

## SISTEMA GENÉRICO DE RASTREABILIDAD PARA APLICACIÓN EN PISOS DE FABRICACIÓN

Wendy Janett Guzmán González, José Acosta Cano de los Ríos, Cynthia Liliana Guzmán González  
Instituto Tecnológico de Chihuahua.

Ave. Tecnológico # 2909 Colonia 10 de Mayo

C.P. 31310 Chihuahua, Chih.

wjguzman@itchihuahua.edu.mx, jacosta@itchihuahua.edu.mx, clguzman@itchihuahua.edu.mx

### RESUMEN.

Se presenta una propuesta para el desarrollo de sistemas de rastreabilidad de productos en empresas del sector manufacturero aplicado al piso de producción. La presente investigación tuvo como finalidad el desarrollo de una herramienta informática para facilitar el control de los procesos de fabricación de productos, manteniendo un registro detallado a lo largo de todo su proceso de manufactura, que permita reconstruir el camino trazado por un producto. Se presenta la funcionalidad de los procesos de un sistema de rastreabilidad en sistemas de manufactura. El desarrollo se basa en la aplicación de la Arquitectura Orientada a Servicios o *Service Oriented Architecture* (SOA) y el marco de trabajo de *Windows Communication Foundation* (WCF). Mediante los cuales se obtuvo como resultado un sistema informático flexible factible de adaptarse a las necesidades de un gran número de empresas, debido al diseño genérico que lo sustenta.

### INTRODUCCIÓN.

En los últimos años las exigencias del mercado por productos de buena calidad son cada vez más grandes, y la competitividad en las empresas se vuelve más fuerte. Es importante que las compañías del sector manufacturero puedan diferenciarse y buscar mercados internacionales. En todo lugar donde se realice un proceso de transformación, es decir, piso de fabricación, se realizan actividades encaminadas a la transformación de materia prima, piezas, partes o subproductos de un artículo para conformar un todo. A este todo denominado producto terminado, lo compone un cierto número de sub-ensambles los cuales a su vez cada uno de ellos está constituido de elementos individuales únicos y básicos. Estos elementos individuales, son las partes esenciales que se deben de observar en su recorrido de transformación desde que son parte de la materia prima, hasta que integran al producto terminado.

El sistema de rastreabilidad que permita trazar y recuperar dichos registros para reconstruir el camino de la materia prima en la obtención o fabricación del producto desde su entrada hasta la entrega al distribuidor es incorporado en el código de buenas prácticas de los sistemas de control de calidad, [1].

Los sistemas de gestión de calidad, así como los códigos de buenas prácticas a nivel de producción, la incorporan como un elemento importante, [1]. Actualmente las organizaciones competentes están utilizando la rastreabilidad como una herramienta para sus sistemas de inspección y certificación de productos, con el propósito de mejorar la eficacia y/o eficiencia de sus actividades, [2]. Una de las grandes metas de los sistemas informáticos destinados a controlar procesos de producción en las empresas es la flexibilidad y agilidad, pero aun más importante es la existencia de sistemas genéricos que permitan ser implantados en casi cualquier tipo de empresas y que logre operar conforme los objetivos para lo que fue creado. Por otra parte las necesidades cambiantes del cliente obligan a las empresas a ofertar una amplia gama de productos, que en la mayoría de los casos se diferencian en solo algunas características, a las cuales se le conoce como variantes.

Se presenta un sistema desarrollado con base en los criterios antes mencionados, considerando como primer aspecto un modelo de datos que cuenta con una estructura genérica adaptable a casi cualquier empresa, así mismo se consideró ampliamente el manejo de variantes, las cuales se definen hasta que es recibida la orden del cliente, esta variante forma una parte temporal con un solo nivel del BOM, [3]. Una orden del cliente, por tanto, indica el tipo y cantidad de ensambles que deben ser incorporados a la variante. La relación estructural está formada sobre la base de esta información.

Por otra parte desarrollar el sistema informático utilizando SOA permite alinear los recursos IT (*Information Technology*) de forma más directa con los objetivos del negocio, ganando así un

mayor grado de integración, y un aumento notable en la agilidad de la organización.

El objetivo del trabajo diseñar e implantar un sistema genérico de rastreabilidad para pisos de fabricación basado en la Arquitectura Orientada a Servicios. El sistema debe ser una solución factible a los problemas presentados, de tal manera que mantenga un registro detallado de los productos y permita reconstruir el camino de la materia prima en la obtención o fabricación del producto desde la entrada de la materia prima hasta la entrega al cliente. Así mismo, que brinde la posibilidad de realizar consultas, que se puedan considerar como una referencia sólida para la correcta y oportuna toma de decisiones.

## 1. MARCO DE REFERENCIA.

### 1.1 Lista de materiales o *Bill of Materials* (BOM)

El BOM de ingeniería es uno de los documentos más importantes asociados con los procesos de manufactura. La importancia de mantener la exactitud en la estructura e información que proporciona el BOM es enfatizada de sobremanera si se considera el gran impacto substancial que tienen sobre el producto, sobre el inventario y sobre la gestión de la producción, [4].

El BOM describe a un producto en términos de sus componentes, ensambles y partes básicas, usualmente en niveles donde la parte superior representa a un producto o artículo terminado. Cada nivel puede mostrar la cantidad de cada material involucrado en la fabricación del producto, así de manera secuencial en dirección descendente donde cada nivel representa un sub-ensamble del ensamble situado a un nivel inmediato superior, [5].

Cuando se presentan situaciones en las que se tiene un gran número de variantes ocasionadas por pequeños cambios en un producto, se recomienda recurrir a diseños de estructuras de variantes de BOM, que permitan basarse en un modelo general de un producto en el cual se especifiquen las variantes del mismo, así como sus atributos.

Por lo anterior, a menudo el BOM contiene información expresada en forma jerárquica comenzando con la parte superior, describiendo de forma gráfica la lista de componentes. En la Figura 1 se presenta el BOM gráfico de un producto en particular.

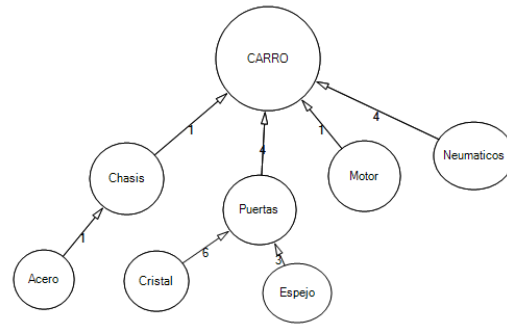


Figura 1 BOM gráfico.

El nivel incremental en el detalle continúa para todos y cada uno de los sub-ensambles hasta que se cubre todas las partes que constituyen el producto final.

### 1.2 Arquitectura Orientada a Servicios o *Service Oriented Architecture* (SOA).

Desde el punto de vista de negocio, se define SOA como un conjunto de componentes informáticos que se integran de forma flexible para configurar distintos procesos de negocio, [6].

Desde una perspectiva técnica, esta arquitectura consta de servicios que se pueden ser invocados para realizar operaciones específicas, [7].

El principal objetivo de la Arquitectura Orientada a Servicios es construir los distintos sistemas de información de una empresa sobre un conjunto de estándares informáticos con el que todos ellos, incluso realizado en distinta plataforma computacional, puedan operar de forma integrada y sin que existan dependencias entre los mismos, [8]. Gracias a esta configuración, SOA se considera una tecnología especialmente adecuada para obtener la integración de las distintas actividades de negocio con un costo viable, [5].

### 1.3 *Windows Communication Foundation* WCF

Este modelo plantea una unificación de Servicios Web, .Net Remoting, Transacciones Distribuidas y mensajería MQ en un solo marco orientado a servicios distribuidos, [9]. Esto no es nada nuevo desde el punto de vista de SOA y de las tecnologías relacionadas, sin embargo, es el primer modelo de programación creado de principio a fin para facilitar el desarrollo de aplicaciones orientadas a servicios, [10], en comparación con otras plataformas que brindan las mismas posibilidades como es el caso de IBM u Oracle.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

### 2.1 Estructura general del sistema informático

Existe una gran variedad de escenarios de integración de sistemas que permiten la comunicación entre los mismos aplicando diversas tecnologías, entre las que se puede destacar SOA, la cual no exige implantar servicios Web, no obstante, estos son la forma más habitual, debido a que permite una comunicación entre sistemas de cualquier plataforma.

Bajo este concepto se desarrolló un diseño general mostrado en la Figura 2, que cuenta con un servicio principal WCF denominado “Taller” que soporta la mayor parte de la lógica operacional, que está conformado por 45 contratos de servicio [ServiceContract] en los cuales se especifican las funciones de dicho servicio, así mismo una clase LINQ to SQL (*Language-Integrated Query for Relational Data*) que crea un mapeo objeto-relación de la base de datos, que es utilizado para convertir datos entre el lenguaje de programación orientado a objetos y el usado por la base de datos relacional, además existen procedimientos almacenados los cuales son objetos pertenecientes a la base de datos ya que resulta más sencillo realizar operaciones complejas desde el lado de la aplicación y son invocados desde el servicio de manera conjunta.

Para que un cliente tenga comunicación con el servicio es indispensable la existencia de una referencia al mismo, de tal manera que el cliente mediante un punto de acceso lo consume con alguna solicitud referente a la actualización de la base de datos, el servicio deberá efectuar las operaciones necesarias haciendo uso de lo antes descrito para responder a dicha solicitud.

De igual manera, se consideró la existencia de servicios externos al sistema informático con el propósito de contar con la capacidad de comunicación con dichos sistemas, esto debido a que en ambientes industriales existe la necesidad de que varios sistemas operen de manera conjunta.

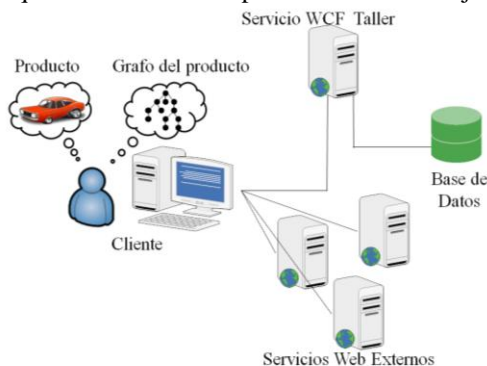


Figura 2 Estructura general del sistema informático.

### 2.2 Diseño del modelo de datos

Considerando los requerimientos antes presentados se llegó al modelo de datos relacional mostrado en la Figura 3, el cual está conformado por 18 tablas que se relacionan entre sí para soportar la información en forma ordenada y sobre todo evitar redundancias e inconsistencia de datos.

El modelo se forma por dos secciones. La primera tiene como función almacenar la estructura relacional (coordenadas en pantalla y tamaño de los elementos) y las características (nombre, maquina, proceso y tipo de nodo) asociadas a cada uno de los elementos que integran los diagramas de nodos.

Un aspecto de gran relevancia abordado en el diseño de la estructura del sistema informático, es el manejo de variantes, pues permite construir a partir de un diseño previo, el diagrama de un producto nuevo que es muy similar a otro existente y que se diferencian en pequeños detalles (color, capacidad, etc.), los cuales son especificados al momento de construir el diagrama, por tal razón sólo es necesario hacer tales cambios en el nodo correspondiente y éstos se reflejarán en las tablas variante, familia y atributo en base a la relación existente entre éstas. Para lograr el almacenamiento de lo descrito anteriormente, se utilizan 8 tablas principales y 4 auxiliares que permiten mantener una relación de  $n$  a  $n$ , teniendo así, “Producto” que es el lugar donde se almacenan los nombre de los diagramas, “Nodo” es la tabla en la que se guardan los nombre de los nodos y sus características gráficas, “Arco” la cual mantiene la relación entre nodos, “Nodo\_Tipo” en la que se especifica el tipo de nodo en relación y permite hacer el enlace con las variantes; la asociación con el atributo y familia correspondiente se lleva a cabo mediante la tabla “Familias\_Atributos”.

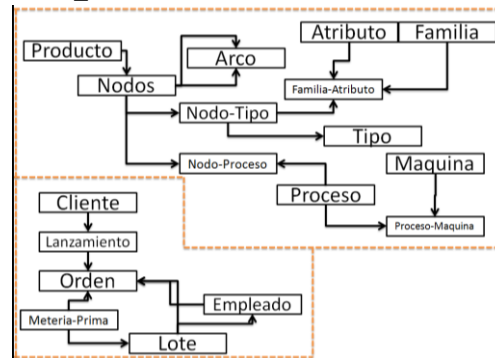


Figura 3 Esquema del modelo de datos.

Por otra parte, la segunda sección corresponde al seguimiento del producto durante el proceso de producción, que es información clave para llevar a cabo la rastreabilidad del mismo. Se inicia con información referente al lanzamiento, que se transfiere de manera automática a la tabla “Órdenes”, en la cual se crea un registro para cada nodo, de tal manera que se tiene un número de serie por pieza y por ítem, las cuales se controlan mediante un estado que se actualiza durante el proceso de producción. Cabe mencionar que cada orden se relaciona con la tabla “Empleado” y en caso de ser nodo de materia prima se asocia también a las tablas “Lote” y “Materia\_Prima”. Es importante señalar que al inicio de la operación del sistema, todas las tablas que integran la base de datos no requieren registro alguno, por lo cual el modelo en conjunto con el sistema informático tienen la capacidad de operar de manera correcta independientemente de la cantidad de maquinas, estaciones, procesos, productos, personal, materia prima, etc. involucrados en la empresa.

### 2.3 Desarrollo de las funciones del sistema informático de rastreabilidad

El sistema informático de rastreabilidad cuenta con 4 grandes áreas; la primera se refiere a registro de los diagramas BOM, en el cual el usuario lo diseña de manera gráfica, dibujando nodos, asignando características y relacionándolos entre sí. La segunda corresponde al envío de lanzamientos, donde el usuario hace órdenes de productos a fabricar especificando: producto, cantidad, materia prima, lote, así como el cliente correspondiente. La tercera sección se encuentra directamente relacionada al piso de fabricación, es decir, es la parte en la que se realiza el maquinado, ensamble, pruebas, etc, así mismo se puede monitorear el flujo de producción en cada estación. Finalmente se encuentra la sección de rastreabilidad la cual permite generar diversos reportes tanto de un producto como de materia prima específicos.

Para el registro del BOM de productos, se sugiere el uso de diagramas de nodos o grafos, de tal manera que el sistema sea capaz de soportar el diseño gráfico, almacenamiento y reconstrucción de cualquier diagrama independientemente del número de elementos que lo integre, así como las características inherentes al mismo (ubicación en pantalla y dimensiones). Cabe mencionar que del diagrama se toman los datos para guiar el proceso de fabricación de dicho producto (Figura 4).

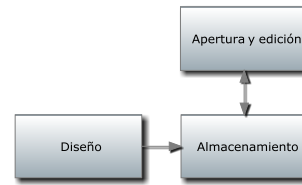


Figura 4 Almacenamiento de información referente al diagrama de nodos.

De igual manera resulta conveniente contar con una opción que permita al usuario saber qué características asoció previamente a un nodo en específico (tipo, maquina, proceso, etc.), debido a que el nodo gráficamente sólo muestra: su ubicación en pantalla indicando el nivel en el que se encuentra, nombre y valores de los enlaces asociados. Dicha información es mostrada como sólo lectura siguiendo la lógica que se presenta en la Figura 5.

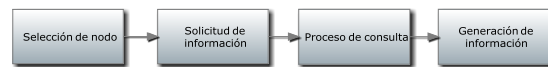


Figura 5 Consulta de información referente al un nodo.

Otra funcionalidad del sistema es el registro de lanzamientos de producción, el cual se integra de tres fases; la primera se refiere al envío de las órdenes de productos asociados a un cliente, para lo cual, se presenta la lista de los productos que se encuentran registrados, así como de los clientes que están dados de alta en el sistema, así mismo es necesario especificar la cantidad de productos a fabricar para enviar el lanzamiento, (ver Figura 6) cabe mencionar que esta información así como la fecha y hora son almacenados en la tabla correspondiente, ya que son de gran utilidad para contribuir a los registros de rastreabilidad.

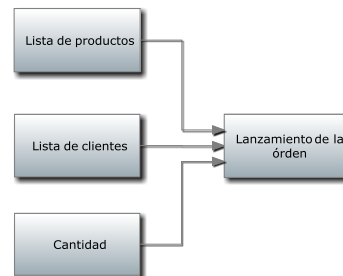


Figura 6 Proceso para enviar un lanzamiento.

La segunda parte de lanzamiento corresponde a la asignación de materia prima y lote a los nodos de tipo “materia prima” que contiene el diagrama del producto lanzado, de tal manera que el sistema despliega automáticamente una lista de los nombres de los nodos a los que se les asignan los datos antes mencionados, seguido de una segunda lista con las materias primas que hasta el momento el sistema tiene registradas, y finalmente una tercera lista que contiene los lotes que pertenecen a dicho material. Esta asignación se realiza tantas veces como el número de nodos de tipo materia prima multiplicado por el número de productos a lanzar, tal y como se muestra en la Figura 7.

Lo anterior resulta indispensable debido a que es posible que no todos los productos de un mismo lanzamiento se puedan fabricar con un mismo lote de material.

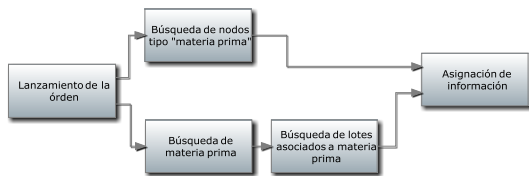


Figura 7 Asignación de materia prima.

Cada vez que se realiza la asignación expuesta en la Figura 7, la información es enviada al Servicio Web Herramientas de Gestión que corresponde a un servicio externo, pues en ocasiones resulta útil para realizar la conectividad con aplicaciones externas.

Finalmente en la tercera fase, el sistema cuenta con toda la información referente a los lanzamientos, para ser enviada a una estación de monitoreo donde se puede observar el estado de cada una de ellas, así como a las estaciones de fabricación correspondientes (robot, sierra, etc.), en las cuales el estado por defecto de las órdenes es “en espera” el cual cambia conforme avanza el proceso.

Es importante mencionar que las órdenes se muestran disponibles en un orden específico, comenzando de la parte inferior del diagrama, eligiendo los nodos que no son padres y tomando una secuencia en dirección ascendente y además considerando el valor asociado al nodo, de tal manera que para mostrar disponible una orden de un nodo padre antes debe haberse procesado las órdenes de los nodos hijo, esta funcionalidad asegura que se respete el orden definido en el diagrama. Ver Figura 8.

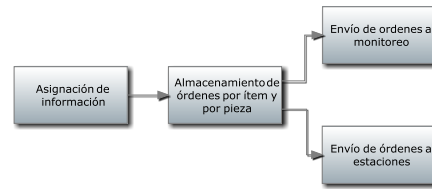


Figura 8 Envío de órdenes individuales a estaciones.

Considerando otro aspecto de seguridad para evitar procesar piezas que no corresponden a la secuencia asignada por el sistema, se introdujo una opción adicional en las estaciones denominada “escanear” con el propósito de que se realice una lectura del número de serie de la pieza y si éste no corresponde a las órdenes disponibles en dicha estación o a la secuencia correcta de producción, envía un mensaje al usuario indicándole la falta de correspondencia en el proceso, dicho procedimiento se presenta en la Figura 9.

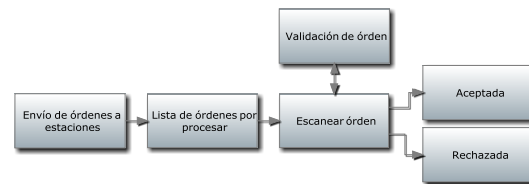


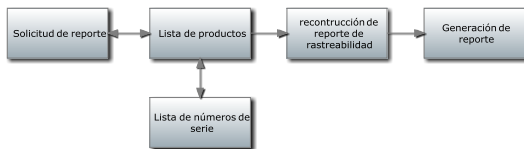
Figura 9 Escaneo de la orden a procesar.

Luego de haber sido aprobada una orden por el escáner, queda disponible para ser procesada considerando información como el nombre del operador, fecha y hora desde el comienzo hasta el final del maquinado. Cuando se comienza a operar, el estado de dicha orden cambia de “en espera” a “procesando” y al concluir la operación su estado cambia a “finalizado” y se elimina de manera automática de la lista de órdenes pendientes, lo anterior se actualiza tanto en la estación de monitoreo como en la estación en la que se está operando.

Cabe mencionar que para las máquinas de prueba e inspección se hace uso de un estado más que corresponde a “cancelado” esto es por el hecho de que algún producto no apruebe cierta inspección, de tal manera que al asignarle este estado a un nodo, todos los nodos que se encuentran a uno o más niveles superior se anulan y se cancelan automáticamente, evitando así, continuar con la fabricación de un producto que no pase ciertas pruebas de calidad.

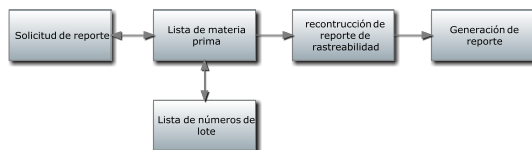
Finalmente se cuenta con un apartado para la generación de reportes, para lo cual se consideraron dos tipos de reportes que son de gran ayuda a la toma oportuna de decisiones.

El primero consiste en la reconstrucción de todo el proceso de producción de un producto en particular, el cual incluye la descripción de cada nodo indicando número de serie, proceso, estación, fecha, hora, operador, lanzamiento, cliente, etc. Para lo cual se elije el producto del que se desea conocer su reporte, posteriormente se despliega una lista con los números de serie que hasta el momento se han fabricado de dicho producto, independientemente del estado en el que se encuentren. Lo anterior es presentado en la Figura 10.



*Figura 10 Reporte general de un producto.*

Un segundo reporte es referente a la búsqueda de productos que fueron fabricados con determinado número de lote de materia prima, para lo cual, se indica qué materia prima se desea hacer referencia, posteriormente se actualiza una segunda lista con los lotes que corresponden a dicho material, una vez que se selecciona dicha información el sistema realiza una búsqueda mostrando como resultado: número de serie, nombre de los productos, lanzamiento, cliente, fecha, hora, operadores responsables, etc. Dicha secuencia se presenta en la Figura 11.



*Figura 11 Reporte de productos fabricados con un número de lote.*

### 3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA.

Como parte del proceso de validación del sistema informático se creó una LAN inalámbrica en la que se comunicaron cinco computadoras que representaban la función de: diseño, lanzamiento, monitoreo y estaciones. Bajo este ambiente se

diseñaron diversos diagramas de grafos que representan la estructura de un producto a fabricar, así mismo se representó el maquinado y ensamble del mismo y se generaron algunos reportes de rastreabilidad. Lo anterior se desarrolló con la intención de emular el proceso de fabricación de un producto, tratando de que el sistema se encuentre en condiciones semejantes a las presentadas en un proceso real de manufactura.

Se procedió a realizar diversos lanzamientos haciendo variaciones con respecto a: cantidades, cliente, lotes y materias primas. De tal manera que se logró confirmar que los datos fueron almacenados en las tablas correspondientes y que la relación entre ellos es correcta.

Se pudo observar que durante este proceso el sistema respondió tal como se había diseñado, pues la información se almacenó satisfactoriamente, considerando los aspectos de seguridad planeados como lo son: no dejar campos vacíos, redundancia de información, mensajes al usuario cuando introduce datos erróneos, etc.

Dentro del diseño del producto se logró comprobar la efectividad del sistema, ya que permite el registro de diferentes productos y versiones de los mismos, posteriormente se inició la simulación del proceso de fabricación en cada una de las estaciones, haciendo una constante revisión en las mismas para constatar que las órdenes y cantidades enviadas fueran las correctas y que la actualización del estado de las mismas se realizará de manera automática en las estaciones correspondientes.

Finalmente se generaron diversos reportes en relación a números de serie de productos, números de lote de materia prima, etc. Corroborando que la información fue correcta y con estos se muestran un alto nivel de detalle en relación a la reconstrucción del camino trazado por el producto.

### 4. CONCLUSIONES

Durante la implementación del sistema presentado en esta investigación se constató la efectividad de SOA dentro del marco de trabajo de WCF para obtener un sistema flexible apoyándose en los beneficios ofrecidos el modelo de programación unificado de Microsoft.

El diseño del sistema orientado a servicios, sustentado en el consumo de servicios web, apoya el desarrollo de sistemas genéricos de fácil adaptabilidad y con alto grado de flexibilidad mediante sistemas débilmente acoplados. Para alcanzar ésta característica en los sistemas, el

cliente debe conocer la menor cantidad de información posible del servicio, proporcionando la ventaja de realizar cambios en el servicio sin necesidad de reflejar dichos cambios en el cliente independientemente de las plataformas utilizadas. La solución propuesta (procesos y modelo de datos) conduce a un sistema genérico de rastreabilidad para pisos de fabricación bajo utilizando tecnologías de vanguardia para lograr sistemas débilmente acoplados que permiten alto grado de flexibilidad.

### REFERENCIAS.

- [1]Díaz, A., & Trelles, S. (2007). *Rastreabilidad Requerimientos y Experiencias Internacionales*. Coronado, Costa Rica.
- [2]Muran, J., Gryna, F., & Bingham, R. (1994). *Manual de control de la calidad*. New York: Reverté.
- [3]Scheer, A.W., (1994), *Business Process Engineering: Reference Models for Industrial Enterprises*, 2nd ed., New York: Springer - Verlag. ASIN: B000O560IW.
- [4]Mahadevan, B. (2007). *Operations Management Theory and Practice*. India.
- [5]Trejo, J. (2007). *Herramienta informática para la identificación de procesos asociados a la fabricación de muebles de madera*.
- [6]Kooijmans, & Louwe, A. (08 de Septiembre de 2006). *IBM*. Recuperado el 11 de Junio de 2011, de The value of the IBM System z and z/OS in Service-Oriented Architecture:  
<http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/redp4152.html>
- [7]OASIS Committee Specification. (2006). *Reference model for Service Oriented Architecture*. McKenzie.
- [8]Papazoglou, M., & Den Heuvel, W. (2007). *Service Oriented Architectures: Approaches, Technologies and Research Issues*.
- [9]Zamoszczyk, C. (2010). Windows Communication Foundation: Hacia una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) más simple. 25-26.
- [10]McMurtry, C. (2008). *Windows Communication Foundation*. United States of America: SAMS.