

# Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio

## Manufacturing cell Physical model applied to a study case

Esp. John Alexander Guerrero  
Corporación Universitaria Comfacaucá - Colombia  
jguerrero@unicomfacaucá.edu.co

Mag. Diana Jimena López  
Corporación Universitaria Comfacaucá - Colombia  
dlopez@unicomfacaucá.edu.co

Mag. Ermilso Díaz Benachí  
Universidad del Cauca - Colombia  
ermilson\_diaz@hotmail.com

Fecha Recepción: 11/10/15 - Fecha Aprobación: 13/11/15

**Resumen:** El presente artículo, muestra el modelado físico de una célula de manufactura conducente a la implementación, referenciado a un caso de estudio en la etapa de soldadura del proceso de producción de chasis de luminarias. El modelo físico se diseña recopilando información del campo académico concerniente a metodologías de diseño y procedimientos usados en el área de la manufactura celular y tecnología de grupos. Tomando como referencia dichas metodologías se genera un proceso para obtener un modelo físico de una célula de manufactura en cualquiera de sus configuraciones. Una vez efectuado el proceso, se utiliza como guía general para el planteamiento de posibles escenarios de células de manufactura para el caso de estudio.

**Palabras clave:** Célula de manufactura, diseño lógico, flujo de proceso, flujo de materiales, familias de piezas/partes, modelo físico, OpenCIM, operaciones, planificación del diseño, Robotcell.

**Abstract:** This article shows the physical modeling of a manufacturing cell leading to implementation, referenced to a case study in the welding stage of the chassis production process of luminaires. The physical model is designed by collecting information from the academic field concerning design methodologies and procedures used in the area of cell manufacturing and group technology. Taking such methodologies as reference, a process is generated to obtain a physical model of a manufacturing cell in any of its configurations. Once the process is done, it is used as a general guide for the possible scenarios of manufacturing cells for the case study.

**Keywords:** Manufacturing cell, logical design, process flow, material flow, part families, physical model, OpenCIM, operations, design planning, Robotcell.

### 1. Introducción.

Para el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura se deben investigar metodologías que permitan identificar, especificar y desarrollar las necesidades típicas inherentes relacionadas con la formación de un modelo físico, el cual servirá como guía práctica para proponer y sustentar sistemas relacionados con transporte, control, robots maquinarias/herramientas, mano de obra y familias de piezas/partes, vinculadas con la célula de manufactura. Todas las clasificaciones realizadas para la aplicación

del modelo, en cada una de las etapas de proceso, deben ser fundamentadas de acuerdo con criterios de selección y al nivel de complejidad y funcionalidad en la célula, por tal razón, es necesario realizar una adecuada planeación en cada una de las estaciones de trabajo y de las familias de piezas/partes a procesar, con el objetivo de evitar rediseños o posibles subutilizaciones de los recursos destinados para tal fin.

A pesar de que la manufactura celular cuenta con avances y desarrollos significativos, en la actualidad no se encuentran modelos claros, ilustrados y de libre

1. Ingeniero en Automática Industrial, Especialista en Gerencia de Proyectos. Docente Investigador de la Corporación Universitaria Comfacaucá.
2. Ingeniera en Automática Industrial, Especialista en Gerencia Educativa, Magister en Automática. Docente Investigadora de la Corporación Universitaria Comfacaucá.
3. Ingeniero en Automática Industrial, Magister en Automática. Docente Investigador de la Universidad del Cauca.

acceso, que permitan guiar en la planeación, diseño y desarrollo de proyectos relacionados con células de manufactura.

Para el diseño del modelo físico de la célula de manufactura se compiló información de las metodologías que relacionan parámetros de estimación orientados a: equipos, procesos de manufactura y las familias de productos; éstos son considerados en el diseño conceptual del modelo y permiten llevar un seguimiento lógico en la secuencia de las operaciones del proceso productivo a ser implementado mediante células de manufactura.

## **2. Conceptos generales de las células de manufactura.**

En la presente sección se ilustran los conceptos generales de las células de manufactura, con el fin de obtener una noción sobre el tema y poder emplearlo posteriormente en el diseño del modelo físico. Se presenta terminología y metodologías usadas a través de la evolución de la manufactura celular, hasta los alcances logrados en los últimos tiempos que presentan los nuevos sistemas.

### **2.1 Control numérico.**

En la actualidad, el control numérico puede definirse como una máquina o dispositivo flexible de automatización que controla su funcionamiento mediante números, donde éstos constituyen un programa de instrucciones preparado para desarrollar una determinada tarea. Cuando esta tarea termina, se procede a cambiar el programa para realizar otro trabajo compuesto de tareas. Si bien el control numérico se utiliza en una gran variedad de procesos, su aplicación principal es en las máquinas/herramientas [1].

Del control numérico evolucionaron: control numérico computarizado, control numérico adaptativo y control numérico distribuido, los cuales buscan detectar con mayor precisión las características del mecanizado, controlar varias máquinas/herramientas y la coordinación de más de una fase del proceso de producción y mecanizado.

### **2.2 Tecnología de grupos (GT).**

El primer desarrollo referente a la tecnología de grupos data del año 1925, donde R. Flanders en Estados

Unidos, presentó un documento ante la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos, en el cual describía una forma de organizar la manufactura en Jones and Lamson Machine Company, que se denominaría tecnología de grupos [2]. En 1937, A. Sokolovskiy describió las características esenciales de la tecnología de grupos y propuso que las partes de configuración similar se produjeran mediante una secuencia de proceso estándar, lo cual permitía que se usaran técnicas de línea de flujo para un trabajo que normalmente se realizaba mediante producción en tandas. En 1949, A. Korling presentó un documento acerca de la producción en grupo, cuyos principios son una adaptación de las técnicas de línea de producción para manufactura en tandas; en el documento describía cómo el trabajo se descentralizaba en grupos independientes, cada uno de los cuales contenía las máquinas y la habilitación de herramientas para producir una categoría especial de partes [2][3].

### **2.3 Manufactura celular.**

Desde un punto de vista conceptual, las células de manufactura son una minifábrica dentro de la fábrica, con responsabilidad total sobre el proceso y el producto, que regula sus costos de operación y sus plazos de entrega, administra su estructura y determina qué necesita en cuanto a recursos, tanto técnicos como humanos. Posee la dinámica de una pequeña estructura muy liviana; por lo general procesa una familia de productos con características similares, lo que permite estandarizar los procesos y equipos; además, tienen la capacidad de manejar inventarios discretos de productos en proceso, ya que al ser muy veloces, pueden producir un poco de todo, todos los días y no grandes series. Asimismo, los problemas de calidad son resueltos dentro de la unidad por los mismos operarios, quienes determinan las mejores alternativas de solución con base en experiencias y conocimientos [4][5].

Se deben aplicar métodos de clasificación, codificación y agrupación basados en la tecnología de grupos para la generación de familias, con lo que se obtiene una reorganización del sistema de producción en familias de piezas/partes similares, producidas dentro de los límites físicos de las células, donde se encuentran la mayoría o la totalidad de los recursos necesarios para su manufactura; con lo anterior, se logra una disposición enfocada al producto o al proceso,

facilitando el flujo rápido y el procesamiento eficiente de material e información.

Las células de manufactura se clasifican acorde al número de máquinas, al grado de mecanización y el nivel de automatización como se indican en la Figura 1 [6].

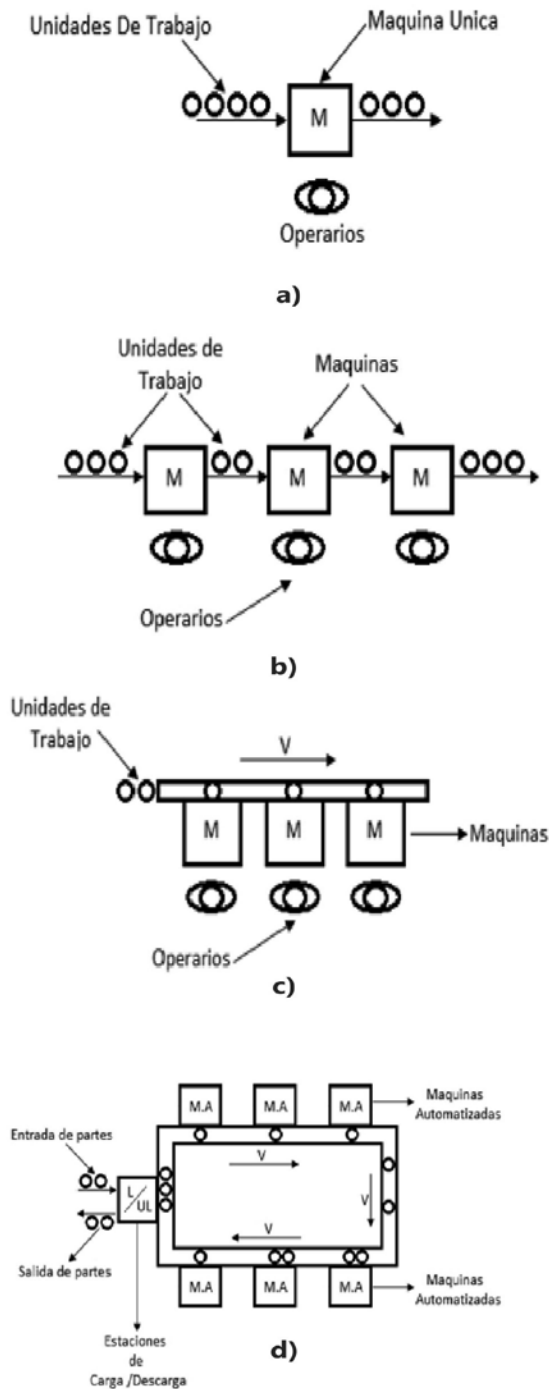


Figura. 1. Clasificación de las células de manufactura. a) Célula de máquina simple. b) Célula de grupo de máquinas con manejo manual. c) Célula Flexible de Manufactura. d) Sistema Flexible de Manufactura.

## 2.4 Metodologías de diseño para sistemas de manufactura celular.

Las investigaciones acerca de la manufactura celular recurren a metodologías cada vez más efectivas o sofisticadas de modelación y análisis de sistemas de manufactura con el interés de reducir los tiempos muertos, costos, desperdicios e incrementar la flexibilidad, calidad y productividad de los equipos y operarios. Las metodologías enfocadas a los distintos campos de estudio referentes al diseño de células de manufactura usadas para el desarrollo de este proyecto son: metodología de programación matemática [7], metodología basada en el flujo de la producción [8], metodología por formación de cúmulo [9], metodología de simulación [10], metodología basada en la formación de familias (Tecnología de grupos) [11]. Siendo estas las metodologías que más aportes establecen para el diseño del modelo físico. Se toman como referencia para incluir fortalezas que ayuden a concretar un modelo físico bien depurado y que sea de una alta aplicabilidad, no sólo al caso de estudio sino que sea dúctil para cualquier tipo de proceso productivo en el que se desee implementar células de manufactura.

## 3. Diseño del modelo físico de una célula de manufactura.

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

Para la elaboración de la propuesta del proceso general de diseño de un modelo físico de una célula de manufactura se estableció un procedimiento para el desarrollo del mismo. En la Figura 2, se esquematiza este proceso.

La figura presenta el proceso general básico, propuesto a partir del análisis de las metodologías estudiadas, estableciendo nuevas consideraciones, etapas y procedimientos.

y agrupación de los equipos necesarios para la fabricación de estas familias, contemplando aspectos relevantes de: producción, diseño de las piezas/partes, equipos, rutas y requerimientos del cliente.

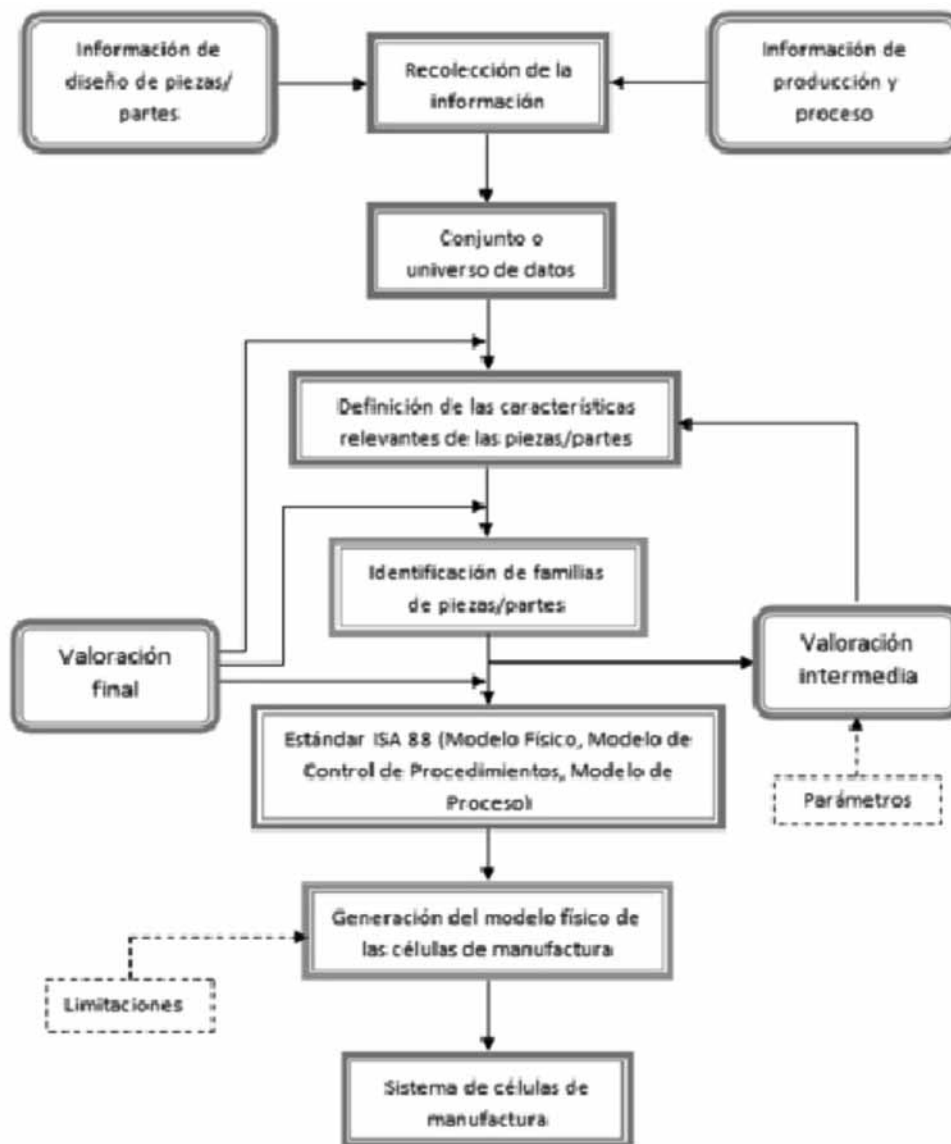


Figura. 2. Proceso general de diseño de un modelo físico de una célula de manufactura

### 3.1 Diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura.

En esta fase del proceso de diseño, del modelo físico de una célula de manufactura, se lleva a cabo una serie de actividades que permiten desglosar los procedimientos, funciones y características necesarias para lograr un adecuado diseño, teniendo como objetivo principal la formación de familias de piezas/partes o productos; además de la asignación

- La recolección de la información del diseño de las piezas/partes hace referencia a las actividades principales que se deben considerar en el diseño de un producto, las cuales serán complementadas hacia el diseño de un modelo físico de una célula de manufactura como se especifica la Figura 3 a).
- La recolección de la información de producción y proceso, determinan los aspectos generales de estos datos, considerando con suma importancia el sistema de producción con que cuenta la empresa, ya que si

la célula de manufactura se va a implementar en una etapa de un proceso de producción ya existente, es necesario realizar un estudio tecnológico de diseño y de proceso; por lo cual es preciso contar con la siguiente información, como se especifica en la Figura 3 b).

Después de recolectar la información y realizar los análisis del diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura, se procede a definir las características relevantes de las piezas/partes o productos para la formación de las familias. Este procedimiento se lleva a cabo con el desarrollo de las fases del proceso de diseño de identificación de familias indicadas en la Tabla 1 a). Al tener conocimiento de las familias resultantes y los equipos predominantes para cada pieza/parte o producto se procede con la siguiente secuencia de pasos para la selección, asignación y agrupación de equipos y herramientas complementarias, las cuales hacen posible la culminación del proceso productivo de una pieza/parte o producto como se muestra en la Tabla 1 b).

### 3.2 Planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura.

El análisis del espacio físico busca evaluar el área física existente, con el propósito de que los componentes que hacen parte del modelo físico de la célula de manufactura, como lo son maquinaria, equipos, robots, herramientas y sistemas de transporte propuestos, no interfieran con el resto de los componentes del proceso productivo en la planta; además de cumplir con los requerimientos mínimos que debe contar el complejo físico para el correcto funcionamiento de éstas. La ubicación y delimitación de los nuevos equipos se realiza una vez que se cuente con el área física y la localización de cada área predeterminada, gracias al estudio de los planos y de los procesos. Los pasos generales para la realización de la planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura se resumen en la Tabla 2.

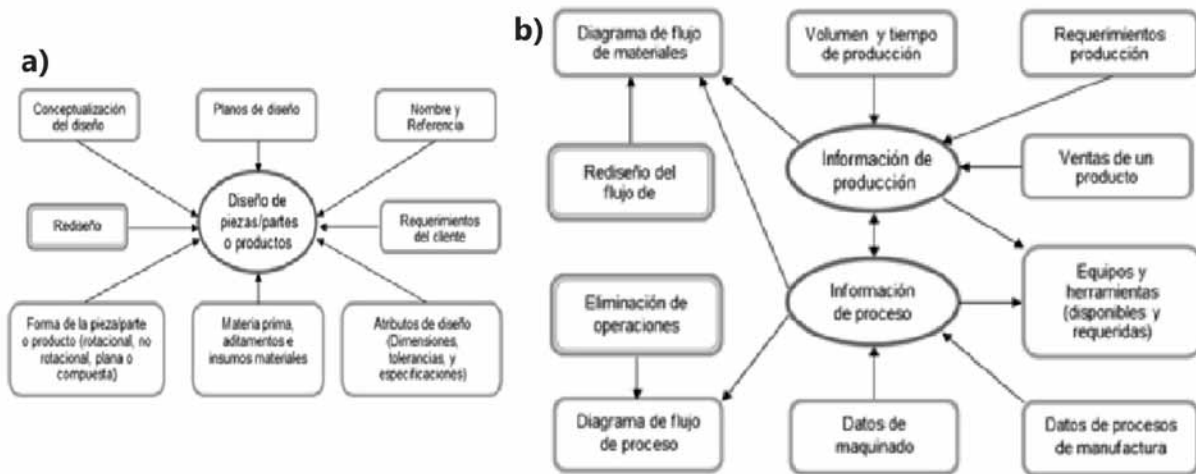


Figura. 3. Parámetros de recolección de la información. a) Diseño de piezas/partes. b) Producción y proceso.

Tabla 1. Identificación. a) Familias. b) Equipos y herramientas.

a)

Nº	Fases del proceso de diseño de identificación de familias	Característica principal	Requisitos
1	Determinar el universo o conjunto de piezas/partes o productos	Preclasificación	Planos, representaciones virtuales, la pieza real
2	Subdividir el universo o conjunto de piezas/partes o productos	Equipos predominantes	Operaciones de proceso
3	Determinar la pertenencia a nuevos subconjuntos	Similitud geométrica	Equipos predominantes
4	Comparación de la ruta de proceso de cada pieza/parte o producto	Similitud de rutas	Diagrama de flujo de proceso, diagrama de flujo de materiales
5	Selección del método de clasificación	Codificación	Fase del proceso de diseño N°: 1.2.3.4
6	Formación de familias	Análisis de los códigos distintos	Codificación
7	Rediseño o eliminación de operaciones	Eliminación y rediseño	Diagrama de proceso, diagrama de flujo de material, familias de piezas/partes

b)

Nº	Fases del proceso de diseño de asignación y agrupación de equipos y herramientas	Característica principal	Requisitos
a	Determinar el tipo de célula de manufactura	Arquitecturas físicas básicas	Diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura
b	Definición y determinación de equipos, herramientas y sistemas de transporte complementarios	Equipos, herramientas y sistemas de transporte	Diagrama de flujo de proceso y criterios de selección de equipos
c	Determinar el factor humano	Selección y evaluación	Capacitación en distintas tareas y operaciones en la célula de manufactura
d	Nuevo diagrama de flujo de proceso y flujo de materiales	Detalle de cada una de las actividades relacionadas	Secuencia de operaciones

Tabla 2. Resumen de las actividades de planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura.

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

#### 4. Aplicación del proceso de diseño del modelo físico de una célula de manufactura al caso de estudio.

Para la aplicación de diseño del modelo físico de una célula de manufactura se tomaron como guía cada uno de los pasos que se encuentran relacionados con el diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura y la planificación del diseño del modelo físico de una célula de manufactura expuesto anteriormente. Por medio de éstos se busca analizar y aplicar detalladamente cada uno de los requerimientos necesarios para lograr formar un modelo físico estructurado, para el caso de estudio en la empresa ILTEC S.A., en la etapa de soldadura del proceso de fabricación de chasis de luminarias.

##### 4.1 Recolección de la información basada en la semejanza de piezas/partes, productos y procesos.

Lo primero que se debe tener en cuenta para diseñar una célula de manufactura es determinar qué se desea manufacturar; en este caso chasis de luminarias, esto define de forma específica la composición física de la célula; teniendo en cuenta esto se recopiló toda la información de diseño de las piezas/partes del universo. Para lo cual se estableció un formato conformado por atributos que brindan información acerca del diseño de las luminarias, resultando más sencilla la conceptualización y planeación de las características físicas y funcionales de la célula, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Atributos y consideraciones de diseño para una luminaria.

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

##### 4.2 Recolección de la información de producción y proceso.

Con la ayuda de los aspectos generales de producción presentes en ILTEC S.A, se logró realizar un estudio tecnológico con todo el universo de datos del proceso productivo en la etapa de soldadura de los chasis de luminarias, en donde se desglosaron todos y cada uno de los componentes técnicos, humanos y de recursos necesarios para la concepción de un chasis desde su estado primario, hasta lograr el producto terminado.

##### 4.3 Realización del análisis de flujo de proceso y análisis de flujo de materiales.

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

##### 4.4 Identificación de familias de piezas/partes o productos.

a) Determinación del universo o conjunto de piezas/partes: ILTEC S.A. actualmente cuenta con más de cien

variedades de productos y para la determinación del universo de piezas/partes se consideran tres grupos de luminarias: luminarias de colgar, luminarias de incrustar y luminarias de sobreponer, pues son éstas las que se encuentran directamente relacionadas con la etapa de soldadura.

b) Subdividir el universo de luminarias: Teniendo en cuenta los equipos predominantes para manufacturar las luminarias, el material y el calibre de la lámina, se realizó una selección enfocada hacia el diseño de las luminarias para subdividir el universo de piezas/partes seleccionadas.

c) Determinar la pertenencia a nuevos subconjuntos: De acuerdo con la forma geométrica final de las luminarias, siendo estas: cúbicas, rectangulares, prismáticas y cilíndricas, se determinan nuevos subconjuntos.

d) Comparación entre cada una de las rutas de proceso: Mediante el diagrama de flujo de proceso de cada una de las luminarias, se registraron en cada caso el grado de similitud entre las rutas de proceso para cada una de las luminarias del universo seleccionado.

e) Selección del método de clasificación: ILTEC S.A. cuenta con un proceso metalmecánico, por lo que se encontró en la literatura que el código OPITZ es uno de los más usados para este tipo de aplicaciones, considerando sus características de factibilidad, precisión, facilidad de uso y flexibilidad, acoplándose de la mejor manera a las actividades y operaciones presentes en la etapa de soldadura.

f) Selección y formación de familias: Una vez realizada la codificación por medio del código OPITZ, se deben verificar los dígitos distintivos de las características principales de los chasis de luminarias, para buscar coincidencias que evidencien la pertenencia a una misma familia, es decir, asignar cada uno de los chasis del universo a las familias propuestas; esta verificación se desarrolla para la generación de las familias de chasis que se toman para continuar con la aplicación del diseño del modelo físico.

#### 4.5 Asignación y agrupación de equipos y herramientas.

En esta actividad del proceso de manufactura se desarrollaron dos escenarios con diferentes enfoques para la formación del modelo físico de una célula de manufactura para la producción de chasis de

luminarias en su etapa de soldadura; el primero de ellos denominado escenario A, que es una célula de un grupo de máquinas con manejo semiautomático, el cual fue desarrollado con el fin de satisfacer los requerimientos de la empresa a corto plazo.

El otro escenario denominado escenario B, es un sistema de manufactura flexible, el cual cuenta con células de manufactura conformada por equipos, herramientas, máquinas y sistemas de transporte, con un nivel tecnológico totalmente diferente al propuesto en el escenario A; de este modo, el escenario B fue sometido al proceso de simulación mediante la herramienta software OpenCim de Intellitek, por lo que se seguirá con este escenario para la aplicación del modelo físico de una célula de manufactura.

a) Tipo de célula: Para el escenario B se seleccionó un sistema de manufactura flexible, el cual se caracteriza por ser una célula de manufactura con tecnología altamente automatizada, que consiste en un grupo de estaciones de procesamiento, generalmente máquinas-herramientas CNC, robots y equipos especializados interconectados mediante un sistema automatizado de manejo y almacenamiento de material.



Figura. 4. Equipos propuestos para el escenario B.

c) Determinación del factor humano: Debido al tipo de célula propuesta basada en sistema de manufactura flexible, la estimación que se propone para el

componente humano en las actividades del proceso involucradas con la etapa de soldadura de chasis de luminarias son mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimación de componente humano para escenario B.

ESTACION	EQUIPO	PERSONAL A CARGO
Soldadura de punto y aditamento	ABB IBR 2400L ARO 3-GZ	1 programador supervisor
Soldadura de adición de material	ABB IBR 2400L OTC DAIHEN MIG 135	1 programador supervisor
Pulido y adición de pernos de sujeción	BURT BS220X2000 SOYER SK-5AN	1 programador supervisor
Sistema de transporte	Domer serie 5200 XU2S 18KP340DT SIEMEN S7 1200	0

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

e) Ubicación y delimitación de los nuevos equipos: Se especificaron las distancias necesarias entre estaciones determinadas por los requerimientos técnicos y operativos de las mismas, teniendo como consideración especial el conveyor de forma de óvalo determinado para el sistema de transporte.

Una visión general del modelo físico de una célula de manufactura del escenario B, desde el punto de vista de la integración de los diversos sistemas, dispositivos y máquinas-herramientas que intervienen en ésta, se puede observar en la Figura 5.

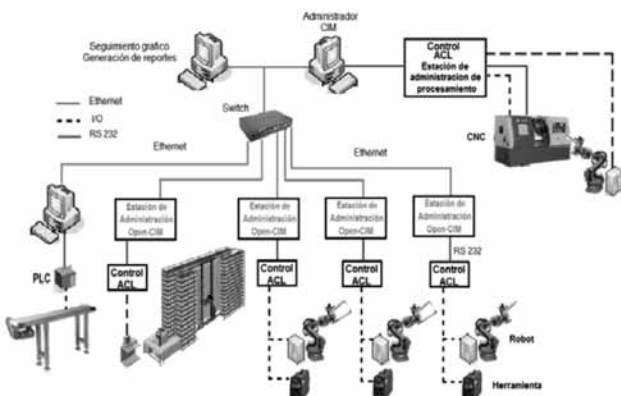


Figura 5. Visión general de comunicaciones entre las estaciones de un sistema de manufactura flexible.

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

#### 4.6 Representación esquemática del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura de chasis de luminarias.

El proceso de diseño realizado para obtener la representación esquemática del diseño del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura se realizó mediante la herramienta software OpenCim y su complemento Robocell, evidenciando el funcionamiento e integridad de la célula en el momento que se realiza una orden de pedido para una determinada familia de chasis de luminarias. Para proceder a realizar este diseño es necesario el uso del Cellsetup de OpenCim para llevar a cabo el diseño de los elementos físicos que componen estaciones.

Se definieron los soportes para las estaciones de soldadura y los equipos necesarios de soldadura de punto (ABB IBR 2400L) y adición (ARO 3-GZ) en su representación física como se observa en la Figura 6 a). Se diseñó la forma del conveyor mediante una interfaz gráfica intuitiva desarrollada por OpenCim, mediante formas básicas de rectas, curvas y herramientas de giro, permitiendo definir sus dimensiones y el lugar determinado de la estaciones como se observa en la Figura 6 b).

Después de definir el conveyor con la respectiva definición de la ubicación de las 4 estaciones, se procede a diseñar el sistema de carga y descarga de materiales y piezas/parte como se observa en la Figura 6 c).

Considerando lo antes expuesto, queda definida la representación esquemática del modelo físico propuesto para la etapa de soldadura mediante la herramienta software OpenCim de Intellitek, orientada hacia una célula de manufactura flexible cumpliendo con todas las especificaciones establecidas en el proceso de diseño descrito atrás, como se observa en la Figura 6 d).



#### 4.7 Programación de las estaciones de soldadura.

Para la programación de cada una de las estaciones se desarrolló un código de programación que permite ejecutar la operación de soldadura de punto y adicción para la producción de un chasis de luminaria determinado, el cual programará los movimientos del robot para manipular los equipos de la estación de soldadura. Robocell permite un entorno de trabajo un poco complejo, pero tiene a disposición todas las herramientas necesarias para llevar a cabo la programación de los movimientos de un robot según lo deseado. La programación se realizó para lograr simular las operaciones de las estaciones de soldadura de punto, soldadura de aditamento, pulido y pernos de sujeción. El código y las subrutinas fueron necesarias para cumplir con las tareas de las estaciones, determinando las trayectorias lineales, trayectorias curvas y la acción de abrir y cerrar pinza del robot. Por medio de la simulación se logró realizar un seguimiento virtual del comportamiento de las

estaciones, los procesos de soldadura y de pulido como se observa en la Figura 7.

#### 4.8 Realización de una orden de producción.

La herramienta software OpenCim permite simular una de orden de producción mediante su módulo de MRP (*Material requirements planning*), para el caso de estudio se simuló una orden de producción para una familia de chasis, simulando una orden de pedido por un cliente, determinado la familia de chasis de luminaria, la cantidad y la referencia deseada, después se realiza la orden de manufactura, especificando el nombre del chasis, la cantidad, y la prioridad de producción con base en la orden de pedido por el cliente y, por último, se realiza la orden de compra de la materia prima e insumos necesarios para la producción de la familia de chasis, como se observa en la Figura 8.

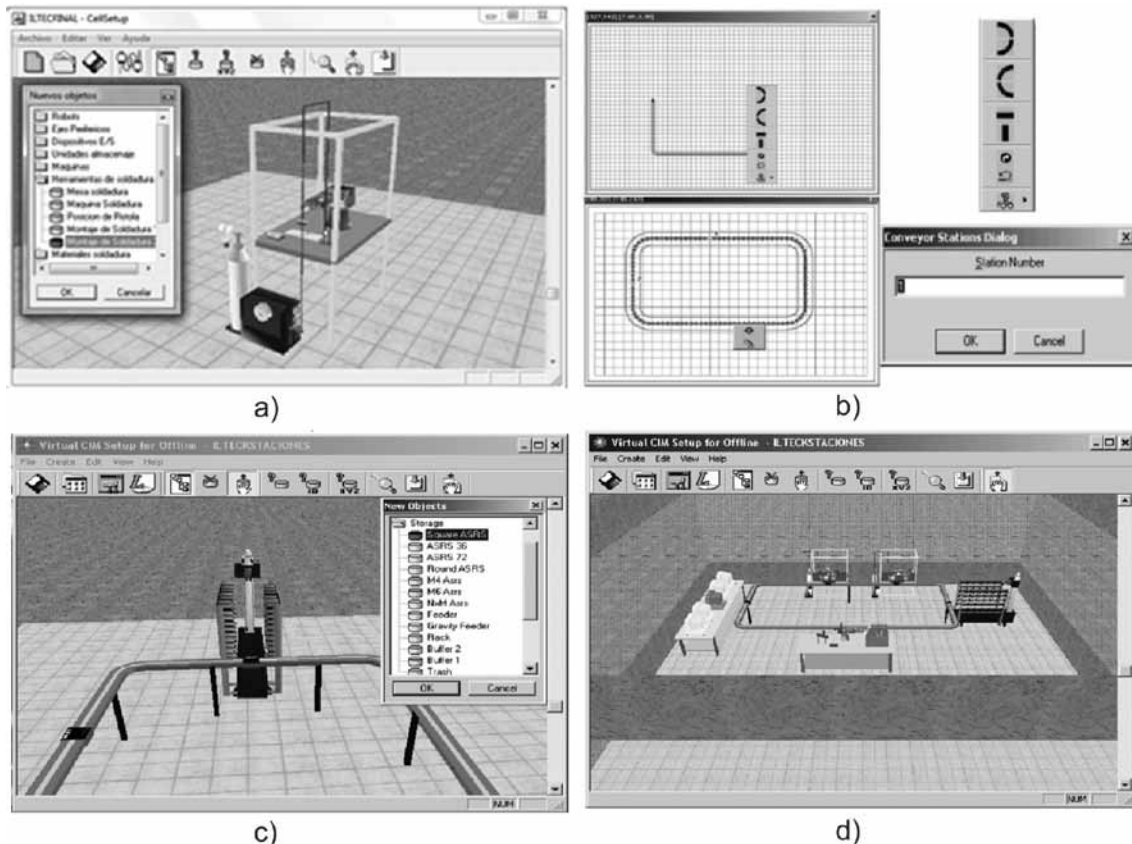


Figura. 6 Diseño desarrollado en OpenCim. a) Estación de soldadura de punto. b) Diseño del conveyor. c) Diseño del sistema de carga/descarga de materiales y piezas/partes. d) Diseño final.

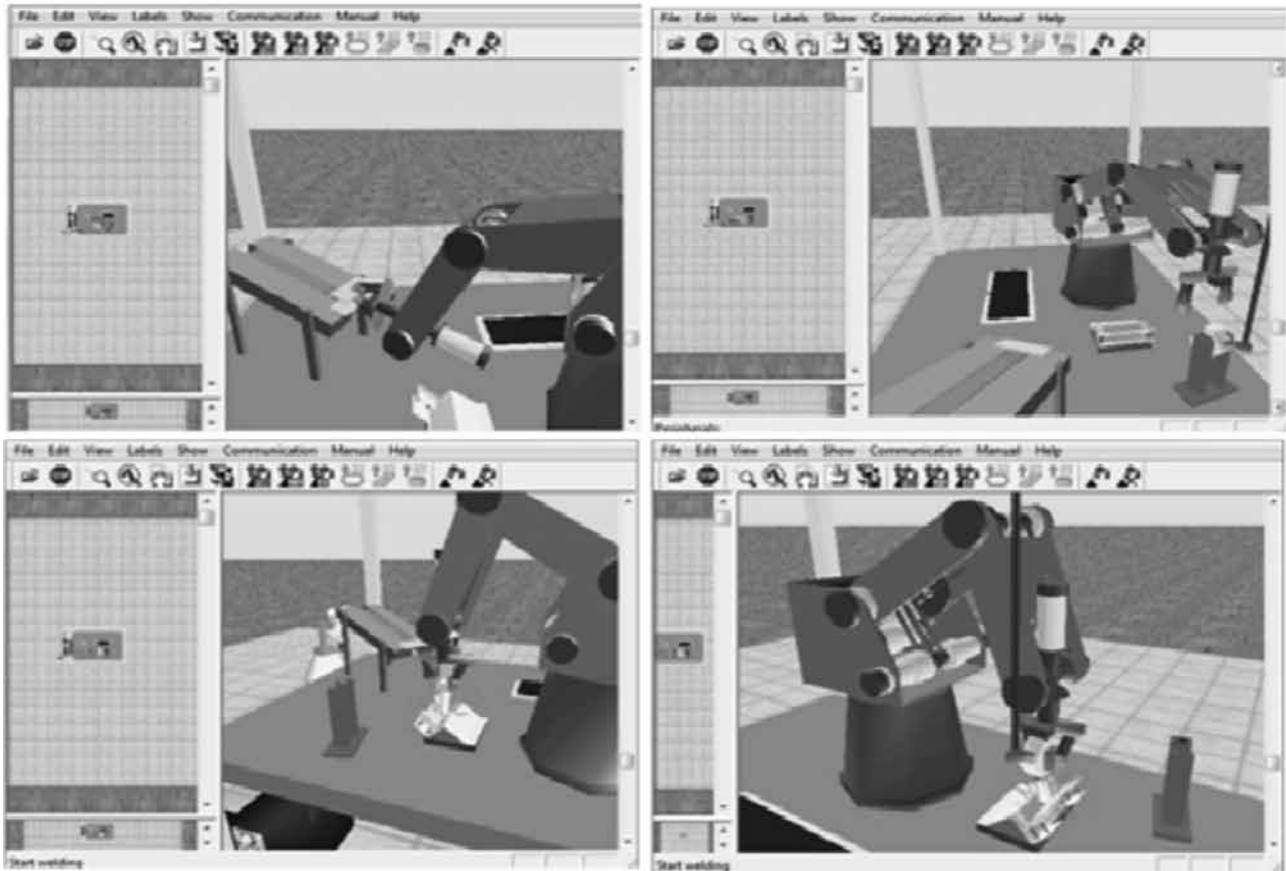


Figura. 7. Estaciones de soldadura representadas mediante Robocell.

Customer	Part Name	Require Quantit.	Priority	Due Date
CAST1	PART1	2	1	2
	PART3	2	1	2
CAST2	PART2	2	1	2

Order Date	Part Name	Total Quantity	Initial Quantity	Priority	Due Date
1	PART1	2	2	1	2
	PART3	2	2	1	2
	PART2	2	2	1	2

Figura. 8. Realización de una orden de producción.

Después de haber realizado la orden de producción de una determinada familia de chasis es preciso definir las máquinas y robots necesarios para producir la familia determinada, asignando específicamente las operaciones llevadas a cabo por cada uno de los equipos, máquinas, herramientas y robots.

## 5. Conclusiones.

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

En el desarrollo del modelo físico de una célula de manufactura se logra definir la célula como una estructura organizacional que puede planificar, gestionar y controlar las operaciones de un proceso productivo, donde el éxito de esta estructura radica en encontrar las familias adecuadas y determinar el

equipo apropiado para lograr explotar las semejanzas y similitudes de: diseño de las piezas/partes, flujo de proceso y flujo de materiales, con el fin de lograr un proceso de producción eficiente y caracterizado para un universo piezas/partes.

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

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

## **Referencias.**

[1] C. Chang y M. Melkanoff. CN Machine Programming and Software Design Oxford. Prentice Hall, 1992.

[2] Tendencias del Control Numérico. [Consultado en: Febrero de 2016]. Disponible en internet en: <http://members.fortunecity.es/armandor/elcontro.htm>

[3] S. Schmid y S. Kalpakjian. Manufactura: Ingeniería y Tecnología. Prentice Hall. México, 2001.

[4] I. Ham, K. Hitomi y T. Yoshida, Group Technology. Hingham, Kluwer Nijhoff Publishers, 1989.

[5] J. Black. An Overview of Cellular Manufacturing Systems and Comparison to Conventional Systems. Industrial Engineering, 1989.

[6] W. Luggen. Manufacturing Cells and Systems. New Jersey, Prentice Hall, 1991.

[7] A. Kamrani y K. Hubbard. Simulation based math methodology for machine cell design. Computers & Industrial Engineering, 1999.

[8] J. Burbidge. Production flow analysis Proc of an Int Seminar, Turin, Italy. ILO, 1969.

[9] Mc. Auley. Machine grouping for efficient production. The production engineer. V51, N2, 1972.

[10] S. Shaffer y J. Meredith. An empirically based simulation study of functional versus cellular layouts with operations overlapping. Institute J of Operations and Production Management, 1999.

[11] C. Gallagher y W. Knight, Group Technology. London, Butterworth & Co, 1987.