

# Diseño de Sistemas Automatizados Utilizando Herramientas de Simulación



*Automatización de Sistema Paletizador de Envases Metálicos, Estudio e Implementación en Simulación.*

ALEXANDRA M. OLIVARES C  
CARLOS A. GONZALEZ G

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE  
BOLIVAR

06/06/2008

**DISEÑO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS UTILIZANDO  
HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN “AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA  
PALETIZADOR DE ENVASES METÁLICOS, ESTUDIO E  
IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN”**

**ALEXANDRA MILENA OLIVARES CUADRADO  
CARLOS ANDRÉS GONZÁLEZ GUZMÁN**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.  
2008**

**DISEÑO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS UTILIZANDO  
HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN “AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA  
PALETIZADOR DE ENVASES METÁLICOS, ESTUDIO E  
IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN”**

**ALEXANDRA MILENA OLIVARES CUADRADO  
CARLOS ANDRES GONZALEZ GUZMAN**

**Director  
ING. JOSE LUIS VILLA  
PhD. Ingeniería**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.  
2008**

**DISEÑO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS UTILIZANDO  
HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN “AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA  
PALETIZADOR DE ENVASES METÁLICOS, ESTUDIO E  
IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN”**

**ALEXANDRA MILENA OLIVARES CUADRADO  
CARLOS ANDRES GONZALEZ GUZMAN**

**Trabajo de grado  
presentado como requisito  
para obtener el certificado del  
Minor en Automatización  
Industrial**

**Director  
ING. JOSE LUIS VILLA  
PhD. Ingeniería**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.  
2008**

Nota de Aceptación

---

---

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena de Indias, D.T. y C, Junio de 2008

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	10
1. DESARROLLO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS .....	12
1.1.1 Parte Operativa.....	14
1.1.2 Parte de Mando.....	14
1.2 METODOLOGÍA TRADICIONAL EN DISEÑO DE AUTOMATISMOS .....	16
1.3 EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS EN EL ENFOQUE TRADICIONAL.....	17
1.3.1 Diseño Mecánico Y Validación .....	18
1.3.2 Diseño y Herramientas de Validación del Sistema de Control.....	21
2. DESARROLLO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SIMULACION.....	27
2.1 DESARROLLO MECATRONICO Y MODELOS VIRTUALES.....	28
2.2 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO VIRTUAL DE AUTOMATISMOS: SIMULADORES MECATRONICOS.....	31
2.2.1 Capacidades De Simulación De Simuladores Mecatrónicos .....	32
2.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO DE SIMULADORES MECATRÓNICOS .....	38
3. CASO DE ESTUDIO: PALETIZADOR DE ENVASES METALICOS SEATECH INTERNATIONAL .....	42
3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	43
3.3 MODELO VIRTUAL DEL SISTEMA MECANICO .....	44
3.3.1 Configuración del Sistema: Definición de la Geometría y Condicionamiento Dinámico.....	45
3.4 ELEMENTOS PRESENTES CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	49
3.5 DESCRIPCIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL .....	51
3.5.1 Gráfico Secuencial De Funciones .....	53
3.5.2 Gestión De Errores En Los Componentes .....	56
3.5.3 Detección de errores en los Actuadores.....	58
3.6 INSTRUMENTACIÓN DEL PALETIZADOR DE ENVASES: ELEMENTOS DE POSICIÓN.....	59

3.6.1 Localización Del Sensor Del Ciclo Automático .....	60
3.7 SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN .....	62
CONCLUSIONES .....	63
BIBLIOGRAFIA.....	68

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO TÍPICO.....	13
FIGURA 2. ESTRUCTURA CARACTERÍSTICA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO, DE [1].....	15
FIGURA 3 <i>FLUJO DE TRABAJO MÉTODO TRADICIONAL DE DISEÑO DE AUTOMATISMOS</i> .....	16
FIGURA 4 EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN PROCESO DE DESARROLLO DE AUTOMATISMOS.....	17
FIGURA 5 HERRAMIENTAS Y OPCIONES DE EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO .....	20
FIGURA 6 FLUJO DE TRABAJO EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO .....	21
FIGURA 7 MÉTODOS DE VALIDACIÓN LÓGICA DE CONTROL.....	22
FIGURA 8 ELEMENTOS Y TECNOLOGÍAS DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN.....	25
FIGURA 9 MECATRÓNICA COMO INTEGRACIÓN DE CIENCIAS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO .....	27
FIGURA 10 FLUJO DE DESARROLLO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS, [21]. .....	30
FIGURA 11 MODELO DESARROLLO DE AUTOMATISMOS EN UN ENTORNO DIGITAL .....	30
FIGURA 12 ARQUITECTURA DE DESARROLLO SIMULADOR MECATRÓNICO, DELMIA AUTOMATION - DASSAULT SYSTEM, EN [6].....	32
FIGURA 13 SIMULACIÓN DE TRANSPORTE, OBJETOS SOBRE BANDA TRANSPORTADORA.....	34
FIGURA 14 PARAMETRIZACION DE SENSORES VIRTUALES, MEDIANTE HOJAS DE DATOS.....	35
<b>FIGURA 15</b> ESCALABILIDAD EN SISTEMAS AUTOMATIZADOS, SIMULADORES VIRTUALES .....	37
FIGURA 16 METODOLOGÍA DE TRABAJO SIMULADORES MECATRÓNICOS.....	38
FIGURA 17 FLUJO DE TRABAJO SIMULACIÓN DINÁMICA AUTODESK INVENTOR, EN [20] .....	40
FIGURA 18. VISTA PANORÁMICA DE MODELO VIRTUAL PALETIZADOR DE ENVASES.....	44
FIGURA 19 BANDA TRANSPORTADORA PRINCIPAL.....	45
FIGURA 20 SEPARADOR DE ENVASES.....	46
FIGURA 21. LÁMINA.....	46
FIGURA 22 ELEVADOR DE ESTIBAS.....	47
FIGURA 23 FIGURA 23 BARREDOR DE ENVASES.....	47
FIGURA 24 TRANSPORTADOR DE ESTIBAS.....	48
FIGURA 25 APILADOR DE ESTIBAS.....	48
FIGURA 26 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO PALETIZADOR DE ENVASES .....	50
FIGURA 27 SECUENCIA NORMAL DE ESTADOS DE SENSORES EN EL CICLO DE OPERACIÓN DEL BARREDOR DE ENVASES.....	57
FIGURA 28 CONDICIONES TIEMPO MÁXIMO DE EJECUCIÓN DE UN ACTUADOR.....	58
FIGURA 29 LOCALIZACIÓN SENSOR PALLET COMPLETO, MODO AUTOMÁTICO.....	61



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS HERRAMIENTAS SIMULACIÓN CONTROLADORES PROGRAMABLES.....	23
TABLA 2 DESCRIPCIÓN ACTUADORES PRESENTES EN EL SISTEMA .....	49
TABLA 3 DESCRIPCIÓN SENSORES PRESENTES EN EL SISTEMA.....	49
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS SENSORES SELECCIONADOS PARA EL SISTEMA .....	59

## INTRODUCCION

La complejidad y la rapidez de cambio en los sistemas de automatización, los costos y tiempos de desarrollo de prototipos, problemas de interpretación en los datos compartidos por los equipos de trabajo, son algunos de los principales retos a los que se enfrentan los profesionales involucrados al proceso de diseño e implementación de automatismos al momento de desarrollar su trabajo, por lo cual se hace necesario encontrar alternativas que permitan desarrollar de manera integral un proceso de automatización (Diseño e Implementación), reduciendo estas “desventajas” , una de estas alternativas se encuentra en el desarrollo virtual de prototipos.

El presente trabajo expone el recorrido que se realiza para pasar de un modelo de desarrollo convencional de desarrollo de automatismos, basado en implementación física o semifísica, a un modelo de desarrollo completamente digital.

En el capítulo uno expone una introducción al proceso de desarrollo de sistemas automatizados, en donde se presenta los elementos que definen a un automatismo y se realiza la descripción de la metodología tradicional de desarrollo de los mismos, en la cual se destaca cada una de las etapas fundamentales involucradas a esta, se exponen modelos y herramientas productivas y de mejoras a procesos, técnicas que involucran herramientas

graficas avanzadas, simulación de modelos dinámicos , programación y supervisión, conformando las herramientas de desarrollo, evaluación y validación disponibles para cada etapa dentro del proceso.

En el capítulo dos se expone un camino de migración hacia un modelo de desarrollo digital tomando como base a la mecatrónica y sus características de ejecución integradas, dando paso a los ambientes de desarrollo virtual nombrados en este documento como simuladores mecatrónicos, sobre los cuales se expondrá una metodología de desarrollo de automatismos basado en simulación, por último se evaluará según un estudio de las necesidades la metodología necesaria para solucionar un problema de ingeniería, la automatización y optimización de un sistema paletizador de envases metálicos.

## **1. DESARROLLO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS**

Este trabajo está enfocado a la automatización de maquinaria de manufactura industrial, las cuales usualmente son sistemas mecánicos integrados en alguna parte de una línea de fabricación. En este sentido se tratará de aquí en adelante con sistemas automatizados entendidos como toda máquina integrada a un proceso de manufactura que posea un sistema computarizado de control que le permita un funcionamiento autónomo o semiautónomo.

En el presente capítulo, se describe la forma tradicional de desarrollo de sistemas automatizados, para justificar la necesidad de usar metodologías alternas que ayuden a sortear los vacíos presentes en un proceso convencional, y conllevar a un proceso de desarrollo más eficiente y seguro.

Este capítulo se encuentra dividido en tres secciones. Se empieza con la descripción de un sistema automatizado y sus componentes, en la sección 1.2 se presenta la forma convencional de desarrollo de sistemas automatizados y en la sección 1.3 se exponen los elementos y herramientas utilizados dentro de un proceso de desarrollo de un sistema automatizado de la forma convencional. Este capítulo y sus secciones se encuentran basadas en las referencias [1] [2] [3] [9] [10] [11] [17] [18].

## 1.1 ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS

La figura 1 muestra el esquema general de un sistema automatizado, básicamente se tiene un proceso dinámico cuyo comportamiento tiene que ser controlado para obtener una respuesta determinada, la figura muestra los subsistemas o componentes principales que se encuentran presentes en cualquier sistema automatizado. La maquina o proceso es equipada por un conjunto de elementos, sensores y actuadores, los cuales envían y reciben órdenes hacia y desde el sistema de control respectivamente, este a través de las señales recibidas mediante los sensores, procesa un grupo de instrucciones y dá de vuelta las órdenes a los accionamientos de potencia, o directamente a los actuadores los cuales ejecutan las acciones determinadas, transformación de energía, eléctrica, mecánica, neumática, etc.

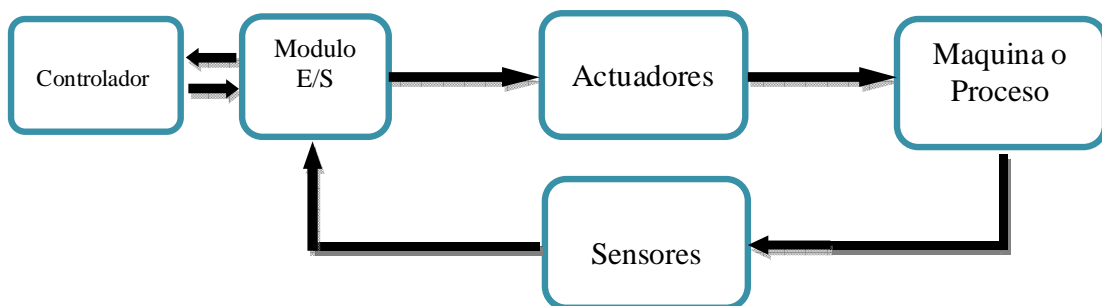


Figura 1 Diagrama esquemático de un sistema automatizado típico.

Comúnmente algunos autores separan los elementos de un automatismo dentro de dos grupos, un grupo de elementos operativos o Parte Operativa y un grupo de control o Parte de Mando como se muestra en la figura 2.

**1.1.1 Parte Operativa** consta de la maquina en sí (estructura mecánica) y los elementos que actúan directamente sobre ella, los que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada, por ejemplo, transferencia de energía, mecánica, eléctrica hidráulica, neumática, etc. En esta parte se incluyen actuadores como motores, cilindros, válvulas y los sensores como detectores de posición, proximidad, finales de carrera, fotoceldas, etc.

**1.1.2 Parte de Mando** está constituida por el conjunto de componentes que elabora las órdenes necesarias para el funcionamiento de la parte operativa, en función de la información procedente de ella y de las órdenes dadas por el operador. Por lo general es un autómata programable mayormente, uno o varios PLCs. Los cuales deben ser capaces de comunicarse con todos los elementos del sistema automatizado.

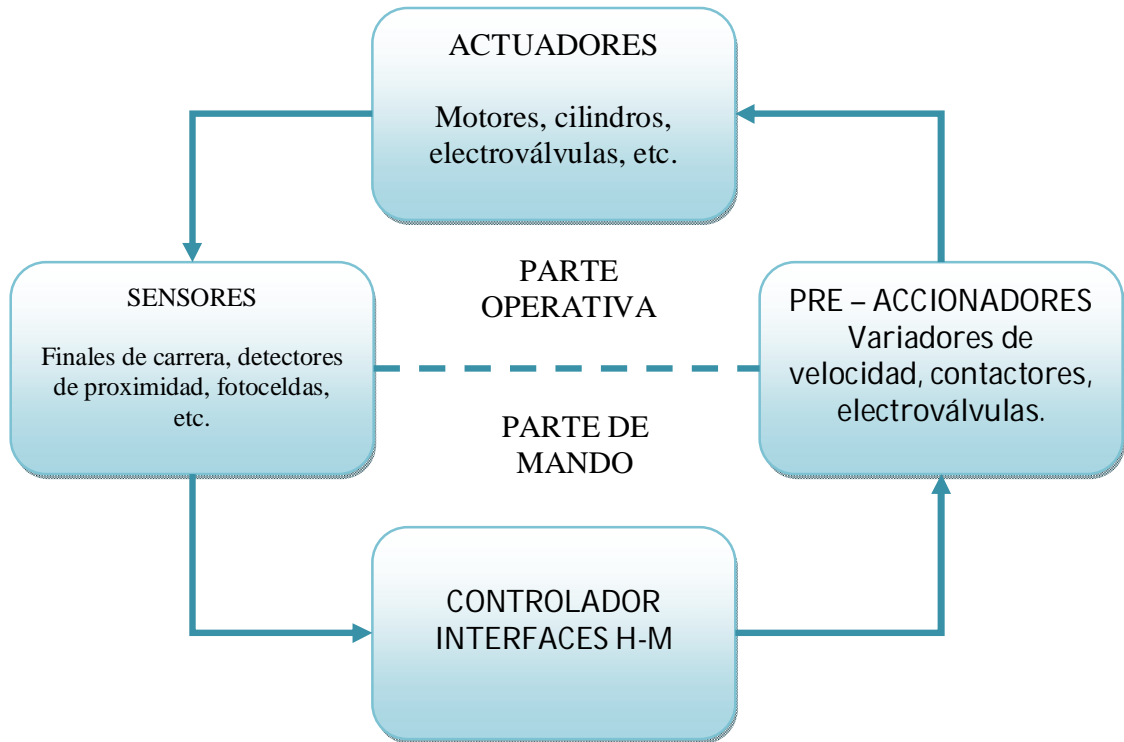


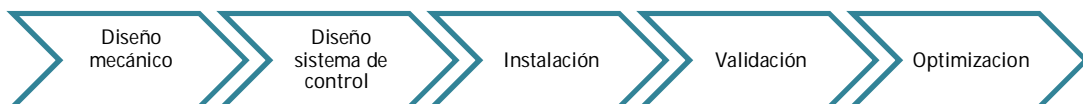
Figura 2. Estructura Característica De Un Sistema Automatizado, de [1]

Los sistemas automatizados siguen el mismo proceso de desarrollo que los otros productos de manufactura, en los cuales se realizan dos actividades paralelas, una involucra la generación de ideas, diseño del producto y toda la ingeniería involucrada, y la otra referente al mercado y análisis económico, la intención de este documento es no describir el completo proceso de desarrollo, sino enfocar en los apartes referentes al desempeño dinámico de la maquina.

## 1.2 METODOLOGÍA TRADICIONAL EN DISEÑO DE AUTOMATISMOS

Tradicionalmente la concepción de automatismos o sistemas automatizados, partiendo desde su etapa inicial de diseño y especificaciones conceptuales y hasta su implementación y puesta en funcionamiento, se alcanza mediante la intervención sucesiva de profesionales involucrados al proceso, los cuales trabajan de manera serial y subsecuente en actividades propias de su área, Mecánica, Eléctrica, Electrónica, etc. La figura 3 muestra la línea de tiempo o flujo de trabajo del modo habitual de desarrollo de automatismos.

En la metodología de desarrollo convencional, primeramente se es diseñado y construido el esquema mecánico del automatismo; el próximo paso es desarrollar el sistema de control, basado en las especificaciones de funcionamiento previamente descritas, una vez este es determinado, se procede a la implementación y prueba del sistema, en el cual mediante parámetros de validación se provee un criterio con el cual se determina si el desempeño del sistema es el adecuado, pasando a un proceso de optimización.



**Figura 3** Flujo de trabajo método tradicional de diseño de automatismos



### 1.3 EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS EN EL ENFOQUE TRADICIONAL

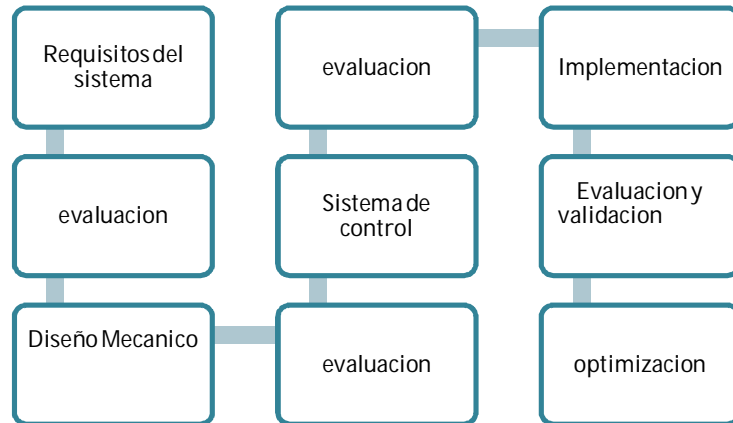


Figura 4 Evaluación y validación proceso de desarrollo de automatismos

Cada etapa en el proceso de desarrollo de un sistema automatizado, como en cualquier tipo de producto, debe contar con métodos y herramientas que definan si las tareas realizadas son o han sido las correctas, en un modelo subsecuente como el expresado en la metodología convencional de automatismos, cada etapa debe ser evaluada y validada para dar paso al próximo estado de desarrollo, figura 4. Esto apoyándose en los métodos y herramientas disponibles para dichas tareas.

### 1.3.1 Diseño Mecánico Y Validación

Desde el punto de vista de un diseñador mecánico un automatismo, específicamente el sistema mecánico involucrado en este, es visto como la agrupación e interconexión de elementos cuyo propósito es transformar la energía obtenida directa o indirectamente de fuentes naturales en trabajo útil para satisfacer las necesidades humanas. En [19] Reuleaux define a un automatismo como una combinación de cuerpos resistentes organizados por los medios posibles, por los cuales las fuerzas naturales pueden ser forzadas a realizar trabajo, acompañado de ciertos movimientos determinados. Lo que expone que el diseño de un sistema mecánico se centra en la tarea de gobernar movimientos y las fuerzas que los generan. Bajo este enfoque existen varios conceptos relacionados o situaciones de diseño involucradas en el proceso de cómo se diseña un automatismo (mecánica),

- Las partes de una maquina se conocen como elementos
- Dos elementos con movimiento y contacto relativo se definen como pares
- El elemento que une un par se conoce como enlace
- Un grupo de enlaces y elementos los cuales han sido “unidos”, es una cadena cinemática.
- Si un enlace en la cadena cinemática es fijado esta se convierte en un mecanismo.
- Utilizar algún tipo de fuerza en un mecanismo transforma a este en una maquina.

Una maquina típica tiene una estructura jerárquica, en el cual el sistema está compuesto de pequeños subsistemas, los cuales típicamente se componen de sistemas más pequeños, los principales conceptos asociados a estos subsistemas se presentan a continuación:

**Enlace** - elemento de una maquina asumido como rígido, pero no necesariamente ejemplo cadenas, correas, cables, etc.

**Driver** - Entrada a un enlace. De donde se obtiene la energía utilizada, comúnmente un motor.

**Ciclo** - cuando las partes de un mecanismo o maquina han pasado por todas las posiciones posibles que puede asumir y ha regresado a la posición original, se ha completado un ciclo completo de movimiento.

**Período** - Tiempo requerido para ejecutar un ciclo completo de movimiento.

**Fase** - La posición relativa simultanea de los elementos en determinado instante de tiempo durante un ciclo de movimiento.

**Mecanismo** – es un ensamblaje de cuerpos rígidos puestos y conectados de tal manera que se trasladan uno respecto a otro, con cada movimiento relativo definido

El objetivo de diseño es entonces determinar el tipo y número de elementos, formas, tamaños y materiales con los cuales se consiga realizar un trabajo específico y permitan tener determinado el movimiento de cada elemento en cualquier instante.

### 1.3.1.1 Herramientas De Evaluación Y Simulación

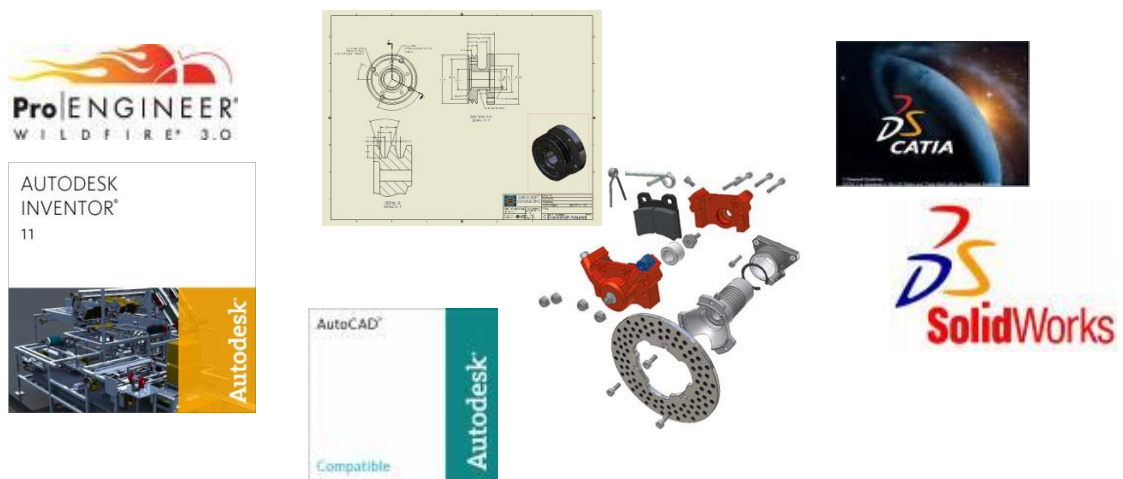


Figura 5 Herramientas y opciones de evaluación y simulación de diseño mecánico

La figura 5 muestra algunas de las aplicaciones existentes en el campo del desarrollo mecánico, todas estas herramientas cuentan con la capacidad de producir modelos 2D – 3D, los cuales son evaluados a través de simulaciones para comprobar si las partes son concordantes entre sí, si los movimientos son correctos, pruebas de interferencia, entre otras como el análisis de resistencia y estrés al aplicar fuerzas sobre los cuerpos de la maquina

### 1.3.2 Diseño y Herramientas de Validación del Sistema de Control

El diseño de un sistema de control Automático parte básicamente del conocimiento de las acciones o secuencias que debe ejecutar un controlador ante determinados eventos registrados en dicho sistema, es decir su funcionamiento normal predeterminado. La figura 6 muestra el flujo de trabajo en el desarrollo de un sistema de control automático. Consta fundamentalmente de dos elementos de diseño, lógica de control (parte de mando) e instrumentación (parte operativa), la primera implantada en uno o más controladores programables y donde residen las ordenes de ejecución del sistema y la segunda encargada de los dispositivos periféricos, sensores y actuadores.

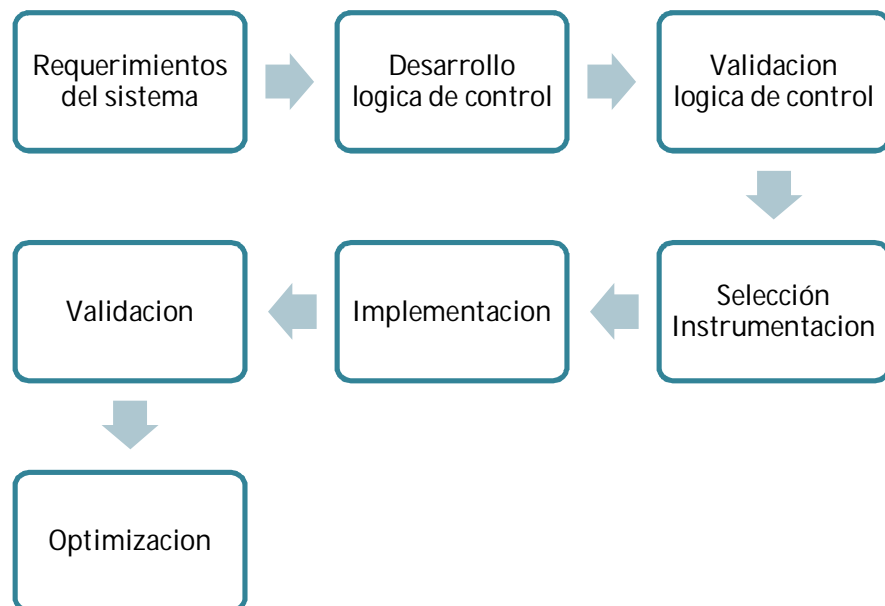


Figura 6 Flujo de trabajo en el desarrollo de un sistema de control automático

### 1.3.2.1 Lógica de Control

La lógica de control define las órdenes de funcionamiento total del equipo, esta se obtiene comúnmente del estudio detallado de una abstracción, diagrama de flujo o estudio directo de la operación del sistema. Tomando como elemento base a los Controladores Lógicos Programables, PLCs, esta se puede describir mediante alguno de los lenguajes de programación estándar definidos en la norma IEC61131-3. La forma de evaluar la funcionalidad de esta viene dada por el uso de software de simulación de PLCs genéricos o los proporcionados en los paquetes de desarrollo de los fabricantes para sus equipos particulares, o bien mediante la implementación semifísica o física, como se esquematiza en la figura 7.

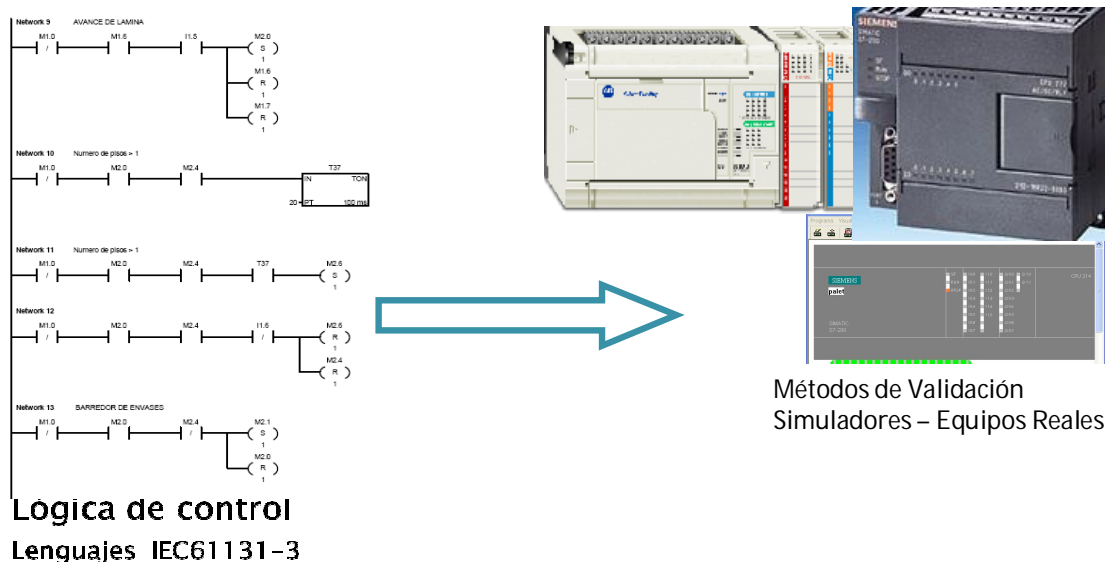


Figura 7 Métodos De Validación Lógica De Control

## Herramientas disponibles

A continuación se presenta una tabla con el resumen de algunas de las principales herramientas que se pueden encontrar para el tratamiento de la validación de programas y desarrollos en PLC's así como un resumen de sus características principales.

Herramienta	Desarrollador	Funcionalidades
PLC – SIM	Siemens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Editor grafico para simulación de procesos</li> <li>• Programación</li> <li>• Los siguientes lenguajes de programación y software de ingeniería son compatibles con S7-PLCSIM KOP, FUP, AWL S7-GRAPH S7-HiGraph S7-SCL CFC (and SFC) S7-PDIAG WinCC (instalado localmente)</li> </ul>
Rslogix Simulator	Allen Bradley	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para trabajar con las plataformas Rockwell Automation Logix: ControlLogix®, CompactLogix®, FlexLogix®, SoftLogix5800® and DriveLogix®.</li> <li>• Facil de usar.</li> <li>• Interface compilador IEC61131-3.</li> <li>• Opera sobre sistema operativo Microsoft® Windows®</li> <li>• Soporta Allen Bradley PLC-5</li> <li>• Flexible, fácil de usar editor</li> <li>• Herramienta de diagnostico y troubleshooting</li> <li>• Características de ahorro de tiempo y funcionalidad.</li> <li>• Compatible con los programas creados con Software's DOS-basados en los paquetes de programación para el procesador PLC-5</li> </ul>
CX Simulator	Omron	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transfiere Programas logicos Usando CX-programmer como si el PLC estuviera conectado.</li> <li>• Simula condiciones de entrada.</li> <li>• Configurar break points.</li> <li>• Filtro para condiciones I/O.</li> <li>• Send/receive comandos FINS.</li> <li>• Test/depurar aplicaciones HMI/SCADA.</li> </ul>
otros	SIMPLC – Festo, S7 – 200 - Canal plc	

**Tabla 1** Características Herramientas Simulación Controladores programables

### **1.3.2.2 Instrumentación**

Una vez ha sido diseñada y construida la estructura mecánica de un automatismo, el paso siguiente es dotar de los componentes que ejecutaran y limitarán los estados o acciones que debe desarrollar el automatismo para un evento dado. La selección de estos, pertenecientes a la parte operativa, como detectores de posición, proximidad, motores, válvulas, cilindros neumáticos, entre otros, se realiza mediante las especificaciones físicas y de operación del automatismo y el tipo de proceso al cual ha sido destinado, por ejemplo tamaño, potencia, velocidad, alcance. Así cada sistema tiene requerimientos de instrumentación distintos, sensores analógicos o digitales, con tecnología de trabajo diferentes (ópticos, magnéticos, capacitivos, inductivos), actuadores como cilindros de simple efecto, doble efecto, motores AC, DC entre otros, ver figura 8.

El manejo de la instrumentación está referido netamente a un ambiente físico, a pesar de contar con un análisis de diseño previo, basado en las hojas de datos de los componentes, es necesario realizar la implementación total e integral del automatismo, estructura mecánica, instrumentación en sí y sistema de control, para realizar la evaluación y validación del mismo, en un ambiente convencional y con las herramientas existentes disponibles, solo es posible una evaluación física.



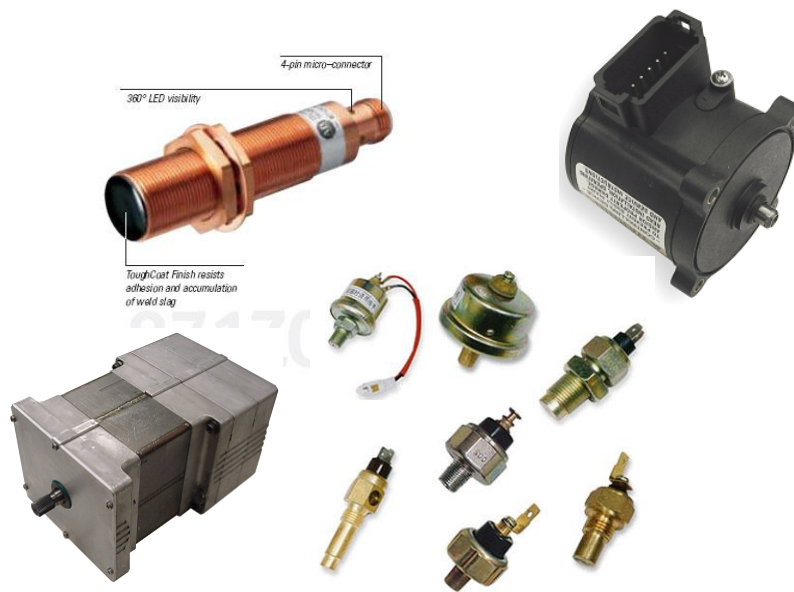


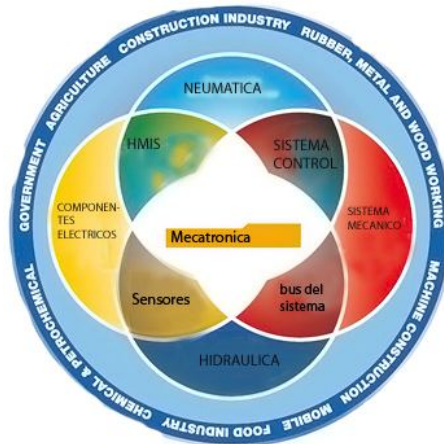
Figura 8 Elementos Y Tecnologías de Un Sistema de Instrumentación.

Es fácil observar que la metodología tradicional no es del todo óptima, debido a que los diferentes subsistemas del automatismo son diseñados de manera separada y secuencial, Los elementos mecánicos son diseñados aisladamente del sistema de control, el cual es diseñado para adaptarse con la mecánica. Debido a que los ingenieros de control no tienen acceso directo ni preciso a la información actualizada del desarrollo mecánico, el consiguiente desarrollo de diseño de control y programas pueden ser evaluados y validados solo cuando el sistema ha sido físicamente construido. Por lo tanto esta situación prolonga el tiempo de desarrollo del sistema. Igualmente, los costos debidos a cambios de diseño aumentan considerablemente con el tiempo, con lo cual se compromete la realización del automatismo bajo los parámetros establecidos.

El manejo de costos, el tiempo de realización y otros factores en los cuales la metodología tradicional de automatismos presenta debilidades, hace necesaria la búsqueda de una nueva forma de desarrollo en donde, el proceso de realización se ejecute en un ambiente integrado y paralelo, que permita aumentar la eficiencia, la facilidad de integración de los sistemas, comunicación e integración.

El uso de las herramientas virtuales o computacionales en combinación con un modelo de desarrollo concurrente, en el cual cada paso en el proceso de desarrollo sea ejecutado y validado al instante da una respuesta a los vacíos presentes al modelo actual.

## 2. DESARROLLO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SIMULACION



**Figura 9** Mecatrónica Como Integración De Ciencias De Desarrollo Tecnológico

En el capítulo anterior se describió el procedimiento secuencial característico del enfoque de desarrollo convencional de automatismos industriales, y algunas de sus posibles desventajas al observarlo desde una perspectiva de producción actual. La figura 9 muestra a la mecatrónica como una perspectiva de trabajo concurrente, en donde la constitución de un sistema se da a través de una combinación simultánea e integrada de técnicas que se derivan de las áreas como la mecánica, electrónica y control entre otras. En este capítulo se describe como el uso de las nuevas herramientas de diseño y validación concebidas dentro de la perspectiva de la mecatrónica, mejoran los aspectos señalados como debilidades en un proceso de desarrollo convencional. Este se encuentra dividido en 3 secciones, se empieza dando una introducción al proceso de desarrollo mecatrónico y al

modelo de gestión del ciclo de vida del producto, orientado a la automatización industrial, y de cómo de esta unión se desprenden las nuevas herramientas para un desarrollo eficiente de sistemas automatizados. En la sección 2.2 se presentan los simuladores mecatrónicos como los instrumentos de desarrollo virtual de automatismos, en donde se expone la arquitectura y capacidades de simulación. Y en la sección 2.3 se expone una metodología de trabajo para el desarrollo en base a estos simuladores. Este capítulo está basado en las referencias [4], [5], [6], [7], [8],[12],[13],[14],[15],[16].

## **2.1 DESARROLLO MECATRONICO Y MODELOS VIRTUALES**

La demanda industrial de automatismos viene orientando en los últimos años la concepción de sistemas automatizados de altas prestaciones, flexibles, confiables, de alta calidad y desarrollados en cortos periodos de tiempos. Este tipo de especificaciones no funcionales, incrementan la complejidad del proceso de diseño de automatismos, debido a la necesidad de reunir de manera significativa aspectos de las diferentes áreas que intervienen en un proceso de desarrollo, con el fin de obtener mejoras significativas, tanto en los productos como en el proceso de desarrollo mismo.

El desarrollo mecatrónico plantea un modelo de trabajo concurrente, en donde los distintos elementos que integran un sistema automatizado, son

diseñados y evaluados a partir del intercambio constante de información dentro del equipo de desarrollo, ver figura 10. Si bien este planteamiento expone un medio con el cual es posible mejorar algunos de los aspectos considerados como debilidades en un contexto de trabajo convencional, el proceso de validación de cada una de las etapas es efectuado de manera aislada, en las cuales cada disciplina usa su propio ciclo de diseño, terminología, modelos y herramientas específicas para desarrollar sus partes dentro del sistema, por lo cual es posible encontrar inconsistencias en algunas de las partes al realizar un proceso de integración final, realizado mediante un prototipo físico. Un método alternativo a estos fines viene dado de la mano de herramientas asociadas a la gestión del ciclo de vida del producto PLM. Las herramientas actuales de PLM permiten simular la realidad de los productos en proceso de desarrollo de una manera digital, virtual. Esto a través de la construcción de prototipos digitales, diseño 3D de un producto y de cada uno de sus componentes, los cuales poseen todas las características visuales y funcionales de un prototipo físico implementado. Dado que estos modelos digitales contienen todos los datos relativos al producto, es posible realizar todo tipo de cálculos, simulaciones y modificaciones sobre este.

Al combinar las principales características y visiones del desarrollo mecatrónico y del PLM, surgen un conjunto de herramientas integradas, con las cuales es posible emprender un proceso de desarrollo de sistemas automatizados, en un entorno completamente digital, ver figura 11. Estas

herramientas orientadas a las etapas de diseño, validación y optimización son presentadas en las siguientes secciones.

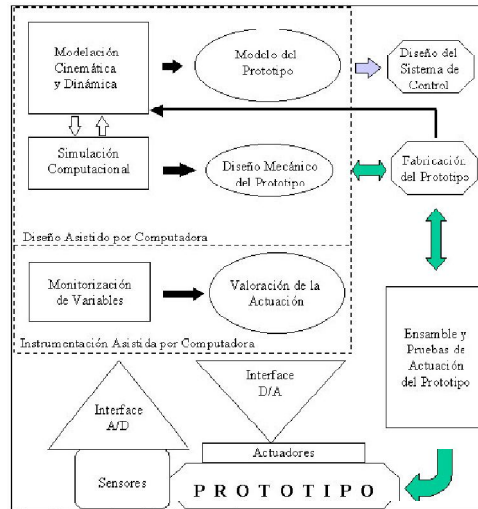


Figura 10 Flujo de Desarrollo de Sistemas Mecatrónicos, [21].

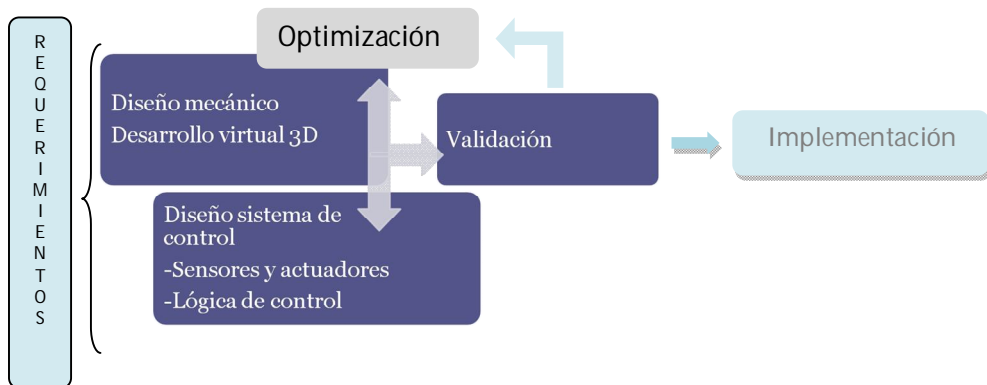


Figura 11 Modelo desarrollo de automatismos en un entorno digital

## **2.2 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO VIRTUAL DE AUTOMATISMOS: SIMULADORES MECATRONICOS**

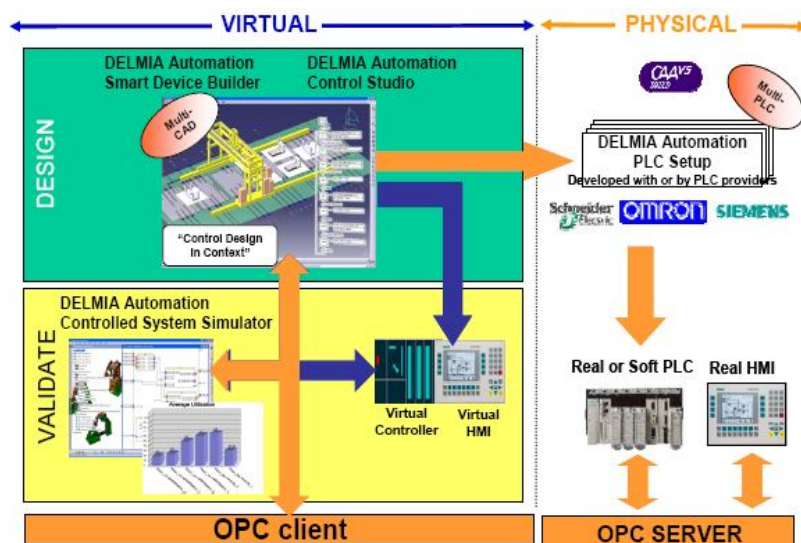
Los sistemas automatizados como se definen en la sección 1.1, constan de dos partes, operativa y de mando, en un ambiente de desarrollo virtual, estas deben ser definidas e integradas permitiendo efectuar simulaciones en entornos 3D, en las cuales el comportamiento dinámico del automatismo (relativo a la parte operativa) esté sujeto, a las ordenes otorgadas por la parte de control.

Los elementos y operaciones con que debe contar un ambiente de desarrollo virtual, el cual será referido en adelante como simulador mecatrónico, son:

- ▶ Permitir crear modelos digitales tridimensionales que emulen el comportamiento real de los elementos que componen un sistema automatizado.
- ▶ Simulación de movimiento, con características de detección de colisiones, variación de magnitudes físicas, posición, velocidad, aceleración, fuerza, etc.
- ▶ Parametrización de sensores y actuadores con interacción con sistema de control.
- ▶ Entorno de programación y depuración de lenguajes de programación PLCs IEC61131-3
- ▶ Comunicación con elementos reales y otras herramientas virtuales

La figura 12 Muestra la arquitectura de un simulador mecatrónico, caso particular la plataforma Delmia Automation de Dassault System, en la cual se

observa el esquema de desarrollo integrado y el flujo de información entre módulos, entorno desarrollo 3D, entorno de Control, comunicación entre controladores virtuales y físicos, así mismo y más importante la relación directa entre el entorno de desarrollo y el entorno de validación en donde se concentra la mayor ventaja del uso de estas herramientas .



**Figura 12** Arquitectura de desarrollo simulador mecatrónico, Delmia automation -Dassault System, en [6].

### 2.2.1 Capacidades De Simulación De Simuladores Mecatrónicos

Cuando un sistema físico es modelado, las restricciones debidas a las limitaciones tecnológicas deben ser incluidas como restricciones en la interpretación del modelo, puesto que el comportamiento del sistema real; implementado puede ser ligeramente diferente del comportamiento en el sistema ideal usado en este. Y estas pequeñas diferencias, normalmente sin



importancia, a veces pueden llevar a un proceso de automatización con operaciones erróneas [11]. El fin de un simulador mecatrónico es entonces el emular en gran medida el completo desempeño de un automatismo, por lo cual se requieren características de simulación especiales, las cuales expongan el comportamiento normal o no dentro de un ambiente real.

A continuación se presentan algunas de las características de simulación presentes en los principales simuladores mecatrónicos disponibles, Cosimir [21], Delmia Automation [14], emPLC [23], V-Meca [22].

- **Simulación en tiempo real.**

El modelo tridimensional desarrollado, con todas las restricciones dinámicas y de control, las variables de los componentes (entradas y salidas) presentan el mismo comportamiento dependiente del tiempo, como ocurre en los sistemas reales. Dos situaciones de simulación deben ser posibles, una en un ambiente netamente digital, control y modelo tridimensional son efectuados en el computador, y otra en donde el modelo tridimensional es controlado a través de un controlador real.

- **Simulación de transporte**

Todas las piezas y sistemas involucrados en el modelo virtual, deben ser capaces de interactuar entre ellas tal y como sucedería en un proceso real, los contactos entre piezas deben ser distinguidos,

capacidad de un elemento de desplazar a otro, teniendo en cuenta las propiedades y leyes físicas que involucren los mismos, figura 13.



Figura 13 Simulación De Transporte, Objetos Sobre Banda Transportadora


- **Detección de colisiones o interferencia**

Como en cualquier sistema real, los elementos físicos en su contraparte virtual no deben ser transparentes o “traspasables” entre sí, cuerpos sólidos.


- **Simulación de componentes**

La simulación de componentes, en particular de instrumentación, es una de las características más importantes que debe presentar un simulador mecatrónico, característica no existente en las herramientas relacionadas a la metodología tradicional, un modelo digital de un actuador o sensor es parametrizado para desempeñar el


comportamiento que su contraparte real, con tecnologías y modo de operación, ver figura 14 .



Modelo	alcance	Tipo
<b>E3F2-7B4-M</b>	10 mm	inductivo
<b>E3F2-7C4-Z</b>	3 mm	capacitivo

Modelo	Alcance	Tipo
motor	1/2 HP	3600 RPM
cilindro	150 mm	Simple efecto



**Figura 14** Parametrización De Sensores Virtuales, Mediante Hojas De Datos

- **Simulación de fallos**

Simular el funcionamiento real de un automatismo, incluye la posibilidad de detectar o crear situaciones de operación anormal del automatismo, lo que ayudaría a desarrollar las actividades correctivas ante la eventual presencia de estas.

- **Multitarea de sistemas de mando**

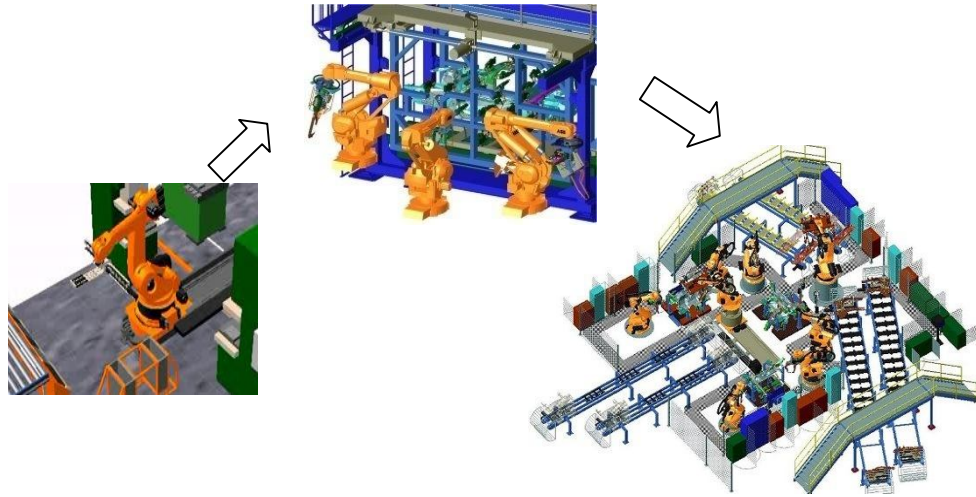
La posibilidad de controlar el modelo mediante uno o más controladores virtuales, o una combinación con elementos de mandos reales, como PLCs o interfaces hombre maquina HMI, y cumplir con los diferentes modos de operación posibles, automático, semi – automático.

- **Soporte para comunicaciones**

Permitir la comunicación entre aplicaciones tanto virtuales como virtuales – reales, a través de servidores y clientes OPC

- **Escalabilidad y flexibilidad**

Los automatismos presentan niveles de complejidad diferentes, por lo cual debe ser posible simular desde el proceso más simple hasta uno de mayor complejidad con las mismas capacidades de simulación, desde maquinaria aislada a maquinas coordinadas para trabajos de líneas de producción, figura 15.



**Figura 15** Escalabilidad En Sistemas Automatizados, simuladores virtuales

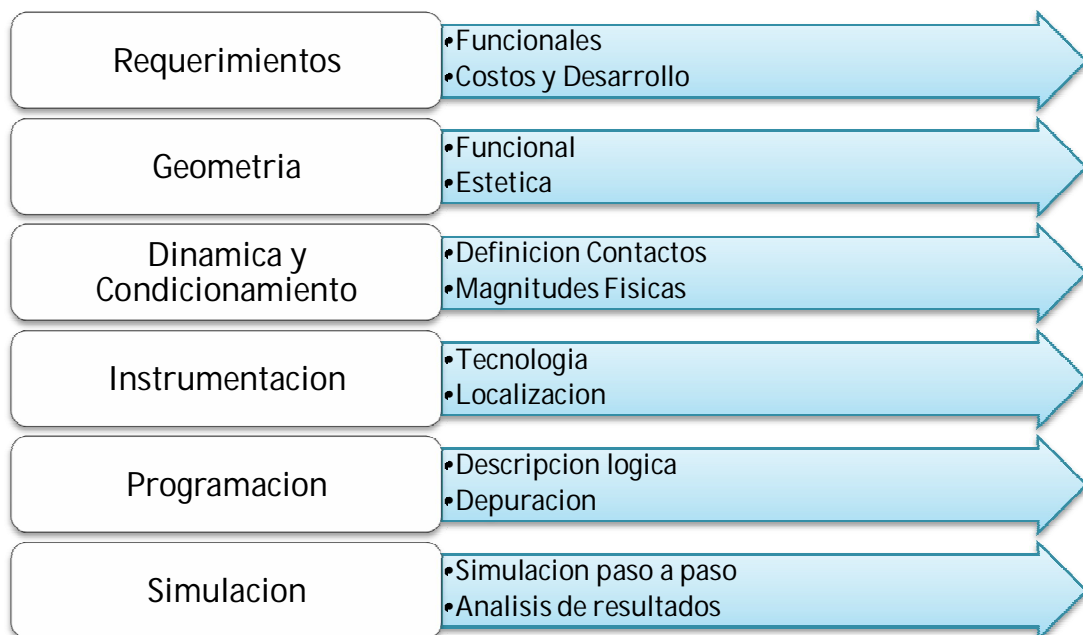
Las anteriores capacidades de simulación en un adecuado ambiente de gestión pueden generar ventajas significativas a nivel de:

- Reducción de los tiempos de diseño e implantación.
- Mejora la comunicación en los integrantes del equipo de desarrollo
- Aumento de la eficiencia en el proceso de diseño.
- Reducir los costos asociados al diseño.
- Estandarización de actividades dentro de un proyecto integral.
- Visualización detallada y directa de los avances de un proyecto.
- Reutilización de componentes.

## 2.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO DE SIMULADORES MECATRÓNICOS

En las secciones anteriores se expresó la flexibilidad en la metodología de desarrollo automatizados mediante un enfoque virtual en donde las partes mecánico - electrónica son diseñadas de manera unificada. En un simulador mecatrónico, modelar un sistema automatizado consiste en realizar una representación de cómo van a evolucionar las salidas en función de la secuencia de entradas al controlador, viéndose esto reflejado en un cambio de posición en el sistema tridimensional representado.

A continuación se expondrá uno de los caminos lógicos posibles al momento de utilizar esta metodología con los simuladores mecatrónicos:



**Figura 16** Metodología de Trabajo Simuladores Mecatrónicos.

## **1. Estudio de los requerimientos**

En este primer paso se realiza un estudio y planeación detallada, definiendo el objetivo general de desarrollo, el sistema que se desea desarrollar, estableciendo las condiciones de desarrollo, tanto económicas como funcionales; funcionales como la definición del tipo de acciones y tipo de tecnologías a utilizar.

## **2. Definición de la geometría**

En un editor de modelos 3D se calculan y moldean cada una de las piezas o elementos mecánicos necesarios, para configurar el sistema de tal manera que cumpla con las funciones de operación definidas, se define la geometría, el tipo de material y propiedades físicas de las mismas, y posteriormente se realiza el ensamblaje de estas, determinando las piezas móviles, los enlaces, las fuentes de energía, etc. Verificando que cada uno de los movimientos efectuados por un elemento se encuentre determinado para cada evento.

## **3. Determinación de la dinámica y condicionamiento**

La implementación de la dinámica en un modelo de ensamblaje virtual, requiere la realización de diversas configuraciones, a las piezas utilizadas en

el modelo, a continuación se expone la configuración característica de Autodesk inventor para este fin, ver figura 17.



**Figura 17** Flujo de trabajo simulación dinámica Autodesk Inventor, en [20]

- **Creación contactos:** identificar las posiciones de un componente en las cuales se realiza un movimiento con respecto a otros. Movimiento lineal, circular, balance o pivote, punto sobre una curva, cilindros, etc. Definiendo así los grados de libertad con los cuales contara cada pieza específica dentro de un ensamblaje.
- **Definición del ambiente:** añadir la información física relacionada con los elementos de la maquina, gravedad, fricción, amortiguamiento, fuerzas externas, etc.
- **Simulación:** ejecutar una simulación dinámica para verificar las características acciones y movimientos, durante un ciclo de trabajo, observando la secuencia de pasos a ejecutar.
- **Análisis de Resultados:** se analiza la información arrojada por el simulador, la reacción de la maquina durante la ejecución, detectando



las posibles interferencias o errores de ensamblaje, y opciones de configuración dinámica de los componentes

#### **4. Instrumentación virtual**

Al modelo tridimensional se le adicionan las restricciones de desplazamiento mecánicas necesarias, teniendo en cuenta las características de los actuadores, motores, cilindros, etc. Condicionándolas a través de la adición de los diversos tipos de sensores analógicos o digitales.

#### **5. Generación de código**

Realización y depuración del código del sistema de control basado en la descripción funcional de la maquina en alguno de los lenguajes soportados.

#### **6. Ejecución de la simulación**

Ejecutar los módulos de simulación para verificar la función correcta del sistema de control en relación con el modelo digital, evaluar escenarios de funcionamiento normal o subnormal con fines de optimización.

### **3. CASO DE ESTUDIO: PALETIZADOR DE ENVASES METALICOS SEATECH INTERNATIONAL**

Este capítulo trata de la aplicación de las herramientas de diseño y validación digital, en el problema de actualización de una maquina paletizadora de envases metálicos. Se definen las mejoras a introducir al sistema, realizando la descripción y selección de los elementos necesarios para dicho proceso de optimización, se elabora la lógica de control y se valida mediante la herramienta de simulación más apropiada para dicho fin.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Un paletizador es un dispositivo usado para apilar y organizar productos de industria en una estiba. El paletizador puede ser operado a mano, maquinaria simple o con un dispositivo robótico altamente complejo. Un paletizador puede empacar cualquier número y tamaño de objetos para su posterior almacenamiento. Este permite que estas estibas sean generadas de forma rápida y eficiente. El paletizador en el cual se enfoca el estudio se encuentra en condiciones de operación semi - automático y con un sistema de control obsoleto, este paletizador necesita un sistema de control automático integral que permita reducir los tiempos de estibación y eliminar posibles cuellos de botella en la producción, para lo cual se diseña una solución automática, este equipo se encuentra presente en FABLAT División

de fabricación de envases sanitarios - SEATECH INTERNATIONAL INC, y pertenece al sistema de almacenamiento de LINEAS 3 PIEZAS.

### **3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

- sistema de control automático de bajo costo
- disminución del tiempo de realización de estiba completa
- Identificar tipo de sensores necesarios para la totalidad del proceso.
- sistema de identificación de fallas de componentes
- Describir la programación en lenguaje LADDER para el controlador seleccionado.
- Identificar los elementos HMI para el proceso.
- Establecer los componentes involucrados en el sistema basados en la aplicación de la normatividad eléctrica.

### 3.3 MODELO VIRTUAL DEL SISTEMA MECANICO

El modelo virtual aquí desarrollado, ver figura 18, es una recreación digital del la maquina paletizadora de envases, y el cual se realiza para introducir al lector de una forma visual y dinámica al funcionamiento de esta, no se profundiza el proceso de construcción de este modelo, se recrean los mecanismos con las piezas y elementos más significativos que intervienen en el proceso, a su vez se aplica sobre el modelo las restricciones dinámicas y cinemáticas las cuales permiten desempeñar la emulación del comportamiento del paletizador, para observar el funcionamiento a través de este modelo, ejecute la aplicación contenida en el CD de referencia Modelo Paletizador.SDLAM .

Plataforma de desarrollo: SolidWorks Office Premium

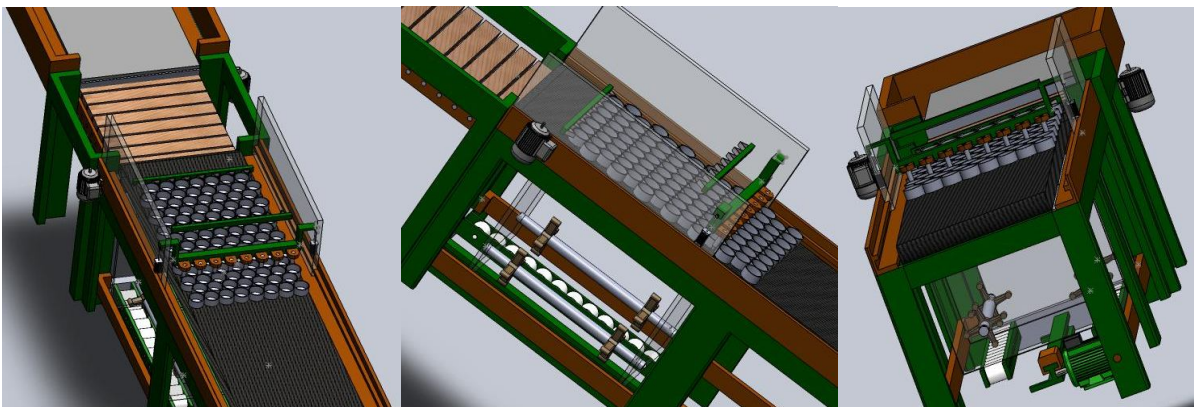


Figura 18. Vista Panorámica de Modelo Virtual Paletizador De Envases.

### 3.3.1 Configuración del Sistema: Definición de la Geometría y Condicionamiento Dinámico

El paletizador a tratar está compuesto por la interacción o trabajo conjunto, de pequeños subsistemas que realizan tareas específicas dentro del proceso general, estos son por orden de entrada en operación:

- **Banda Transportadora Principal**

La banda transportadora principal se encarga de distribuir a través de su superficie el flujo de envases provenientes de las maquinas productoras y dirigirlos a los mecanismos encargados de la estibación.

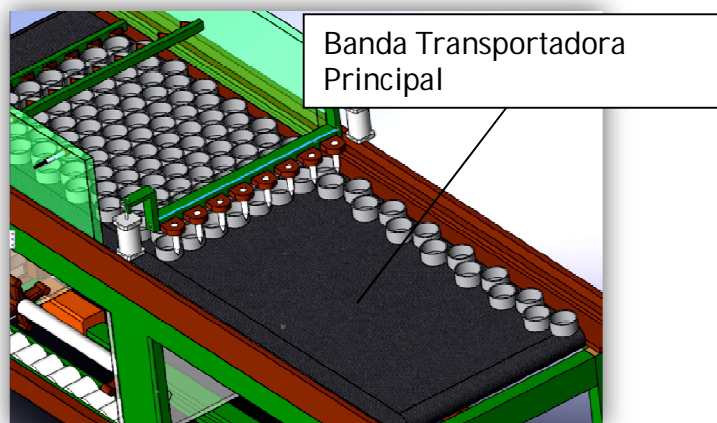


Figura 19 Banda Transportadora Principal

- **Separador de Envases**

El separador de envases está configurado de tal manera que al momento de entrar en operación, separe una matriz de envases equivalente al área de la superficie de la estiba a realizar.

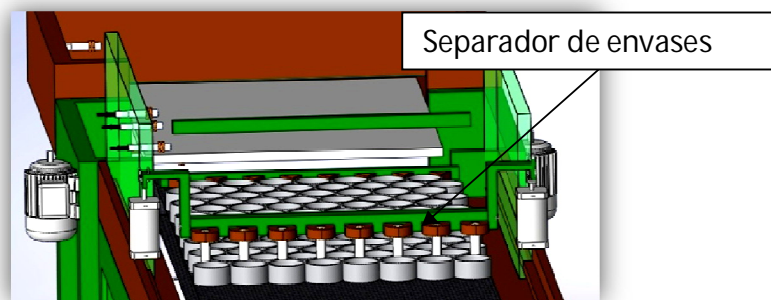


Figura 20 Separador De Envases

- **Lamina**

La lamina o soporte momentáneo de envases, se encarga de distribuir de forma proporcionada un pallet de envases, sobre cada piso en la estiba realizada.

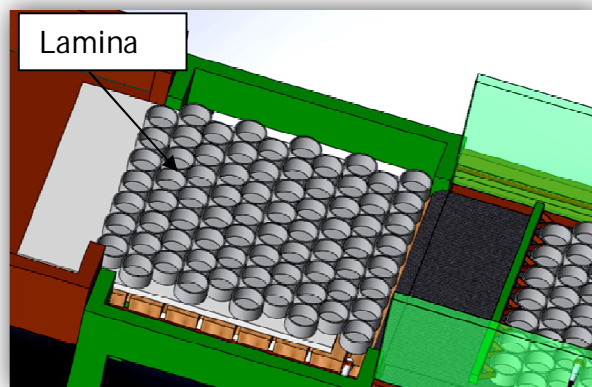


Figura 21. Lámina

- **Elevador de Estibas**

Permite ir creando de manera secuencial, el número de pisos o capas de envases necesarios para cada estiba.

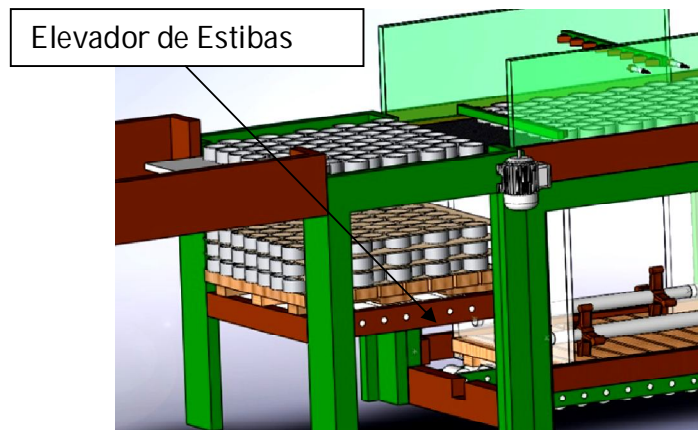


Figura 22 Elevador De Estibas

- **Barredor de Envases**

Su tarea es la de arrastrar la matriz de envases separadas previamente por el separador, a la lamina para la creación de una capa.

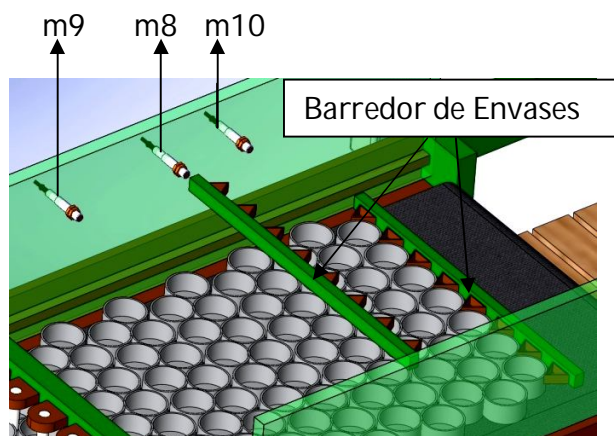


Figura 23 Figura 23 Barredor de Envases

- **Transportador de Estibas**

El transportador de estibas se encarga de colocar al final de cada ciclo de paletizado, estiba completa, una nueva estiba en el elevador.

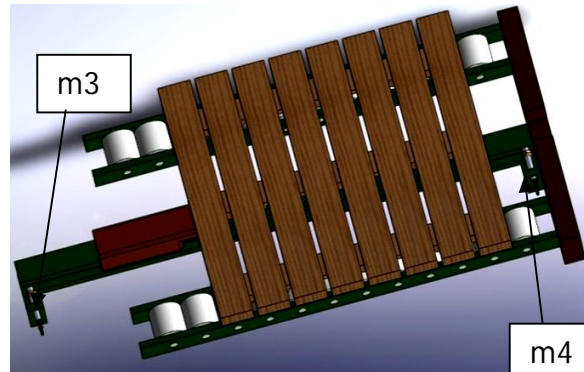


Figura 24 Transportador De Estibas

- **Apilador de Estibas**

El apilador de estibas almacena una cierta cantidad de estibas vacías, las cuales al final de cada ciclo son colocadas una a una sobre el transportador de estibas.

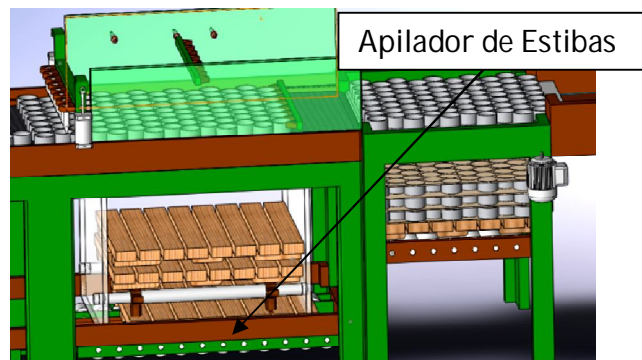


Figura 25 Apilador De Estibas



### 3.4 ELEMENTOS PRESENTES CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

Las tablas 2 y 3 contienen la nomenclatura y descripción dada a los elementos actuadores y sensores, pertenecientes a los diferentes mecanismos del sistema paletizador, respectivamente, la figura 26 muestra el diagrama de funcionamiento de estos elementos relacionados con los mecanismos del modelo virtual.

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>
M5	Motor banda Principal
M2	Motor Transportador de estibas
M3	Motor elevador
M4	Motor barredor de envases
M1	Motor apilador de estibas
M6	Motor accionamiento de lamina
M7	Motor transportador de estibas

**Tabla 2** Descripción Actuadores Presentes En El Sistema

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>
m2	Sensor apilador de estibas
m3	Sensor transportador estibas atrás
m4	Sensor transportador estibas adelante
m5	Sensor elevador posición alta
m6	Sensor elevador posición baja
m8	Sensor barredor en reposo
m9	Sensor orden retroceso lamina y barredor
m10	Sensor orden desbloqueo de envases
m11	Sensor lamina adelante
m12	Sensor lamina atrás
FC	Fotoceldas posición elevador

**Tabla 3** Descripción Sensores Presentes En El Sistema



### 3.5 DESCRIPCIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL

Como ejemplo de exposición se describirá el flujo de operaciones para el modo de operación automático, este y los dos modos de operación restantes, se encuentran implementados y descritos en el CD de referencia que acompaña a este documento, ver archivo:

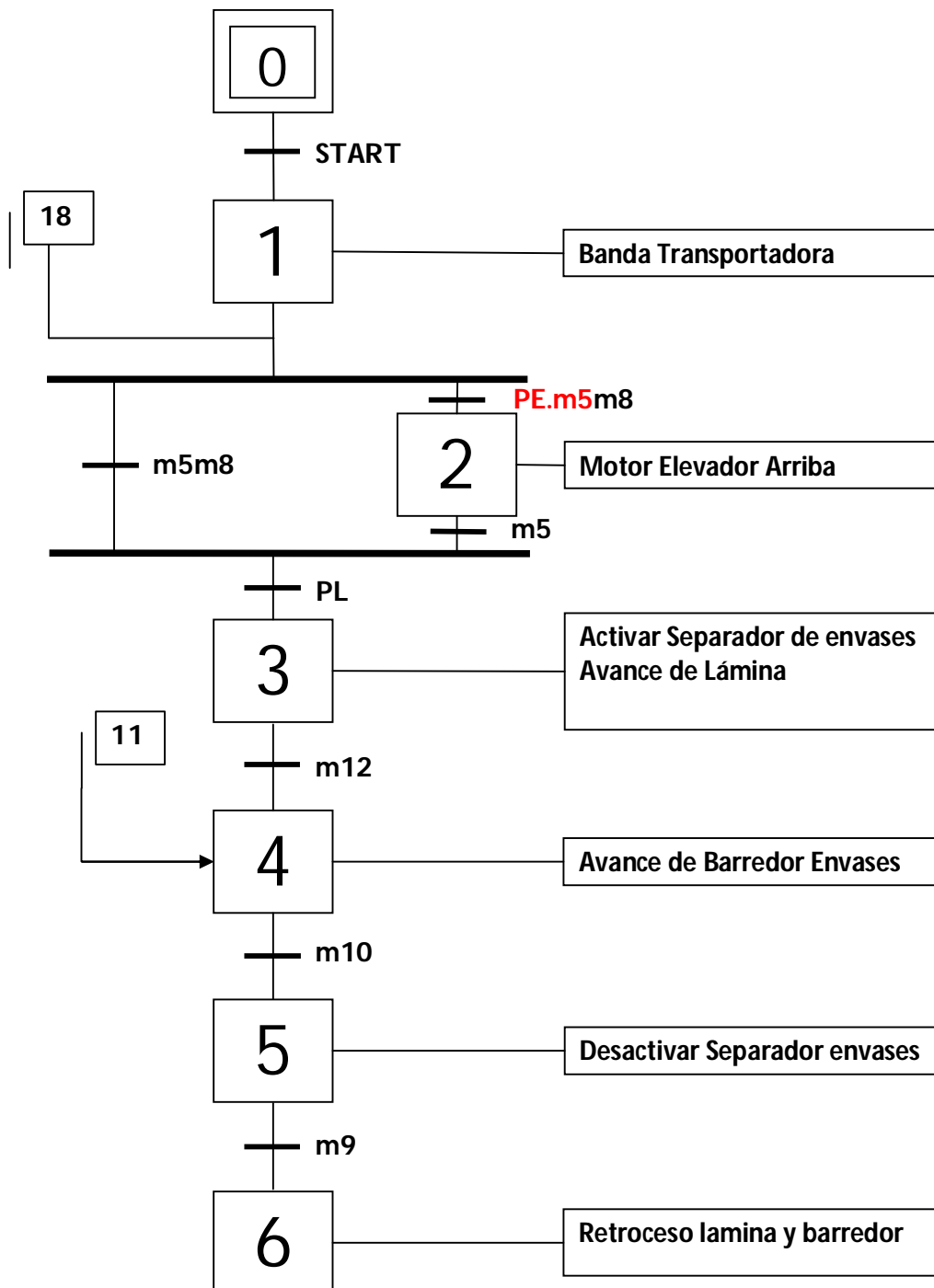
Lógica de Control Paletizador.mwp o Lógica Control Paletizador.pdf para un sistema Siemens S7 - 200.

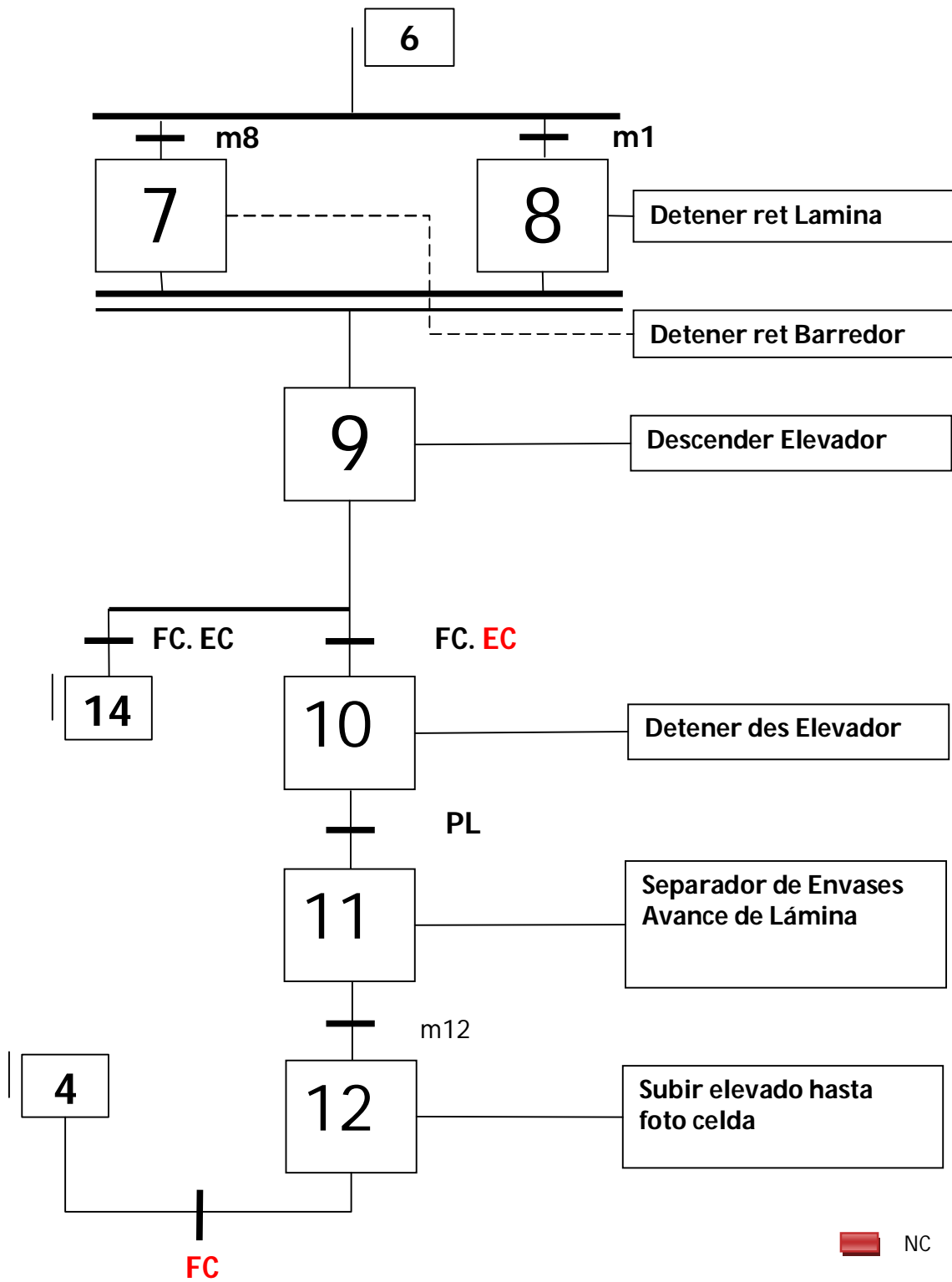
El sistema inicia con una orden de Start, encendiendo la banda transportadora principal y verificando la posición del elevador en altura máxima, m5. Mediante la activación del sensor de pallet completo PL, se activa el separador de envases, y la lamina inicia el avance hasta activar el detector de lamina en posición m12, con la lamina en posición el barredor ejecuta su desplazamiento hacia delante arrastrando los envases sobre la lamina, a su paso el barredor activa tres detectores de manera secuencial, el primero de estos m10, el cual deshabilita el bloqueador de envases, luego mediante la activación del detector m9, se inicia el retroceso de la lamina y del barredor, los cuales al activar los detectores m11 y m8 respectivamente detienen su recorrido, dando paso al descenso del elevador de envases hasta la habilitación de la fotocelda, si el sensor de pallet completo se encuentra activado, se activa el separador de

envases y avance de lamina hasta m12, dando paso a subir el elevador hasta la interrupción de la fotocelda. Reiniciándose el ciclo de paletizado. Al completar el número de pisos de una estiba, estiba completa, el elevador desciende hasta la activación del detector m6, dando paso a la activación del transportador de estibas, colocando una nueva estiba en el elevador, m4, el transportador de estibas retrocede m3, apilador de estibas se activa dejando una en reserva, m2. El elevador asciende a nivel máximo m5, iniciando nuevamente el proceso. La sección 3.5.1 muestra el diagrama secuencial de este sistema.

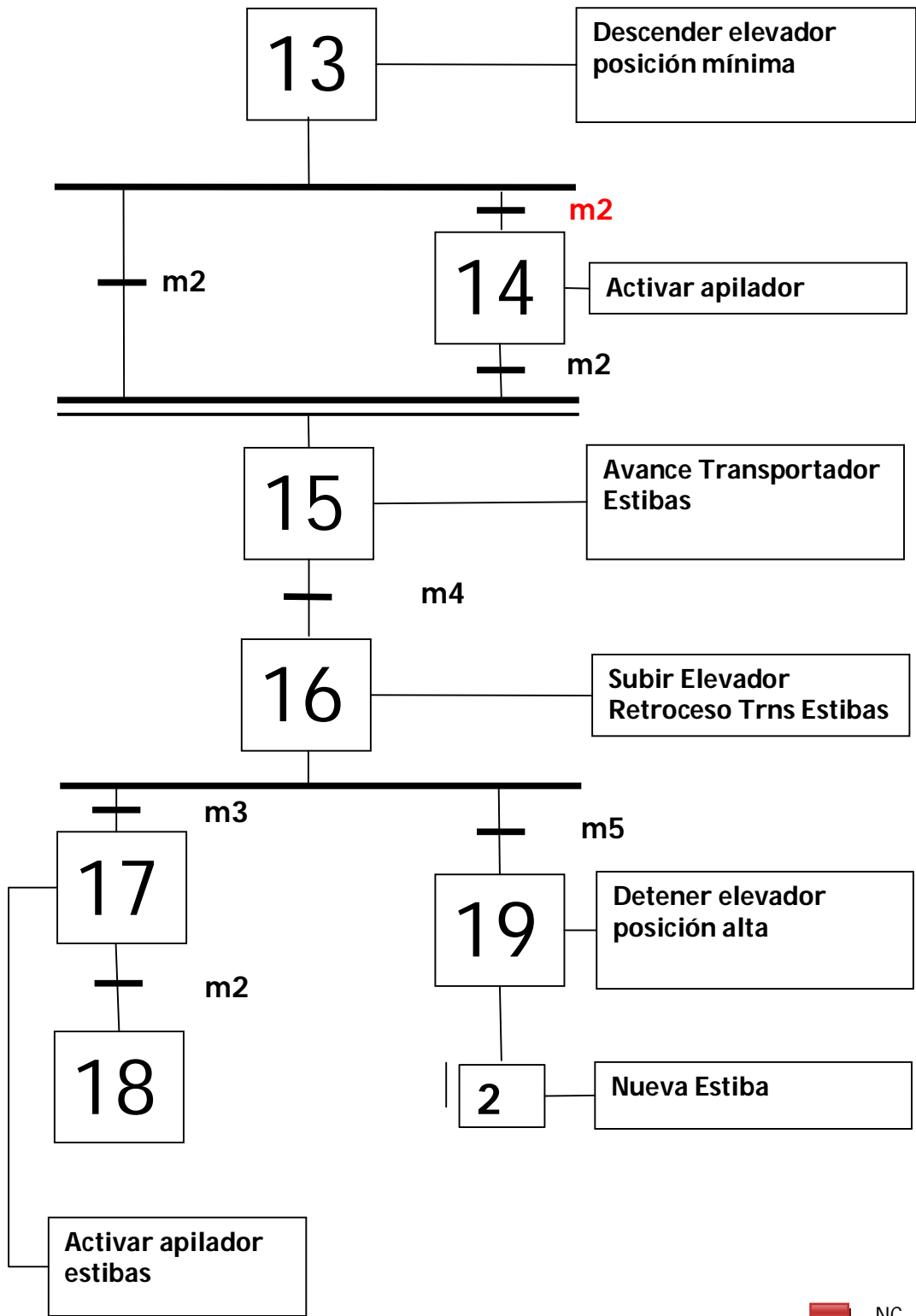
### 3.5.1 Gráfico Secuencial De Funciones

Diagrama de flujo modo operación automático





Los tags utilizados en el GRAFCET corresponden a la descripción expuesta en las tablas 2 y 3



 NC

### **3.5.2 Gestión De Errores En Los Componentes**

La secuencia de operación de la maquina paletizadora de envases en general es “sencilla”, se tiene un sistema secuencial en el cual las transiciones de control se deben a acciones digitales en su totalidad, por lo cual es posible implementar un sistema de detección de fallas o errores de operación en los elementos sensores o actuadores, mediante líneas de programación que vigilen la transición de la lógica de control respecto a las acciones que estos elementos emitan.

Para determinar y localizar los errores eventuales en los elementos sensores, se utiliza la técnica de captadores activos en estados, la cual consiste en un observador de eventos, el cual se compone de una maquina de estados dotada con la secuencia normal de activación de los sensores durante un ciclo determinado, si esta secuencia bajo condiciones de operación normal, no se realiza, entonces ha ocurrido una falla en un elemento, activación o desactivación según sea el caso, para localizarla se analiza la ultima transición normal y la señal de activación posterior .

El mecanismo que expondría la situación más crítica por la falla de uno de sus sensores, es el barredor de envases, en el cual al presentarse fallas en los sensores m8 y m9, se ocasiona el desboque del barredor produciendo malformaciones a los envases o enviando envases al “vacío”. A continuación



se describe la máquina de estados asociada a la vigilancia de este mecanismo y su implementación en Ladder para el controlador seleccionado.

Durante un ciclo del barredor la secuencia de activación de los sensores es : **m8 - m9 - m10 - m8 - m9 - m8**, ver figura 27, esta secuencia presenta todas las activaciones de los sensores durante el ciclo, incluyendo las conmutaciones que no efectúan una orden de acción directa al controlador, color verde , esto como forma de confirmación de la falla del sensor.

### Secuencia de sensores

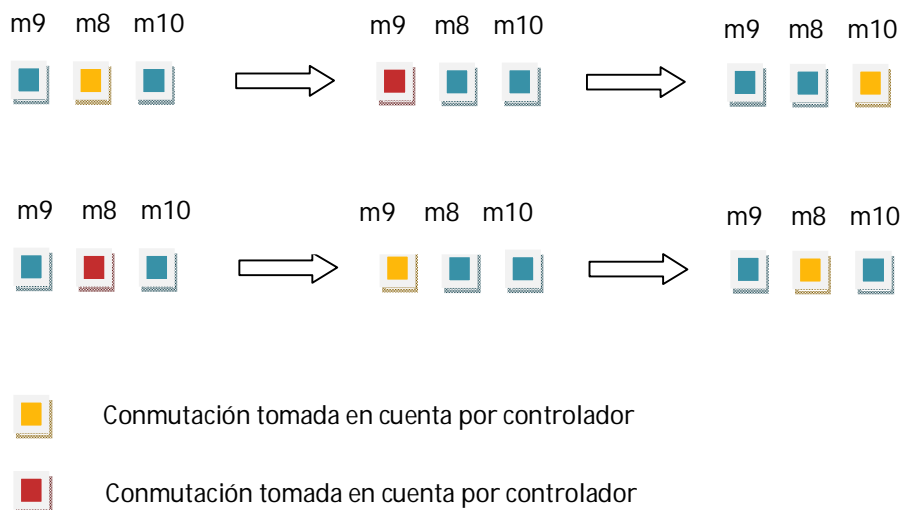


Figura 27 Secuencia Normal De Estados De Sensores En El Ciclo De Operación Del Barredor De Envases

### 3.5.3 Detección de errores en los Actuadores

Los actuadores presentes en el paletizador son motores trifásicos, asociados a reductores de velocidad determinados, por esta razón es posible definir un intervalo de tiempo en el cual la acción en un mecanismo se ejecute normalmente. Si el sistema se encuentra en modo de operación automático y fuera de parada de emergencia, se analizan los tiempos de ejecución de una acción determinada y se compara con los tiempos límites establecidos, existen dos posibilidades de superación del tiempo límite, la primera en donde la acción no se realiza y segundo que la acción se realiza pero no se detecta la terminación de la misma por fallas en los sensores, para este caso se asocia la detección de fallas en los sensores.



**Figura 28 Condiciones Tiempo Máximo De Ejecución De Un Actuador**

Continuando con el barredor de envases, un ciclo de este mecanismo se concluye en un tiempo aproximado de 7 segundos, por lo cual se define un tiempo máximo de 0.6 veces el ciclo de acción, tiempo en el cual se puede constatar el funcionamiento de los sensores asociados.

Estas técnicas de detección se encuentran implementadas para una cpu siemens S7-200, en el archivo adjunto al CD de referencia, Lógica de Control Paletizador. MWP, subrutina: Gestión de Errores.

### 3.6 INSTRUMENTACIÓN DEL PALETIZADOR DE ENVASES: ELEMENTOS DE POSICIÓN.

La tabla 4 muestra las características de operación, de los sensores seleccionados para la totalidad del sistema, en la cual se realiza el cambio de los finales de carrera por sensores inductivos y/o capacitivos, sensor apilador de estibas (madera), los cuales al no entrar en contacto directo con los elementos móviles, no sufren descompensaciones debido a los choques continuos con estos. Se introducen también dos nuevos sensores, encargados del ciclo automático del proceso, PL y SPL, activados por el flujo de envases metálicos a paletizar.

<b>TAG</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Alcance</b>	<b>VdC</b>
m2	Sensor apilador de estibas	capacitivo M12	10 mm	24v
m3	Sensor transportador estibas atrás	Inductivo M12	10 mm	24v
m4	Sensor transportador estibas adelante	Inductivo M12	10 mm	24v
m5	Sensor elevador posición alta	Inductivo M12	10 mm	24v
m6	Sensor elevador posición baja	Inductivo M12	8 mm	24v
m8	Sensor barredor en reposo	Inductivo M12	8 mm	24v
m9	Sensor orden retroceso lamina y barredor	Inductivo M12	8 mm	24v
m10	Sensor orden desbloqueo de envases	Inductivo M12	8 mm	24v
m11	Sensor lamina adelante	Inductivo M12	8 mm	24v
m12	Sensor lamina atrás	Inductivo M12	8 mm	24v
FC	Fotoceldas posición elevador	Barrera	2 mts	24v
PL	Sensor pallet completo	Inductivo M12	8 mm	24v
SPL	Sensor paletizador en sobrecarga	Inductivo M12	8 mm	24v

**Tabla 4** Características Sensores seleccionados para el sistema

### 3.6.1 Localización Del Sensor Del Ciclo Automático

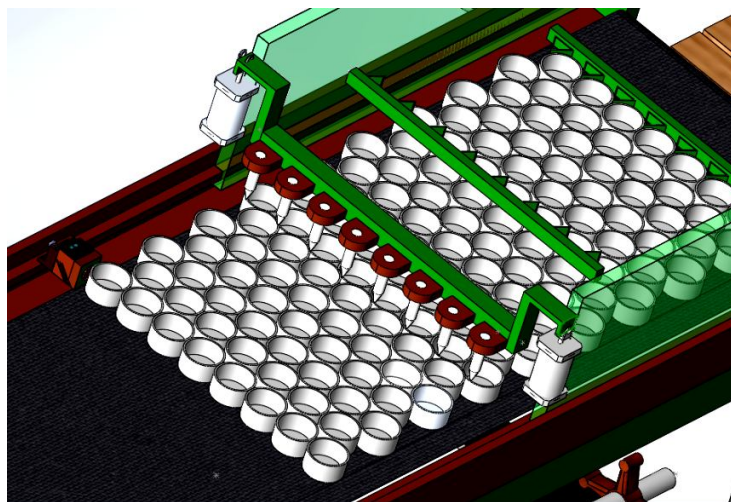
El sensor de activación de ciclo de paletizado en modo de operación automático, se localiza de tal forma que el flujo de envases entrante al barredor de envases, mantenga un área constante, equivalente a un pallet completo y a su vez permita la distribución uniforme de envases a paletizar en cada capa, generando los mínimos tiempos de espera posibles, entre cada ciclo de paletizado.

Mediante una observación detallada y la realización de diferentes pruebas bajo las condiciones de operación:

Flujo promedio de envases al paletizador: 490/ min

Duración ciclo promedio de paletizado: 29 segundos

Numero envases a paletizar por ciclo: 356 envases/ capa



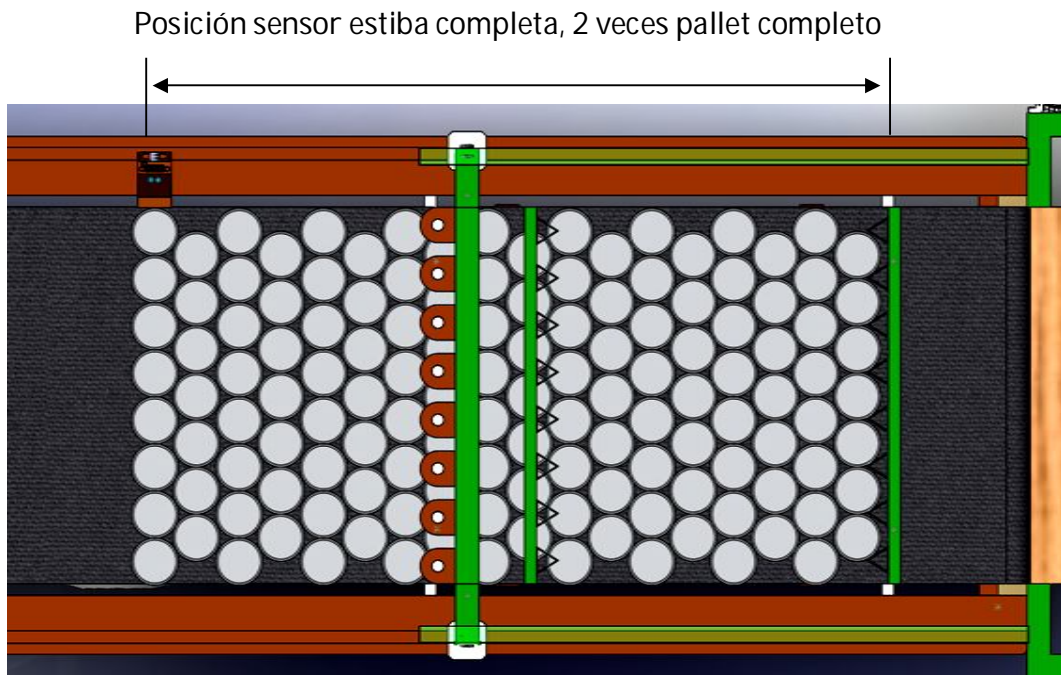


Figura 29 Localización sensor pallet completo, modo automático

Se llega a la conclusión experimental que la distancia mínima, que permite producir ciclos de paletizado constantes, con los mínimos tiempos muertos, se encuentra a 2 veces la distancia ocupada por un pallet completo, desde el barredor de envases.

### **3.7 SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN**

Los simuladores Mecatrónicos expuestos en este capítulo, se encuentran en una etapa inicial de entrada al mercado, por lo que a la fecha el acceso a estos, se encuentra muy limitado, por tal razones la validación del sistema de control, programa de configuración PLCs, se realiza mediante el simulador de autómatas S7-200 de canal PLC, y cuyo resultado se encuentra anexo en el Cd de referencia bajo el archivo de Simulación Control Paletizador. awl y el documento Resultados de Simulación Control Paletizador. doc

## CONCLUSIONES

Este trabajo dividido en tres capítulos, dos capítulos iniciales de conceptualización y un tercer capítulo correspondiente a un proceso de aplicación, presenta un estudio a dos diversos enfoques de desarrollo existentes para sistemas automatizados, tal y como se exponen en los capítulos uno y dos, en los cuales se analiza como son ejecutadas y evaluadas cada una de las etapas de un proceso de desarrollo, dentro del flujo de trabajo característico de estos enfoques. Mediante la información consignada en estos dos capítulos es posible concluir que existen, dentro del modelo de desarrollo convencional de automatismos, aspectos que no se adaptan a las exigencias actuales de un mercado de producción demandante ,en el cual además exigir la validación y efectividad de un producto tecnológico desarrollado, requiere como aspectos fundamentales que este se realice en el tiempo mínimo posible y reducir el coste económico asociado a su consecución, elementos que contrastan con el manejo subsecuente del modelo convencional expuesto en el capítulo uno, y los cuales son sorteados por las nuevas herramientas tecnológicas en un campo de desarrollo digital, en el cual la simulación es la base del proceso de concepción y validación, combinando los conceptos propios de la mecatrónica y la gestión del ciclo de vida del producto, PLM, generando una

nueva perspectiva en la cual es posible tener pleno control, sobre un proceso de automatización de maquinaria, durante todas sus etapas.

El hecho de poder establecer un modelo virtual sobre el cual sea posible realizar un estudio multidisciplinar, de forma paralela, da como resultado que los tiempos de desarrollo se vean reducidos, a la vez que los costos dominantes en una metodología tradicional por cambios de diseño realizados sobre prototipos físicos, se vean mayormente eliminados, por la flexibilidad existente en la reconfiguración de los prototipos virtuales y la capacidad de su reutilización inmediata para fines de optimización.

Desde el punto de vista de la Electrónica y la Automatización, ciencias que acompañan a la metodología virtual, podemos concluir que las mayores características y avances en el proceso de desarrollo virtual en estas áreas se centran en la posibilidad de realizar una validación visual del comportamiento total de un sistema de control diseñado, ejecutando dentro de un mismo entorno los distintos niveles de automatización, emulando de manera certera la instrumentación y las diversas tecnologías adjuntas a esta, la programación, depuración y simulación de códigos de control para PLCs, comunicaciones como OPC, DeviceNet entre otros, sin dejar a un lado el comportamiento funcional de la maquina, permitiendo emular los distintos niveles de coordinación de maquinaria, desde maquinas individuales hasta grandes líneas de producción.



Si bien es claro que la simulación de sistemas automatizados surge como una herramienta poderosa, la cual ayuda significativamente a los productores de equipos de manufactura, a optimizar y validar el diseño de control de estos sistemas, mejorando y reduciendo el tiempo de este proceso, existen grandes limitaciones iniciales al optar por un modelo de trabajo virtual, y estas son los altos costos en inversión inicial en software y en hardware de gran capacidad de procesamiento el cual de a estas aplicaciones. También es necesario contar con personal capacitado en el manejo de herramientas computacionales avanzadas.

Estas razones implican a nuestro parecer que si bien los procesos de desarrollo virtual se acomodan en gran medida a las necesidades del mercado actual, es probable que no se dé un salto inmediato en la implementación de estas tecnologías, esto se encuentra sustentado en el hecho que muchos procesos industriales automáticos han venido evolucionando durante los últimos años, y en la mayoría de veces más rápido que lo que han podido realizar muchas plantas industriales, igualmente debido a la necesidad de realizar grandes inversiones para la implementar fabricas de de última generación, las cuales exigen un tiempo de amortización en el cual las técnicas y tecnologías quedan desfasadas, casos para los cuales se recurren a actualizaciones y adaptaciones periódicas que los acerquen a conseguir un sistema de producción más moderno y eficaz, sin recurrir a gastos excesivos de recursos adicionales.

El tercer capítulo de este trabajo, presentò un caso de actualización de un sistema de control de una maquina paletizadora de envases, para la cual se realizó un estudio del caso detallado, arrojando como resultado la necesidad de realizar el cambio del sistema de control, controlado por relés electromagnéticos por un sistema de control por PLCs, a su vez se determinó el cambio de los elementos de posición, finales de carrera, por sensores inductivos y capacitivos, debido a los desajustes sufridos por estos al someterse a los choques constantes de los elementos móviles a los cuales están asignados.

Las mejoras introducidas al sistema actual mediante el proceso de actualización realizado se enuncian a continuación:

- Implementación del sistema de control mediante un controlador lógico programable
- Adición de modo de ejecución automatico, semi- automatico y manual en parada de emergencia.
- Adición de Interfaz HMI mediante panel táctil.
- Rutina de Identificación de errores en componentes
- Rearme automático del sistema ante un corte de energía.

Para fines de validación de este proceso se realizó la simulación, del programa de control mediante la aplicación S7-200 de canalPLC, determinando concordancia en las operaciones realizadas, con las acciones correspondientes al funcionamiento normal de la maquina. Se realizó un

modelo tridimensional del sistema con fines de analizar el comportamiento dinámico del proceso a actualizar.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Automatismos Industriales, Escuela Superior De Ingeniería Informática. Disponible en internet: URL: <[http://www.polab.uclm.es/Departamentos/ielectrica/Estudios/ITIE/Albacete/A signaturas/RA\\_archivos/Apuntes/Tema13/TEMA13.PDF](http://www.polab.uclm.es/Departamentos/ielectrica/Estudios/ITIE/Albacete/A signaturas/RA_archivos/Apuntes/Tema13/TEMA13.PDF)>
- [2] BISHOP, Robert H. Mechatronics An Introduction, CRC Press, 2006.
- [3] CHIANG SÁNCHEZ, Luciano. Diseño Conceptual De Productos Mecatrónicos. P. Universidad Católica de Chile, 2003. Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica
- [4] eM-PLC and STEP 7 Professional – eMPower for manufacturing process management. Disponible en internet < URL: [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/fs\\_tecnomatix\\_plc\\_step\\_tcm53-4944.pdf](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/fs_tecnomatix_plc_step_tcm53-4944.pdf)>
- [5] EM-PLC Basic Customer Training, <http://www.ugs.com/products/tecomatix/>
- [6] Delmia V5 Automation Fact Sheet R15, <http://www.delmia.com/>
- [7] DERBY, Stephen J. Design of Automatic Machinery, New York: Marcel Dekker, 2005.
- [8] DÍAZ LANTADA, Andrés. Complete Machine Development as Multidisciplinary Master Degree Thesis, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain
- [9] GAMP4 Guidelines Concerning the Use of Proces Simulation Software disponible en internet: URL: <[www.mynah.com/pdf/GAMP4.pdf](http://www.mynah.com/pdf/GAMP4.pdf)>

[10] JACK, Hugh. Integration and Automation of Manufacturing Systems . Disponible en internet URL:<<http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books/integrated/pdf/integratedbook.pdf>>

[11] JIMÉNEZ MACÍAS, Emilio. Técnicas De Automatización Avanzadas En Procesos Industriales, Logroño, 2004. P 281. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja. Departamento de Matemáticas y Computación y de Ingeniería Eléctrica.

[12] PARK, Chang Mok, Development of Virtual Simulator for Visual Validation of PLC Program. Department of Industrial and Information Systems Engineering Ajou University, Suwon 442-749, South Korea

[13] RENO, Filla. Using Dynamic Simulation In The Development Of Construction Machinery. Volvo Wheel Loaders Ab, Eskilstuna, Sweden. Dept. Of Mechanical Engineering, Linköpings Universitet, Sweden.

[14] Rolf Isremann, Modeling and Design Methodology for Mechatronics, IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 1(1), 1996.

[15] SHAFIQ, Muhammad Mechatronics Design Approach, Lecture 2. Disponible en internet URL: <<http://www.ccse.kfupm.edu.sa/~mshafiq/se439022/Lecture2.pdf>>

[16] W. de SILVA, Clarence. Mechatronic Systems Devices, Design, Control, Operation And Monitoring, CRC Press, 2008.

[17] WEDDLE, Gregory Brian, Validation Requirements for Building Automation Systems. Global Manager Critical Environments, Johnson Controls, Inc.

<URL:[http://www.johnsoncontrols.com/publish/etc/medialib/jci/be/commercial/capabilities/my\\_building\\_\\_vertical/life\\_sciences/articles\\_and\\_white.Par.47639.File.tmp/BAS%20Validation%20White%20Paper.pdf](http://www.johnsoncontrols.com/publish/etc/medialib/jci/be/commercial/capabilities/my_building__vertical/life_sciences/articles_and_white.Par.47639.File.tmp/BAS%20Validation%20White%20Paper.pdf)>

[18] Guía Básica sobre la Importancia de la Automatización en los Procesos Industriales, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial, Ciudad de México, Junio 2007

[19] REULEAUX, Franz. Kinematics of Machinery, 1875.

[20] Using Dynamic Simulation to Improve Product Design. Disponible en internet:

URL <[http://images.autodesk.com/adsk/files/Dynamic\\_Simulation\\_whitepaper.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/Dynamic_Simulation_whitepaper.pdf) >

[21] VARGAS, José Emilio. Metodología En Proyectos Mecatrónicos Industriales, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial Pie de la Cuesta, México, 2005.

[22] <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/software-e-learning/cosimir/>

[23] [http://www.cubictek.com/common/board/download.asp?path=/files/board3&file=V-MECA\(3\).pdf](http://www.cubictek.com/common/board/download.asp?path=/files/board3&file=V-MECA(3).pdf)

[24] [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/tecnomatix/](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/)

