soldadura<br>de pernos SOYER<br>SK-5AN | Capacitación<br>mantenimiento                | Aceptable servicio<br>post-venta | No la soporta     | No aplica                                  | Por defectos de<br>fábrica (1 año)  |
| Lijadora BURT<br>BS220X2000                      | No aplica                                    | No determinado                   | No la soporta     | No aplica                                  | Por defectos de<br>fábrica (1 año)  |

**Tabla 22 (continuación)**

| <b>Equipo</b>                          | <b>Entrenamiento</b>                | <b>Mantenimiento</b>          | <b>Simulación</b> | <b>Pruebas</b>  | <b>Garantías</b>                 |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|---|----------------------------------|
| Conveyor AMBER TR100                   | Asistida por personal de la empresa | Excelente servicio post-venta | Excelente soporte | Servicio disponible con costo adicional                     | Por defectos de fábrica (3 años) |
| Sensor de cortina de luz XU2S18KP340DT | No aplica                           | No determinado                | No la soporta     | No aplica   | Por defectos de fábrica (1 año)  |
| PLC SIEMEN S7 1200 1214c               | Asistida por personal de la empresa | Excelente servicio post-venta | Excelente soporte | No aplica (se tienen referencias de procesos ya ejecutados) | Por defectos de fábrica (1 año)  |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

De acuerdo con los criterios de funcionalidad, simultaneidad, costos, garantías y servicios postventa, entre otros, es necesario realizar una comparación con las máquinas-herramientas actuales de la etapa de soldadura de chasis de luminarias y las equipos propuestos para el modelo físico de la célula de manufactura propuesta; con esto se logra tener un criterio más claro al momento de adquirir nueva tecnología para la etapa de soldadura de luminarias.

Se realiza una comparación como se observa en la Tabla 20 y Tabla 21, las cuales indican el porcentaje con el que las máquinas-herramientas propuestas superan la capacidad de producción de los equipos que se encuentran actualmente. Para algunos de los equipos no aplica la comparación, ya que siguen siendo los mismos que se encuentran en la actualidad, o no se puede determinar su productividad hasta tener la implementación de la célula de manufactura.

**Tabla 23. Comparación de la capacidad de producción de máquinas-herramientas propuestas para el escenario A**

| <b>EQUIPO</b>  | <b>CAPACIDAD DE PRODUCCION</b>  | <b>COMPARACION CON EQUIPOS ACTUALES</b> |
|--|---|---|
| Soldador de punto PRO SPOT PR-2000                         | Capacidad: 40 golpes x min  | 14%                                     |
| Soldador MIG Millermatic-350p                              | Velocidad de soldadura alta, varía de acuerdo a la velocidad de suministro del material de aporte | 30%                                     |
| Soldador de Pernos AS Schöler + Bolte de la serie BTH TECH | Cadencia de Trabajo: Hasta 40 pernos /min<br>Expansión a 4 pistolas                               | 100%                                    |
| Banda transportadora Dorner serie 5200                     | Velocidad : 36 m/min a 100 m/min<br>Motor de 3hp con unidad de frecuencia variable, 6-60 Hz       | N/A                                     |
| Pulidora neumática HOLDEN                                  | Capacidad: 2000 rpm   | N/A                                     |
| Mototool AXMO de 2200                                      | Capacidad: 2200 rpm   | N/A                                     |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

**Tabla 24. Comparación de la capacidad de producción de máquinas-herramientas propuestas para el escenario B**

| <b>EQUIPO</b>       | <b>CAPACIDAD DE PRODUCCION</b> | <b>COMPARACION CON EQUIPOS ACTUALES</b> |
|---------------------|--------------------------------|---|
| Robot ABB IBR 2400L | No determinada                 | N/A                                     |

**Tabla 24 (continuación)**

| <b>EQUIPO</b>                              | <b>CAPACIDAD DE PRODUCCION</b>  | <b>COMPARACION CON EQUIPOS ACTUALES</b> |
|--|---|---|
| Pinza de soldadura para robot ARO 3-GZ     | Golpes por minuto:50  | 42%                                     |
| Soldador OTC DAIHEN MIG 135                | Velocidad de soldadura alta, varía de acuerdo a la velocidad de suministro dl material de aporte y del brazo robótico | 30%                                     |
| Lijadora BURT BS220X2000                   | Velocidad de correa: 29m/s  | 20%                                     |
| Cabeza de soldadura de pernos SOYER SK-5AN | Capacidad: 30 pernos por minuto   | 50%                                     |

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

## **ANEXO 13. HERRAMIENTA SOFTWARE OPENCIM**

En este anexo se describirán las principales características de la herramienta software Opencim y su complemento RoboCell de la empresa Intellitek, con el fin de informar acerca del entorno de trabajo y desarrollo donde se realizó la representación esquemática del modelo físico de una célula de manufactura propuesto para la etapa de soldadura de chasis de luminarias.

La empresa desarrolladora de esta herramienta software, llamada Intellitek, es el principal diseñador del mundo, productor y proveedor de tecnología de sistemas de entrenamiento, diseñando y suministrado soluciones comprensivas de: manufactura, automatización y tecnologías industriales. Su amplia gama de productos se extiende a CAD para planos, CAM, CNC, robótica, visión de máquina, hidráulica, neumática, controladores lógicos programables, sensores, control del procesos y adquisición de datos.

### **13.1 OPENCIM**

Es un paquete de programas completo para la operación, control y simulación de sistemas, donde los usuarios pueden diseñar y ejecutar una variedad ilimitada de células de sistemas flexibles de manufactura en el modo de simulación.

- Permite la experimentación y conocimiento de los conceptos, usos e interconexiones de varios módulos del programa que comprenden un sistema de manufactura integrada por computador.
- Facilita la optimización reforzada del funcionamiento y análisis de la actuación para apoyar los estudios en la gerencia industrial, la investigación de operaciones, ciencias de administración y campos relacionados.
- Suministra los elementos necesarios para diseñar células de manufactura virtuales, facilitando la experimentación con sistemas de manufactura integrada por computador y configuraciones de células de trabajo que requieran un análisis especial.

#### **13.1.1 Componentes fundamentales de Opencim**

En este numeral se describen los componentes fundamentales de una célula de manufactura en OpenCIM, donde se incluye la configuración física de la célula, el flujo de materiales, control y dispositivos de producción y redes de comunicación.

- **Conveyor:** dispositivo que transporta las piezas de una estación a otra.
- **Estaciones de producción:** lugares alrededor de la célula de manufactura donde las piezas son procesadas y almacenadas por máquinas y robots. Los robots mueven las partes/piezas entre el conveyor y las máquinas de la estación.
- **Administrador CIM:** es el computador que contiene instalado el software de administrador CIM; es el que coordina el funcionamiento de todos los dispositivos en una célula de manufactura mediante una red LAN mediante la información de los dispositivos, la configuración de la célula, el inventario de materias primas y partes, los procesos de fabricación y las definiciones de una parte/pieza y las órdenes de pedidos a proveedores.
- **Estación del administrador:** es el computador que controla los diferentes dispositivos en una estación y tiene un enlace de comunicación con el administrador CIM. El control de dispositivos es realizado por los controladores de dispositivos de Opencim que se ejecutan en este equipo. Un controlador de dispositivo controla el funcionamiento de un dispositivo de una estación en respuesta a los comandos desde el administrador CIM.
- **Configuración virtual CIM:** es un módulo gráfico que permite crear una simulación de una célula de manufactura CIM; ésta puede contener los elementos reales y las conexiones de una instalación real o puede definir una célula de manufactura CIM teórica (virtual).
- **Display gráfico 3D:** simula de una forma dinámica y segura los componentes y procesos de un CIM, además de permitir el seguimiento gráfico en línea de los procesos de fabricación y una simulación fuera de línea para testear procesos de producción antes de su ejecución real.

## 13.2 ROBOCELL

RoboCell permite la representación de un robot y sus dispositivos básicos, basándose en las dimensiones reales y las funciones de los equipos SCORBOT. Por lo tanto, el funcionamiento y programación del robot en RoboCell se puede utilizar con una instalación robótica real. Además, con sus características en su pantalla gráfica y las operaciones automáticas, tales como reiniciar la célula de manufactura y enviar comandos al robot en línea, permite una programación rápida y precisa.

### 13.2.1 Componentes fundamentales de Robocell

- **SCORBASE:** un paquete software que controla todas las funciones de la robótica, proporcionando una herramienta fácil de usar para la programación y operación del robot.
- **Visualización gráfica:** proporciona una simulación 3D del robot y otros elementos de una célula de trabajo robotizada virtual, donde se puede enseñar posiciones al robot y ejecutar programas en línea al robot.

- **Configuración de la célula:** permite crear una nueva célula de trabajo robotizada virtual o modificar una célula de trabajo existente.

### 13.3 GUÍA DE MANEJO BÁSICO DE OPENCIM

En este numeral se describe un proceso de manejo básico de las herramientas de diseño de OpenCim, para la construcción de todos los elementos involucrados en una célula de manufactura flexible.

#### 13.3.1 Instalación del software OpenCim

Para instalar estas herramientas software es necesario contar previamente con los siguientes plugins:

- Java 6.1 (o superior).
- Learnmate Agent.
- Elearning Common

Cuando se cuenta con estos plugins se procede a la instalación del siguiente paquete:

- OpenCim4x.

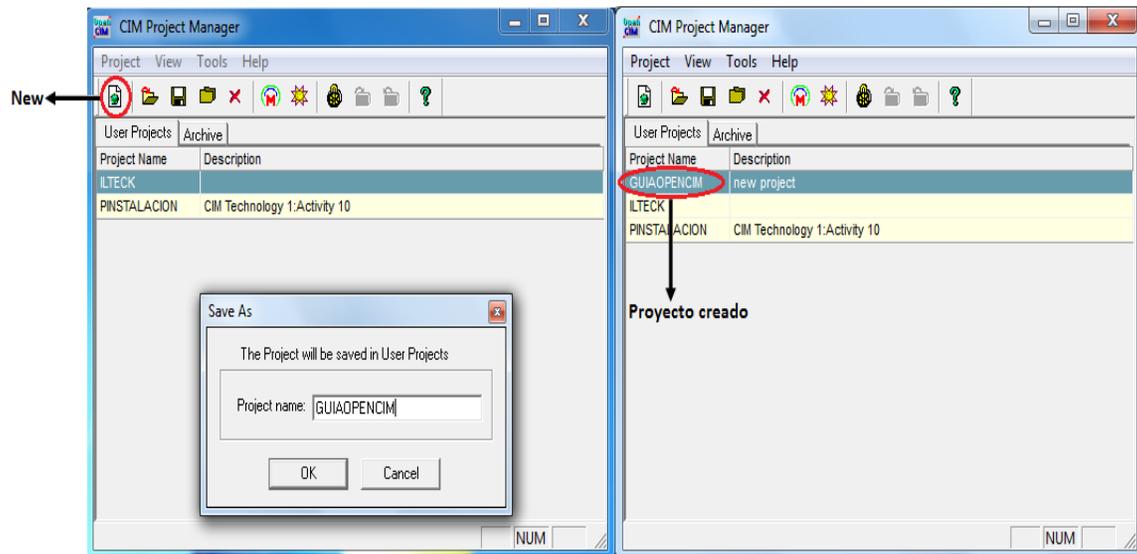
Nota: Las versiones de prueba cuentan con una licencia máxima de 15 días para su uso.

#### 13.3.2 Manejo básico OpenCIM

Para diseñar una célula de manufactura flexible desde cero es necesario crear un proyecto en OpenCim como se observa en la Figura 21.

En la Figura 21, se observa en la barra de herramientas la opción **New** la cual abre la ventana **Save AS** donde en el campo **Project name** le asignamos el nombre relativo a al proceso presente en la célula de manufactura flexible a diseñar, cuando se ha realizado este paso correctamente en la ventana **User Projects** se encuentra el proyecto creado en este caso **GUIAOPENCIM**.

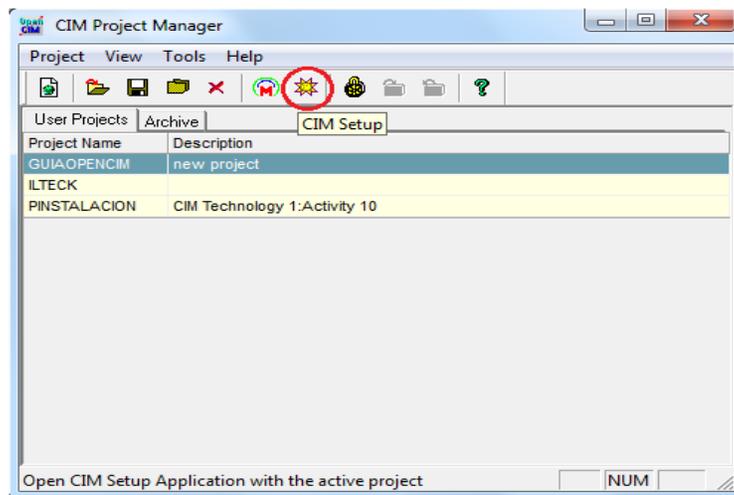
**Figura 21. Creación de un proyecto**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

A continuación es necesario lanzar el modulo denominado CIM Setup como se observa en la Figura 22.

**Figura 22. Lanzar modulo CIM Setup**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

En este paso como se observa en la Figura 22, se selecciona el proyecto creado (**GUIAOPENCIM**) y accedemos al icono de **CIM Setup**.

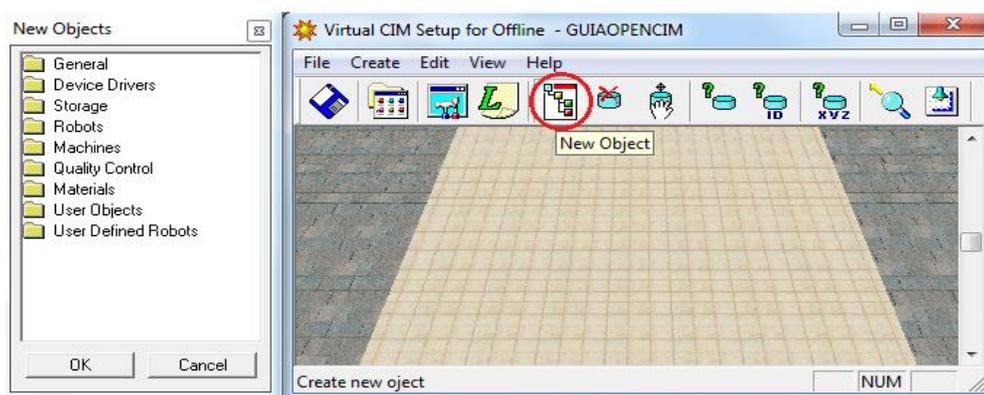
Después de lanzar el modulo **CIM Setup** se abre el entorno de desarrollo de la aplicación de diseño como se observa en la Figura 23, donde nos permite mediante su barra de herramientas configurar cada elemento perteneciente a cada estación de la célula de manufactura flexible y generar los archivos base para la posterior simulación, este procedimiento se describirá paso a paso a continuación:

**Figura 23. Modulo CIM Setup**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

**Figura 24. Componentes del modulo *New Object***

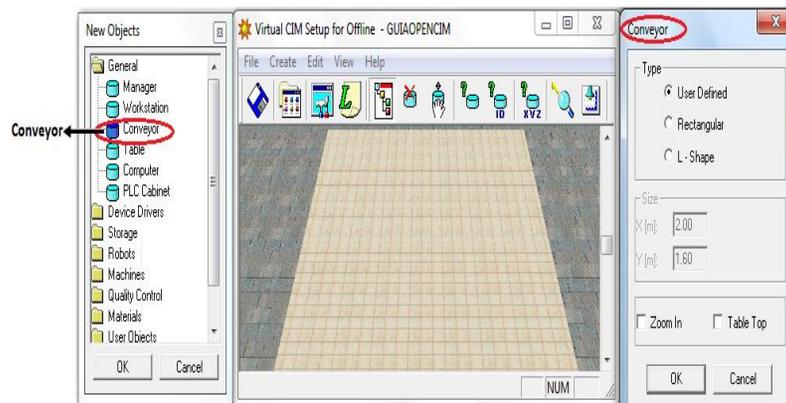


Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

En la Figura 24 se observa el modulo **New Object** el cual despliega una ventana compuesta de todos los elementos necesarios para el diseño de una célula de manufactura flexible.

A partir de este punto se mostrara el procedimiento de diseño de la estación de transporte, una estación de soldadura y la estación de recuperación y almacenamiento, posteriormente se toma como base el diseño propuesto en el capítulo 4 para continuar con la guía.

**Figura 25. Configuración de un objeto**

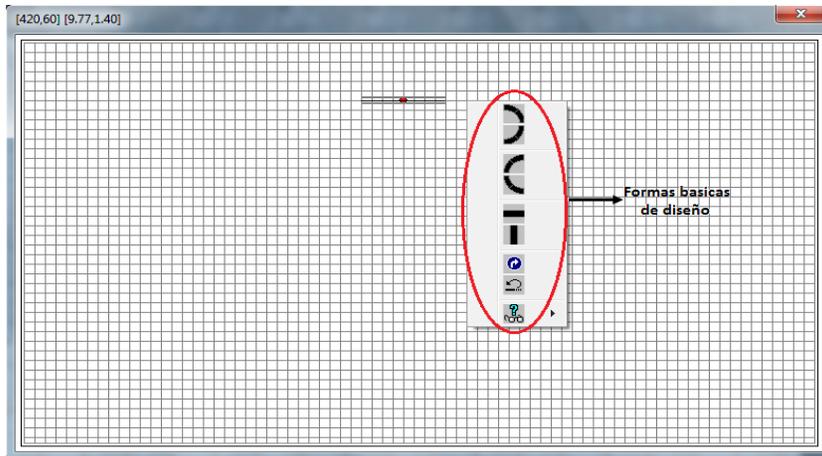


Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

- En la Figura 25 se observa que en la lista de componentes de elementos del modulo **New Objects** se selecciona **Conveyor**, el cual abre la ventana que contiene las opciones de diseño (definida por el usuario, forma rectangular, forma de L y el tamaño), se marca la opción **User Defined** para diseñar la forma del **Conveyor** que se desea.

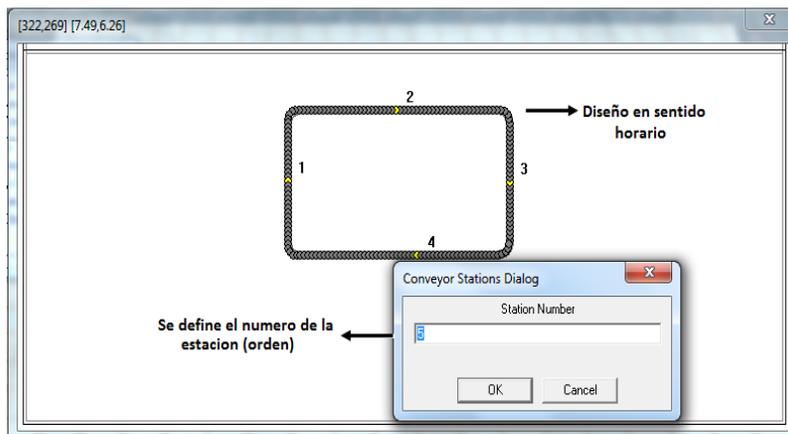
Cuando se selecciona **User Defined** se abre el entorno de desarrollo de la Figura 26, el cual cuenta con formas básicas para diseñar la estación de transporte, es necesario marcar el inicio del conveyor para poder cerrarlo al final del diseño, en la Figura 27 se observa la asignación del orden y posición de las estaciones, el orden debe coincidir respectivamente desde la estación de recuperación y almacenamiento hasta la última estación del proceso de producción.

**Figura 26. Entorno de diseño del Conveyor**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

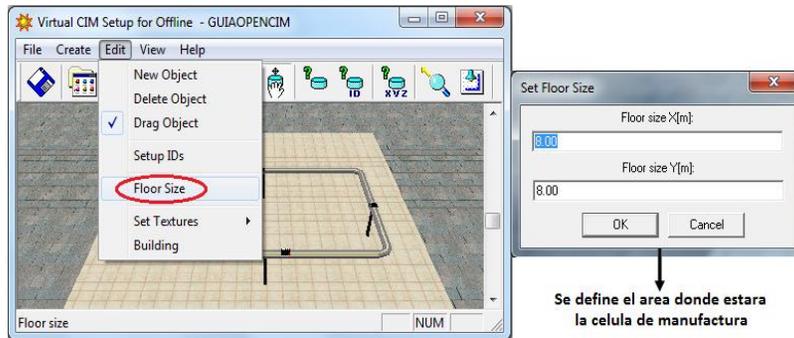
**Figura 27. Asignación y orden de las estaciones**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

- En la Figura 28 se observa la selección de la opción **Floor Size** que permite establecer las dimensiones requeridas de la célula de manufactura; los elementos y objetos requeridos en el diseño deben estar dentro de estas dimensiones.

Figura 28. Configuración del área

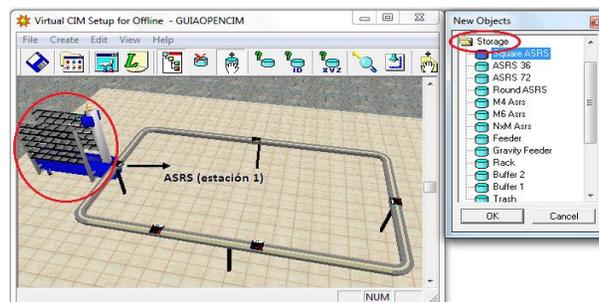


Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

Posteriormente cuando ya se ha definido el área de planta y el conveyor con sus respectivas estaciones, se procede a ubicar geográficamente dentro del entorno de diseño las siguientes estaciones:

- Estación del ASRS: se ubica en la ventana **New Objects** la carpeta desplegable **Storage**, en esta se encuentra todos los elementos y objetos referentes al almacenamiento, para esta estación se selecciona **Square ASRS** como se observa en la Figura 29.

Figura 29. Estación de recuperación y almacenamiento

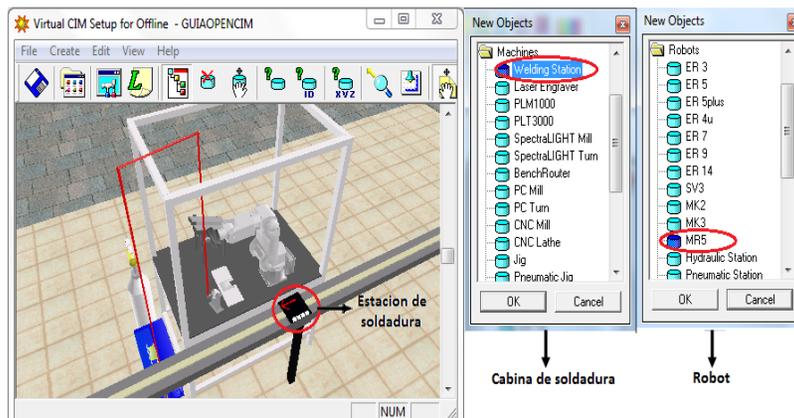


Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

- Estación de soldadura: se ubica en la ventana **New Objects** la carpeta desplegable **Machines**, en esta se encuentra todos los elementos y objetos referentes a maquinas, herramientas y equipos de procesamiento directo, para esta estación se selecciona **Welding Station** para configurar la cabina y el equipo de soldadura, también se ubica la

carpeta desplegable **Robots** la cual está conformada por robots industriales, grúas, estaciones hidráulicas y estaciones neumáticas, para esta estación se selecciona el robot **MR5**, por último se ubica la carpeta desplegable **Storage** y se selecciona **Gravity feeder** como elemento de almacenamiento y suministro intermedio, todo este proceso se observa en la Figura 30.

**Figura 30. Estación de soldadura**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

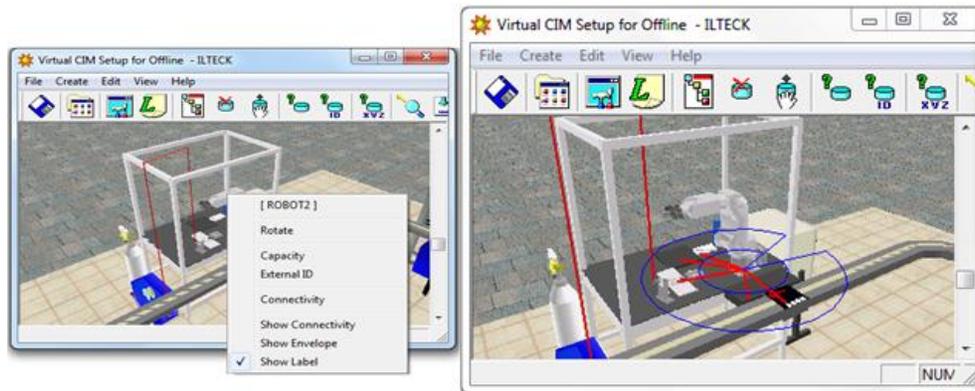
Cuando ya se cuenta con las estaciones deseadas en el diseño de la célula de manufactura flexible, se procede a configurar la conexión entre los elementos de las estaciones y el conveyor, además de configurar los drivers requeridos para realizar la conexión entre las estaciones de trabajo, la estación de administración y el **CIM Manager** para su posterior simulación como se describe a continuación:

- Para lograr una conexión satisfactoria con cada uno de los elementos y objetos de la estación, se aconseja realizar doble click izquierdo sobre el elemento u objeto principal de la estación, esto abre una ventana de dialogo como se observa en la Figura 31, se selecciona **Show Connectivity** y **Show Envelope**, de esta forma se habilita el rango máximo de alcance del robot indicado mediante una guía de color azul, de tal manera que todo lo que se encuentre dentro de este límite podrá ser manipulado por el robot, además mediante unas guías de color rojo se indica las posibles conexiones y relaciones que puede contener el elemento u objeto principal de la estación.

- Al tener identificado las posibles conexiones y relaciones entre los elementos y objetos de la estación, como se observa en la Figura 32 se ubica en la ventana **New Objects** la carpeta desplegable **Device Drivers**, en esta se encuentra todos los drivers referentes a maquinas, herramientas y equipos lo cuales configuran la conexión con el **CIM Manager**, en este caso se selecciona **Acl, Pic, Process** que son los drivers necesarios para configurar el robot, el conveyor y el equipo de soldadura respectivamente. Posteriormente

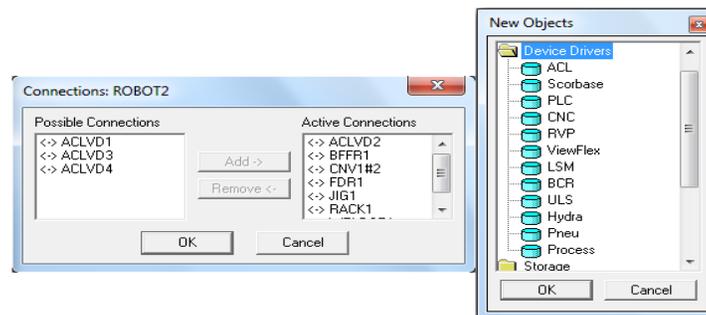
se procede a realizar doble click sobre el elemento u objeto principal y se selecciona **Connectivity** el cual abre una ventana compuesta de dos columnas, la primera muestra las posibles conexiones, cuando se desea realizar una conexión se selecciona y se adiciona, cuando se ha realizado este procedimiento correctamente en la columna de el lado derecho aparece los elementos, objetos y drivers relacionados a la estación.

**Figura 31. Ambiente de conexiones del robot**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

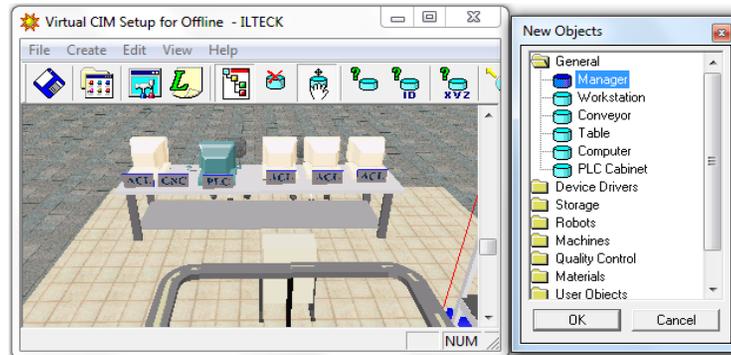
**Figura 32. Entorno de conexiones entre elementos de la estación**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

- Por último es necesario establecer las estaciones de trabajo y la estación de administrador CIM, como se observa en la Figura mmm se ubica en la ventana **New Objects** la carpeta desplegable **General**, se selecciona **Manager, Workstation, Table, PLC Cabinet y Computer**, después se procede a ubicarlo como se ve en la Figura mmm y se realiza la conexión y relación entre cada Workstation y la estación diseñada, involucrando nuevamente los drivers presentes.

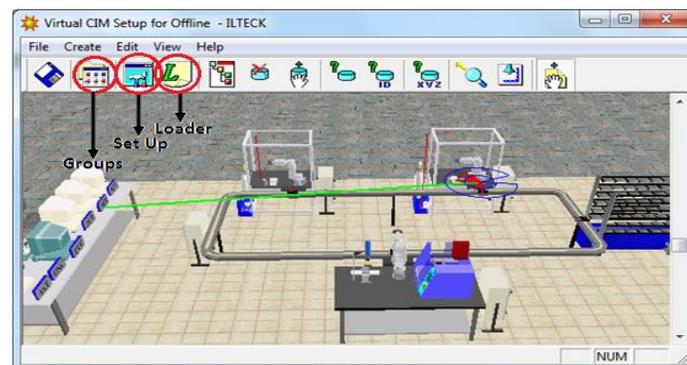
**Figura 33. Estaciones de trabajo y administrador CIM**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

De esta forma queda estipulado el diseño de la estación de transporte y de soldadura, las otras estaciones presentadas en el diseño se realizan de la misma manera, por lo cual no se especificara el proceso de diseño, solo se muestra en la Figura 34 el resultado final de la célula de manufactura propuesta para la etapa de soldadura de chasis, quedando pendiente generar el paquete de archivos de lectura, drivers y archivos propietarios del software para la posterior simulación mediante el icono **Loader, Set up y Groups** mostrado en la Figura 34.

**Figura 34. Célula de manufactura propuesta y paquete de archivos de lectura**

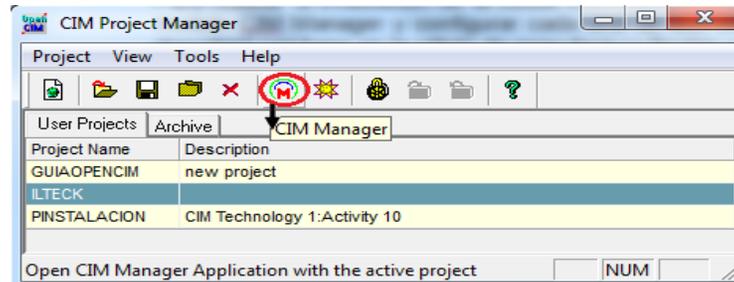


Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

Para realizar la evaluación de la célula manufactura propuesta es necesario lanzar el modulo **CIM Manager** y configurar cada una de sus componentes, este proceso se describirá con base en la célula de manufactura flexible propuesta.

- El primer paso es lanzar el modulo denominado CIM Manager como se observa en la Figura 35.

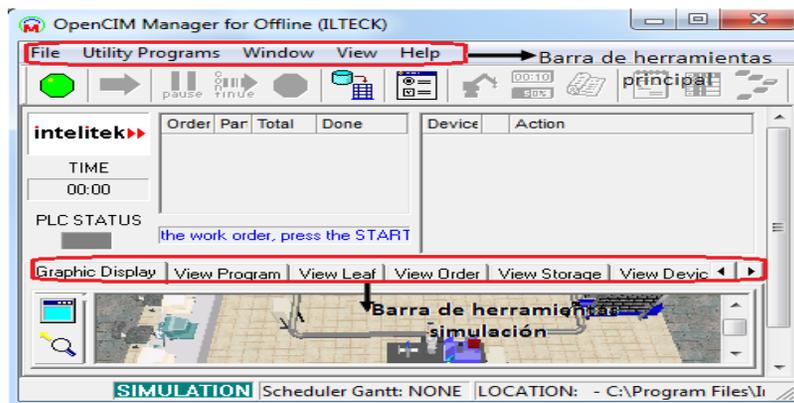
**Figura 35. Lanzar modulo CIM Manager**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

Después de lanzar el modulo **CIM Manager** se abre el entorno de desarrollo de la aplicación de simulación como se observa en la Figura 36, donde permite mediante su barra de herramientas configurar cada elemento perteneciente a cada estación de la célula de manufactura flexible y generar la programación base para la simulación, este procedimiento se describirá paso a paso a continuación:

**Figura 36. Modulo CIM Manager**

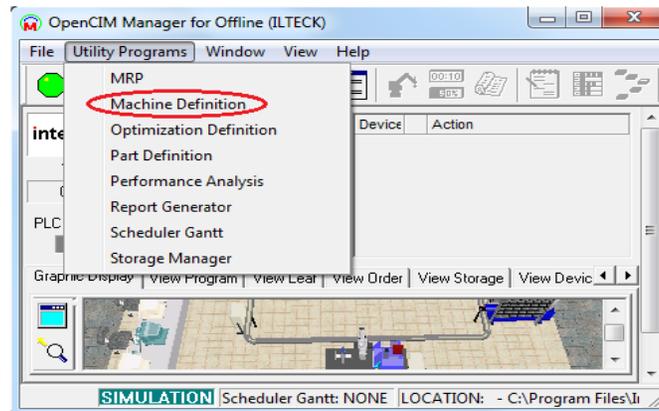


Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

- En la barra de herramientas seleccionamos **Utility Programs** y de su lista desplegable la opción **Machine Definition** como se observa en la Figura 37, se abre una ventana que contiene las estaciones diseñadas anteriormente con cada uno de los equipos, objetos y

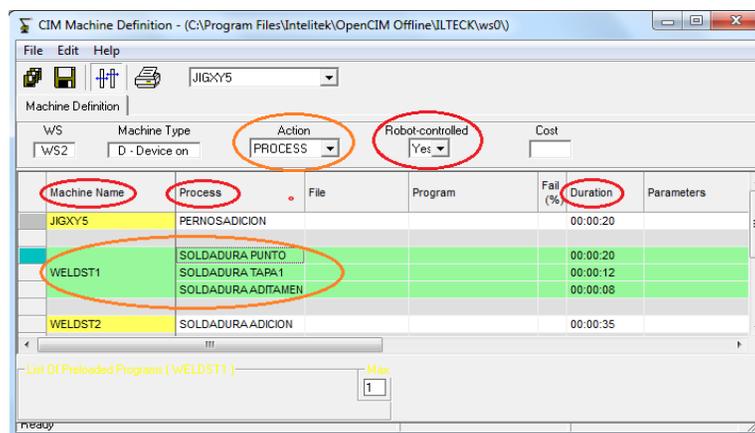
elementos que la conforman como se observa en la Figura 38, se procede a definir el proceso que realizara cada una de las maquina, su tiempo de duraci3n en el proceso de manufactura y definir si el proceso necesita un robot para realizar la operaci3n de manufactura deseada. Es necesario hacer la aclaraci3n que si esta definici3n de maquinas no se realiza correctamente no se puede proceder al siguiente paso por que generara un error en el momento de lanzar una orden de pedido para la simulaci3n.

**Figura 37. Utility programs CIM Setup**



Fuente: Elaboraci3n propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

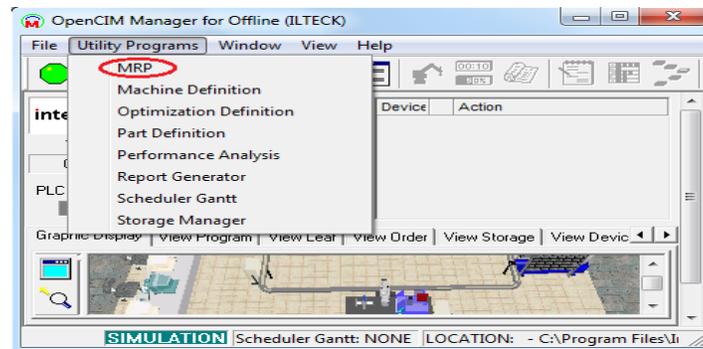
**Figura 38. Modulo Machine Definition**



Fuente: Elaboraci3n propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

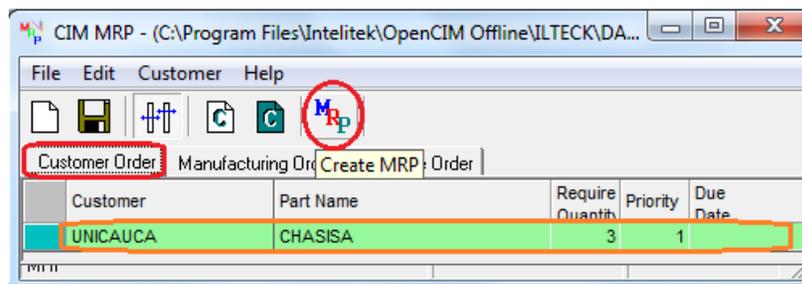
- En la barra de herramientas se selecciona **Utility Programs** y de su lista desplegable la opción **MRP** como se observa en la Figura 39, se abre una ventana que contiene las opciones para crear y configurar los clientes, los proveedores y las partes requeridas para una orden de producción como se observa en la Figura 40, seleccionamos **Customer Order**, para este caso creamos un cliente denominado **UNICAUCA** que requiere la parte/pieza denominada **CHASISA** y se establece la cantidad de partes/piezas requeridas, la prioridad de la orden de manufactura y el tiempo de entrega; después seleccionamos **Manufacturing Order** como se observa en la Figura 41 donde se establece para este caso la parte/pieza **CHASISA** a procesar, la cantidad requerida y la prioridad de producción en la célula flexible de manufactura ; por último se selecciona **Purchase Order** como se observa en la Figura 42 donde se establece el proveedor y las materias primas e insumos necesarios para la producción de la pieza/parte deseada, para esta caso se establece tres proveedores denominados **FANTELCA, DOBLADORA, ADITAMENTOX** los cuales suministran la **LAMINAA, TAPA1, TAPA2** y **PORTASOCKETS** respectivamente, después de realizar este proceso es necesario lanzar **Create MRP, Manufacturing Order** para lanzar la simulación de un pedido en la célula de manufactura.

Figura 39. Modulo MRP



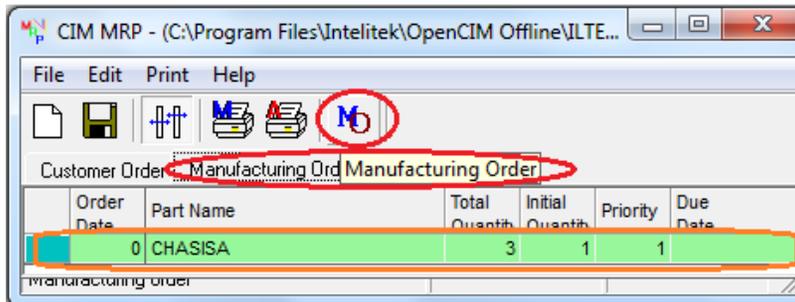
Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

Figura 40. Customer Order



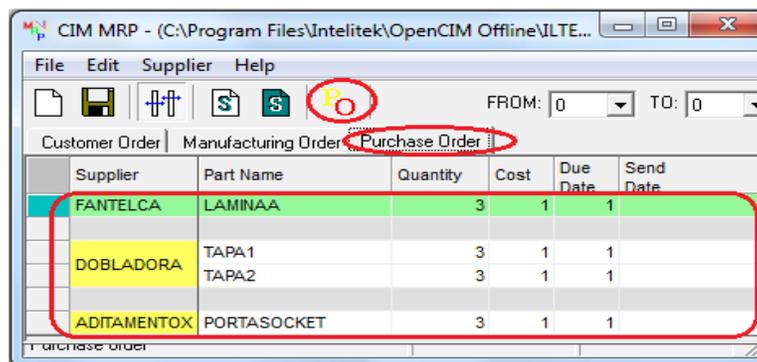
Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

**Figura 41. Manufacturing Order**



Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

**Figura 42. Purchase Order**

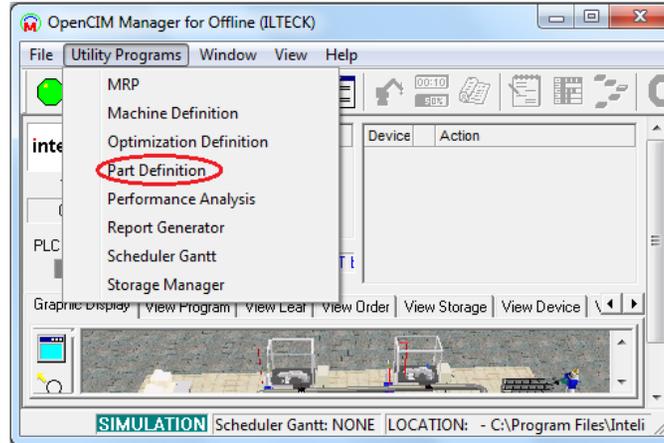


Fuente: Elaboración propia, con base en: "OpenCim", enero de 2011.

- En la barra de herramientas seleccionamos **Utility Programs** y de su lista desplegable la opción **Part Definition** como se observa en la Figura 43, se abre una ventana que contiene las opciones para configurar las partes suministradas por los proveedores en la célula de manufactura, la definición de las partes, definición de la materia prima e insumos que conforman un producto como se observa en la Figura 44 y, se selecciona **Supplied Part**, para este caso se configura las partes suministradas a la célula para la producción de un chasis de luminaria denominadas **LAMINAA**, **TAPA1**, **PERNOS** y **PORTASOCKETS**, además se establece cual es el stock seguro, el mínimo de unidades necesarias para la producción de un chasis, el costo y la posición donde estarán almacenados en el **ASRS**; finalmente se selecciona **Product Parts** como se observa en la Figura 45 donde se establece la pieza/parte o producto a producir, las subpartes que lo conforman (materia prima, insumos y aditamentos) y se establece la secuencia de proceso para producir la pieza/parte o producto deseada, por último se especifica en donde estará almacenado el producto terminado, para este caso se establece que se va a

producir un **CHASISA** que necesita de las subpartes **LAMINAA**, **TAPA1**, **TAPA2** y **PORTASOCKETS** definiendo detalladamente la secuencia de producción como se observa en la Figura 46 con un recuadro de color naranja en la pestaña denominada **Process**.

**Figura 43. Modulo Part Definition**



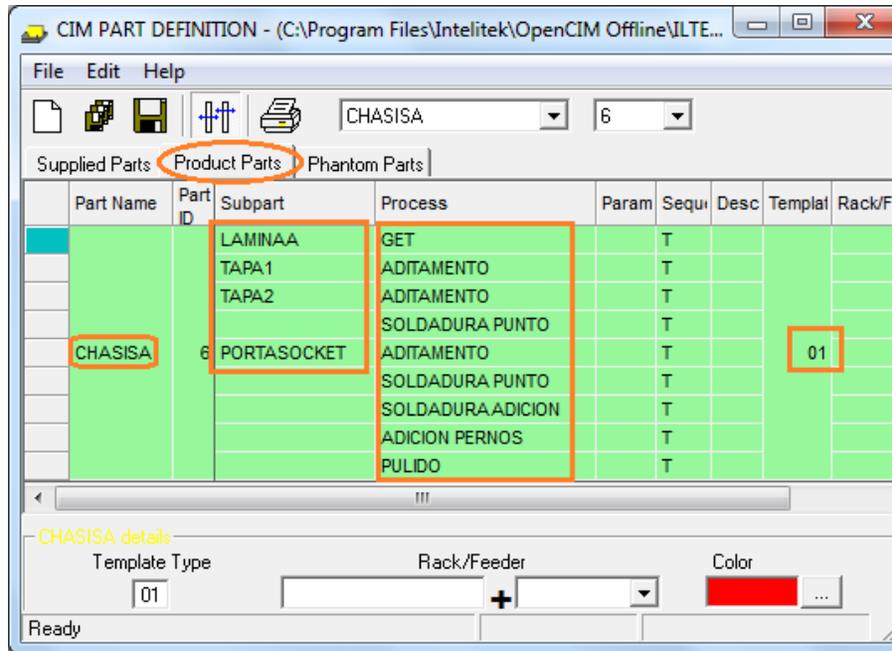
Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

**Figura 44. Supplied Parts**

| Part Name   | Part ID | Supplier Name | Catalog Number | Min. Qty | Safe Stock | Cost | Supply Time/days | De |
|-------------|---------|---------------|----------------|----------|------------|------|------------------|----|
| TAPA2       | 3       | DOBLADORA     | LUMINARIAA     | 3        | 1          | 1    | 1                |    |
| PORTASOCKET | 4       | ADITAMENTOX   | LUMINARIAA     | 3        | 1          | 1    | 1                |    |
| LAMINAA     | 1       | FANTELCA      | LUMINARIAA     | 3        | 1          | 1    | 1                |    |
| PERNOS      | 5       | MAXOR         | LUMINARIA      | 3        | 1          | 1    | 1                |    |
| TAPA1       | 2       | DOBLADORA     | LUMINARIAA     | 3        | 1          | 1    | 1                |    |

Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

**Figura 45. Product Parts**

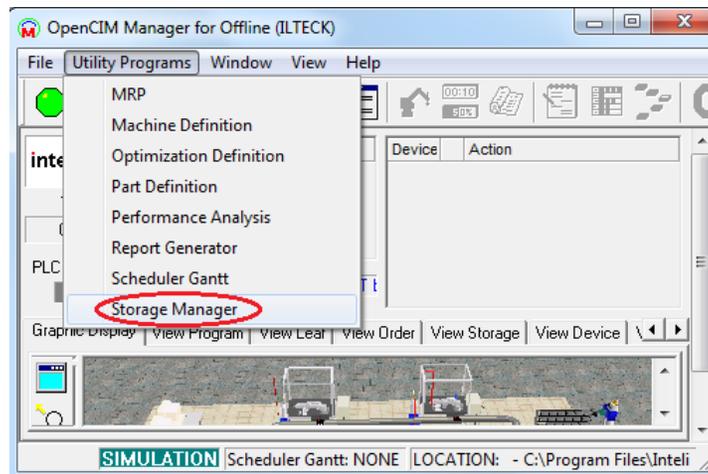


Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

Por último es necesario definir el almacenamiento de las materias primas, insumos, aditamentos y productos terminados, este procedimiento se realiza de la siguiente forma:

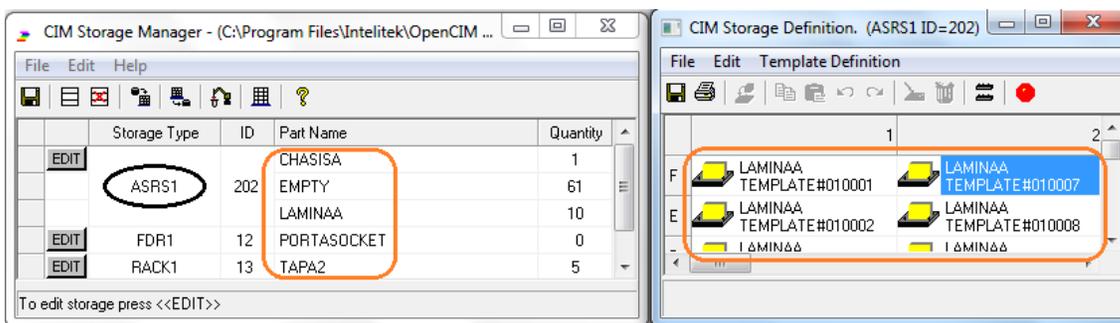
- En la barra de herramientas seleccionamos **Utility Programs** y de su lista desplegable la opción **Storage Manager** como se observa en la Figura 46, se abre una ventana que contiene las sistemas de almacenamiento principales y temporales de toda la célula de manufactura flexible con las materias primas, insumos y aditamentos presentes, suministrando información de la cantidad y la posición mediante los **Pallet** y el **Rack** asignado a cada uno de estos elementos, para nuestro caso como se observa en la Figura 47 se ha definido el **ASRS1** en el cual está almacenado el **CHASISA** y **LAMINAA**, un **FDR1** que contiene los **PORTASOCKETS** y un **RACK1** que contiene la **TAPA2**, si se selecciona la opción **EDIT** permite observar la posición exacta donde se encuentra las materias primas, insumos y aditamento, en el caso del **ASRS1** se observa que en la posición 1F (TEMPLATE#010001) está ubicada la **LAMINAA** que posteriormente será recuperada según el **MRP** para ser procesada.

**Figura 46. Modulo Storage Manager**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

**Figura 47. Modulo Storage Manager y Storage Definition**



Fuente: Elaboración propia, con base en: “OpenCim”, enero de 2011.

De esta manera queda establecida una guía básica para el diseño de una célula de manufactura flexible mediante la herramienta software OpenCIM.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. E. Naehring, *Origins of Industrial Engineering*. Kidrington Oxford: Institute of Industrial Engineers, 1995.
- [2]. E. Garrison, *History of Engineering and Technology*. Baltimore: CRC Press Institute, 1991.
- [3]. Descripción y Clasificación de los Procesos de Manufactura.  
<http://www.intelmecatronica2.blogspot.es/>. [Revisado: Febrero de 2010].
- [4]. C. Kazanas, E. Backer y T. Gregor, *Procesos Básicos de Manufactura*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, McGrawHill, 1997.
- [5]. E. Martínez, *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. Caracas: Editorial Nueva Sociedad, 1994.
- [6]. D. Koenig, *Ingeniería de Manufactura*. Madrid: Editorial Marcombo, 1990.
- [7]. Conceptos de manufactura esbelta: Lean Manufacturing.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Lean\\_manufacturing\\_](http://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing_)[Revisado: Febrero de 2010].
- [8]. R. Askin, C. Standridge, *Modeling and Analysis of Manufacturing System*. USA: Editorial John Wiley & Sons. Cuarta Edición. 2000.
- [9]. L. Tawfik, A. Chauvel, *Administración de la Producción*. Caracas: McGraw- Hill, 1994.
- [10]. Planificación de los Requerimientos de Material.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Planificaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_requerimientos\\_de\\_material](http://es.wikipedia.org/wiki/Planificaci%C3%B3n_de_los_requerimientos_de_material).  
[Revisado: Febrero de 2010].
- [11]. Planificación de Recursos Empresariales.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/ERP> [Revisado: Febrero de 2010].

- [12]. J. Schey, *Introduction to Manufacturing Processes*. USA: New York, McGrawHill Book Co, 1992.
- [13]. M. Riggs, *Sistemas de Producción: Planeación, Análisis y Control*. España: Editorial Pearson. Tercera Edición. 2001.
- [14]. E. García, *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. 2001.
- [15]. A. Kamrani and K. Hubbard, *Simulation based math methodology for machine cell desing*. Computers & Industrial Engineering. 1999.
- [16]. F. Masmoudi, *Sizing manufacturing cell machines based on the simulation and an expert system*. Chicago, Institute J of simulation modeling math. 2005.
- [17]. 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.
- [18]. J. Villalobos y G. Mejia, *Redes Y Algoritmos Genéticos: Una propuesta para la programación de sistemas de manufactura flexible*. Pontificia Universidad Javeriana. 2006.
- [19]. M. Gen y R. Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Desing*. New York, Wiley & Sons. 1997.
- [20]. J. Goncalves, J. Mendez y M. Resende, *Hybrid Genetic Algorithm for the Job Shop Scheduling*. AT&T Labs. 2002.
- [21]. A. Polajnar, B. Buchmeister and M. Leber, *Analysis of different transport solutions in the flexible manufacturing cell by using computer simulation*. Boston, Institute of Operations and Production Management. 2000.
- [22]. A. Burgess, G. Morgan and T.Vollmann, *Cellular manufacturing: Its impact on the total factory*. Institute of Production Research. 2001.
- [23]. S. Shaffer, J. Meredith, *An empirically based simulation study of functional versus cellular layouts with operations overlapping*. Institute J of Operations and Production Management. 1999.

[24]. M. Law, W. Kelton, *Simulation modeling and analysis*. New York. Mc Graw Hill. 2000.

[25]. W. Selen, J. Ashayeri, *Manufacturing cell performance improvement: a simulation study*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing. Oxford: McGraw-Hill. 2001.