

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Proyectos de Automatización Industrial S.A.**

**PRAI S.A**

**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA DE TARIMAS”**

**Informe de Proyecto de Graduación  
Para optar por el Grado de Bachiller en Ingeniería Electrónica**

**Víctor Hugo Cedeño Bonilla**

CARTAGO  
Agosto del 2001

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.</b> .....	<b>4</b>
A) DESCRIPCIÓN GENERAL .....	4
B) DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA. ....	5
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA.</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 OBJETIVOS.</b> .....	<b>7</b>
OBJETIVO GENERAL. ....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	8
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 ESTUDIO DEL PROBLEMA A RESOLVER</b> .....	<b>9</b>
CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD .....	14
INTERFAZ DE OPERADOR.....	14
<b>2.2 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA.</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO.</b> .....	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE</b> .....	<b>25</b>
ALGORITMO DE CONTROL. ....	26
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>29</b>
<b>6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> .....	<b>29</b>
6.1.1 GRAFCET 2: TRANSPORTADOR 2 .....	34
6.1.2 ESTRUCTURA COMPLETA DEL PROGRAMA.....	36
<b>6.2 ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>38</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>38</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
-----------------------------	-----------

<b><u>BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>	<b><u>40</u></b>
----------------------------------	------------------

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Esquema de la Instalación de Transporte de Tarimas .....	10
Figura2: Modo de funcionamiento automático .....	13
Figura 3: Distribución espacial de los módulos. ....	22
Figura 4: Distribución de los Grafcet por Módulo. ....	27
Figura 5 Distribución de los tableros de mando. ....	32
Figura 6 Grafcet Transportador 2 .....	34

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

---

### **1.1 Descripción de la empresa.**

#### **A) Descripción General**

Proyectos de Automatización Industrial ( PRAI S.A.) se fundó en el año 1996 en San José, Costa Rica, para atender la creciente demanda por servicios profesionales en el área del control industrial y la automatización de sistemas. Aprovechando la experiencia técnica de más de 40 años en equipos e instalaciones eléctricas, y de 20 años en control automático, la compañía italiana Giordano & C, S.P.A. con sede en Cuneo, Italia, decidió ofrecer en Costa Rica sus servicios a través de PRAI S.A.

El objetivo de Giordano & C, S.P.A al iniciar operaciones en nuestro país fue atender las necesidades de Sur Química de Costa Rica, empresa en la que participan los mismos accionistas mayoritarios de Giordano, y al mismo tiempo ofrecer sus servicios a otros sectores de la industria nacional.

Es así como en 1996 PRAI S.A. inicia operaciones atendiendo a su principal cliente: Sur Química de Costa Rica (Pinturas Sur), para quien ha automatizado los sistemas de producción de químicos.

Su personal está formado por ingenieros eléctricos y electrónicos con experiencia en diseño, construcción, instalación y mantenimiento de equipo eléctrico industrial. La experiencia combinada PRAI – Giordano le permite ofrecer servicios en áreas tan variadas como las siguientes:

- Estaciones de bombeo para agua potable.
- Interruptores de transferencia automática.
- Subestaciones unitarias de media tensión.
- Hornos industriales.
- Maquinaria de proceso.
- Maquinaria para la industria textil.
- Almacenaje automatizado con sistemas de visión láser.
- Maquinaria para la industria del vidrio.
- Controles de iluminación de edificios

## **B) Departamento de Ingeniería.**

El departamento de Ingeniería es el encargado directo del desarrollo de proyectos.

En el se desarrollan las siguientes actividades:

- Diseño, fabricación, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de sistemas de control automático.
- Diseño, fabricación, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de sistemas de toma de datos, visualización de procesos, monitoreo de alarmas y generación de reportes.
- Diseño, instalación y mantenimiento de redes de datos a nivel industrial, control y monitoreo remoto.
- Asesoría y capacitación a clientes.
- Programación de controladores lógicos programables ( por sus siglas en inglés, PLC) y desarrollo de aplicaciones en programas de control y adquisición de datos (Supervisory Control And Data Acquisition, conocidos por sus siglas en inglés SCADA).

El departamento cuenta con el hardware y el software necesarios para el diseño de sistemas automáticos basados principalmente en equipos: Allen Bradley, Modicon, GE-Fanuc, Siemens, Telemecanique.

La sección de Ingeniería cuenta además con las herramientas necesarias para la puesta en marcha de los sistemas instalados: equipos de medición, computadoras portátiles, herramientas de cableado.

El ensamble de los tableros de control y las instalaciones eléctricas, son realizadas por el equipo de electricistas.

## **1.2 Definición del problema y su importancia.**

Como resultado directo de un acelerado crecimiento, la empresa Sur Química de Costa Rica ha iniciado una ampliación de su capacidad productiva, con la construcción de una nueva planta ubicada junto a las actuales instalaciones.

La nueva distribución de procesos, hará necesario el traslado de tarimas de aproximadamente un metro cuadrado, entre las plantas.

Sin embargo, se han previsto una serie de problemas por la ausencia de una vía de transporte directa entre las actuales y las futuras instalaciones, que haría necesario el uso de montacargas o medios de transporte convencionales, solución que resulta poco práctica por las siguientes razones:

- El flujo de carga entre las instalaciones es constante y además bidireccional, pero no simultáneo.
- El uso de vehículos de carga implica un elevado consumo de combustible.
- Las tareas de transporte requieren de una cantidad elevada de operadores, y horas laborales.
- El transporte de tarimas a través de las vías internas de la planta obstruye el tránsito de vehículos.

- El transporte convencional es poco eficiente.

Para solucionar el problema la compañía Italiana Giordano & C, S.P.A ha propuesto la realización de una Instalación de transporte subterránea que comunique las plantas entre sí. El transporte bidireccional no es simultáneo. Primero se transporta un lote en una dirección y luego el siguiente en la dirección opuesta.

La instalación de transporte está constituida por módulos mecánicos con funciones específicas, que operan en forma individual o simultánea según la cantidad de tarimas. Con la construcción del sistema subterráneo de transporte automático se pretende establecer una vía de transporte rápida, económica y eficiente entre los planteles de producción.

### **1.3 Objetivos.**

#### **Objetivo General.**

Desarrollo de los circuitos de control, de los planos eléctricos y del software de control para la automatización de la Instalación de Transporte de Tarimas en la planta de Sur Química de Costa Rica.

### **Objetivos Específicos.**

- Estudio del problema.
- Definición de la cantidad y función de cada una de las entradas y salidas del sistema.
- Selección específica del tipo de sensores, electroválvulas y dispositivos periféricos para el monitoreo y control de la instalación.
- Selección de los dispositivos periféricos del PLC (módulos de entradas analógicas, módulos de entradas digitales )
- Diseño y elaboración de los planos eléctricos del circuito de control.
- Diseño del algoritmo de solución, con base en la metodología grafcet.
- Estudio de las características, el set de instrucciones y especificaciones del PLC seleccionado.
- Estudio del Panel de Operador OP7.
- Desarrollo del software de control, utilizando los lenguajes para PLC KOP y AWL.
- Simulación y depuración del Software de control.

## CAPÍTULO 2

### ANTECEDENTES

---

#### 2.1 Estudio del problema a resolver

La instalación de transporte está constituida por módulos mecánicos con funciones específicas, que operan en forma individual o simultánea según la cantidad de tarimas. Los módulos son accionados por sistemas eléctricos, oleohidráulicos y neumáticos.

El sistema mecánico de comunicación ha sido diseñado por la compañía italiana Metalgros. Lo integran los siguientes módulos mecánicos:

Módulo	Cantidad
Transportador de carga y descarga	1
Módulos de Transporte	6
Ascensor de carga	1
Transportador Rotativo	1
Transportador de carga y descarga con ascenso y descenso	1

**Tabla 1. Módulos mecánicos.**

Con la excepción del transportador de carga y descarga de dos niveles, que es accionado por dos motores trifásicos, los módulos restantes son accionados por un sólo motor trifásico.

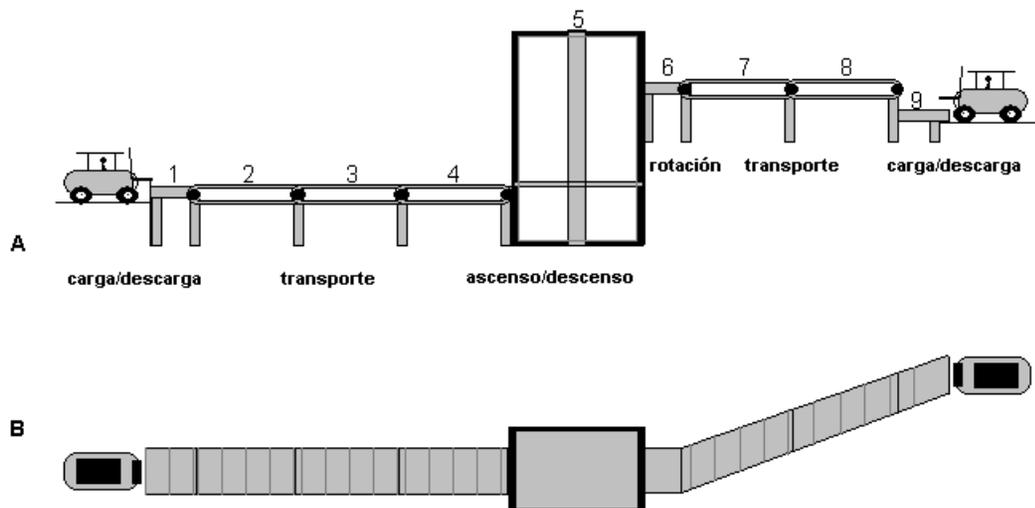
El transportador de carga y descarga permite el acceso del montacargas para cargar o descargar las tarimas en la banda de transporte. Tiene una longitud aproximada de 1.5 metros. Por medio de un sistema de transmisión en cadena, los transportadores desplazan las tarimas a través del túnel. Cada uno tiene una longitud

aproximada de 5 metros. Consecuencia de la diferencia de nivel entre las plantas se utiliza un transportador de ascenso / descenso.

El transportador rotativo realiza un desplazamiento angular de uno de los extremos del sistema de transporte, es controlado por medio de un sistema neumático.

A diferencia del transportador de carga y descarga simple, el transportador de carga/descarga con ascenso/descenso también puede desplazar la carga en sentido vertical.

De forma esquemática la disposición de los módulos se muestra en la Figura1.



- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Transportador Carga-Descarga | 6. Transportador rotativo       |
| 2. Módulo de transporte         | 7. Módulo de transporte         |
| 3. Módulo de transporte         | 8. Módulo de transporte         |
| 4. Módulo de transporte         | 9. Transportador Carga-Descarga |
| 5. Ascensor                     | Ascenso – Descenso              |

**Figura 1 Esquema de la Instalación de Transporte de Tarimas**

**A) vista lateral B) vista superior**

La Figura 1 muestra, de izquierda a derecha, como la instalación comienza con un transportador de carga, seguido de tres transportadores consecutivos, que desplazan la tarima aproximadamente 15m, hasta llegar al ascensor, posterior a este existe un transportador rotativo, y nuevamente dos módulos transportadores desplazan la tarima una distancia de 10m, para finalizar con un transportador de carga y descarga con ascenso y descenso. El detalle de las dimensiones puede observarse en el plano de la instalación.

Para el monitoreo del flujo, cantidad, velocidad del transporte, deben definirse el tipo, y especificaciones de los sensores a utilizar. En cada módulo deben ubicarse sensores ópticos que permitan el monitoreo de presencia y avance de las tarimas a lo largo de la instalación del transporte. En el módulo de ascenso y descenso serán necesarios sensores de proximidad. El sistema debe detectar y diagnosticar anomalías en su funcionamiento, falla en el movimiento de pistones, falla en el desplazamiento de las tarimas. Se requieren entradas de confirmación para los contactores de sentido de dirección , adelante y atrás de los 10 motores AC trifásicos. El tablero de control se prevé con botonería para los casos de paro de emergencia, circuitos auxiliares, selector de mando para avance y paro e indicadores luminosos. Serán necesarias una cantidad elevada de entradas al PLC y un número considerable de salidas, estos factores son críticos en la elección del tipo y características de los módulos de periferia del PLC.

### **Funcionamiento automático.**

Por medio de indicadores luminosos en las zonas de carga y descarga, el operador controlará el estado del sistema de transporte. Si está libre, una luz verde le indica que se puede proceder a la carga. Inmediatamente iniciado el proceso en cualesquiera de los extremos del túnel, el indicador verde se mantiene intermitente para indicar que la banda se está cargando. En el extremo contrario la operación de carga es inhabilitada. . De manera que el transporte de tarimas queda habilitado sólo en un sentido. La

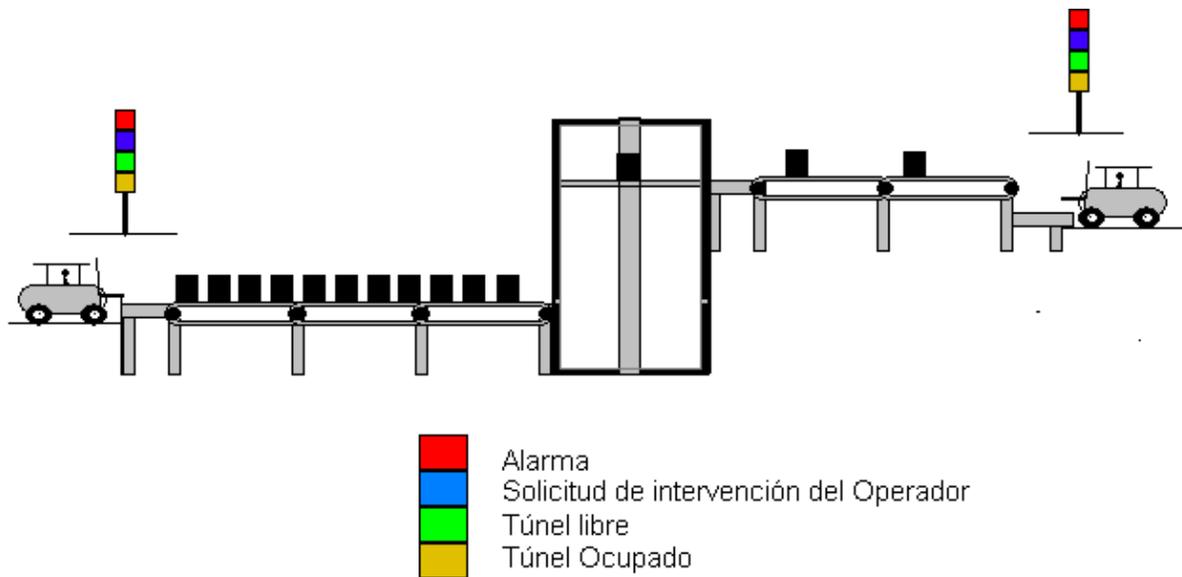
rehabilitación de la función de carga y del sentido de transporte contrario serán posibles solamente después de que el túnel quede nuevamente libre.

El desplazamiento de las tarimas se realiza por lotes, transportando un grupo de tarimas de la planta A hacia la planta B, y posteriormente otro grupo en sentido contrario.

Dentro de la instalación transportadora una tarima es desplazada al otro extremo lo más rápido posible. Cuando se envía un lote, la primera tarima viaja directamente hasta el extremo contrario del túnel, si el operador coloca otra tarima inmediatamente después de la primera, esta se detendrá antes del ascensor, en espera de su descenso. Si el operador continúa cargando tarimas, el sistema debe ser capaz de desplazarlas, ubicarlas y agruparlas en una forma segura y eficiente, en espera del elevador, este sólo puede transportar una tarima a la vez. Si el espacio se satura el sistema de carga debe bloquearse hasta la habilitación del espacio suficiente para una nueva tarima.

En el extremo opuesto del túnel, cuando la tarima arriba al transportador de carga/descarga una luz azul le indica al operador que puede proceder a su descarga.

Nuevamente, si una tarima no se retira de la zona de carga/descarga el sistema debe agrupar y ubicar en forma segura las tarimas que ingresen y bloquear el sistema en el caso extremo de no existir más espacio para la espera por descarga.



**Figura2 Modo de funcionamiento automático**

La figura 2 muestra la forma de operación, el operador realiza tantas cargas consecutivas como sea posible, mientras el sistema se encarga del desplazamiento, además se muestra la señalización luminosa dispuesta en las zonas de carga y descarga.

Será dispuesto además un botón de paro de emergencia, que detiene el movimiento de la banda de transporte en el caso de una anomalía grave de funcionamiento, detenido el sistema el operador tendrá la opción de desplazarlo manualmente, en la dirección y longitud necesarias para solucionar el inconveniente.

### **Funcionamiento manual.**

En el modo manual las acciones del sistema de transporte son gestionadas por el PLC, según las órdenes que el operador ingrese por medio de alguno de los paneles de operador OP7 de Siemens, colocados en las zonas de carga y descarga.

Para el accionamiento manual del ascensor se prevé un pequeño tablero de comando dispuesto en una zona visible cerca del elevador.

## **Consideraciones de seguridad**

El sistema debe contar con todos los dispositivos necesarios para garantizar la seguridad del material transportado y de los operadores de la instalación.

## **Interfaz de Operador**

En los dos puntos de carga y descarga serán colocados paneles de operador OP7 de Siemens.

Los OP7 cumplirán las siguientes funciones:

- Despliegue del modo de operación actual
- Visualización del estado de la instalación
- Modificación de parámetros y tiempos
- Comando manual del sistema
- Funciones de gestión y diagnóstico
- Visualización de alarmas en curso
- Cancelación de alarmas en curso

## **2.2 Requerimientos de la empresa.**

La ejecución global del proyecto abarca varias etapas. De un modo muy general estas etapas son la siguientes:

- Instalación y prueba del sistema mecánico.
- Desarrollo y simulación del Software de control
- Diseño de los circuitos de control.
- Armado del tablero de control.

- Instalación del tablero de control.
- Conexión de sensores, electroválvulas, motores.
- Realización de la instalación neumática
- Puesta en marcha.

De estas etapas le corresponde a PRAI el desarrollo del proceso de automatización de la instalación de transporte de tarimas. Proceso que incluye el diseño de los circuitos y del software de control del sistema.

PRAI S.A. requiere el desarrollo completo de dichas tareas a más tardar a finales de Agosto. Tanto los planos de la instalación de control como el software del sistema deben ser enviados a Italia para las pruebas respectivas en las instalaciones de Metalgros. Una vez aprobado el funcionamiento de la instalación y realizadas las modificaciones necesarias de hardware y software según las observaciones de los técnicos italianos, el sistema de transporte de tarimas será enviado a Costa Rica para su instalación en la Planta de Sur Química de Costa Rica.

# CAPÍTULO 3

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

---

### 3.1 Procedimiento metodológico

#### 1. Estudio del problema.

Análisis y estudio del problema en base a todos los documentos necesarios para la definición de las tareas por realizar. Conversaciones con los futuros usuarios de la instalación de transporte sobre sus alcances y funciones.

Duración: una semana.

#### 2. Definición de entradas y salidas del sistema: tipo (analógico, digital), cantidad y función de las entradas y salidas del sistema.

En base en las mismas fuentes del punto anterior serán definidas las entradas y salidas necesarias para el control del sistema.

Se debe definir la cantidad de sensores necesaria para la detección y ubicación de las tarimas.

Duración: ½ semana.

#### 3. Selección específica de los sensores, electroválvulas y dispositivos periféricos a utilizar para el control de la instalación.

A partir de la información técnica disponible en la empresa se definirán el tipo y las características de los elementos periféricos necesarios.

Materiales: manuales de referencia técnica.

Duración: ½ semana.

#### 4. Selección de los dispositivos periféricos del CPU 315 DP, módulos de entradas analógicas, módulos de entradas digitales.

Materiales: manuales de referencia técnica.

Duración: ½ semana

## 5. Diseño eléctrico

Definición de los rangos de tensión, de corrientes, y demás características generales de los componentes de los circuitos de control, motores, líneas de alimentación, guardamotores, interruptores de seguridad magnéticos.

Materiales: Documentación Técnica.

Equipo: PC

Software: ORCAD Express.

Duración: 2 semanas

## 6. Diseño del algoritmo de solución, con base en la metodología grafcet.

El grafcet es un procedimiento para la solución de problemas secuenciales con el uso de Controladores Lógico Programables. Consiste de varias etapas:

- Diseño del diagrama grafcet , este diagrama es similar a los diagramas de estados, especifica el número de estado, las acciones que en él se ejecutan y las condiciones de transición de estado.
- Estructuración del programa del PLC: el programa del PLC se estructura en función del diagrama grafcet, en cuatro etapas, inicialización, transiciones de estado, bloque de acciones, y copia de estado.

Es muy común el uso del grafcet para todos aquellos problemas de automatización de lógica secuencial.

Duración: 2 semanas.

## 7. Estudio de las características, el set de instrucciones y especificaciones del PLC SIMENS S7 315.

Materiales: En esta etapa serán necesarios el PLC, sus módulos de operación, fuentes de alimentación, conectores PC – PLC, el software necesario para el desarrollo y simulación del programa, manuales de referencia técnica.

Equipo: PC

Duración: 2 semanas.

#### 8. Estudio del Panel de Operador OP7.

La interfaz de usuario se realizará por medio de paneles de operador Siemens OP7 colocados en las áreas de carga y descarga del sistema.

El control de la operación manual del sistema depende de la comunicación directa entre los OP7 y el PLC.

Para el desarrollo de esta etapa se requiere de al menos un OP7, del conector PLC – OP7, y del software necesario para la creación de las pantallas de operación.

Materiales: manuales de referencia técnica.

Equipo: PC

Duración: 1 semana.

#### 9. Desarrollo del software de control, utilizando los lenguajes para PLC Kop y AWL.

El programa se desarrolla de forma modular. Posterior a la prueba de los módulos se inicia la evaluación global del sistema.

En esta, al igual que en las etapas anteriores se requiere del software y el hardware necesarios para la prueba y desarrollo del programa.

Duración 4 semanas.

#### 10. Simulación y depuración del Software de control.

Con el uso del software de programación es posible evaluar la operación del sistema. Las entrada digitales se simulan con interruptores on/off, las analógicas, si las hubiera pueden simularse por medio de variaciones de tensión o corriente.

Las salidas pueden chequearse por medio de los indicadores del PLC.

Materiales: manuales de referencia técnica.

Equipo: computador.

Duración: 2 semanas

## **CAPÍTULO 4**

### **DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO**

---

#### **4.1 Descripción del hardware utilizado.**

La siguiente es una breve descripción de los principales componentes de hardware del sistema de control automático para la instalación de transporte de tarimas.

##### **PLC CPU SIMATIC S7-315 DP**

Para el desarrollo de la automatización se seleccionó el PLC CPU SIMATIC S7-315 DP. Número de parte ( 6ES7 315 – 2AF02 )

La familia S7-300 está diseñada para el desarrollo modular de problemas de media y gran complejidad. La serie incluye 8 tipos distintos de unidades centrales con características y capacidades particulares y una amplia gama de módulos con funciones específicas: módulos de entradas y salidas, analógicas y digitales, procesadores de comunicación, interfaces de conexión.

La arquitectura modular de la familia S7-300 permite una gran flexibilidad en las características y capacidades del diseño en función de los requerimientos del sistema y de las necesidades del usuario.

Las áreas de aplicación de la familia S7-300 incluyen: máquinas de propósito especial, maquinaria textil, maquinaria general de aplicación en ingeniería, sistemas de control.

La serie S7-300 permite una elevada velocidad de ejecución; operaciones en punto flotante; variedad de interfaces de comunicación; uso de la interfaz de comunicación MPI, que permite hasta 32 dispositivos en red; entre otras muchas características.

En el caso particular del transportador de tarimas se requiere solamente del CPU y de los módulos correspondientes a entradas y salidas digitales.

La selección del CPU 315 DP se realizó por varias razones: sus capacidades para manejar una gran cantidad de entradas y salidas, su memoria (64 kbytes de memoria RAM), y en especial por su capacidad de manejar 2 interfaces de comunicación: MPI y PROFIBUS DP. La primera de ellas puede funcionar como un protocolo maestro/maestro o maestro/esclavo, el funcionamiento de dicho protocolo depende de los equipos utilizados, por su parte PROFIBUS DP es una red de comunicación industrial diseñada para una comunicación rápida con unidades periféricas descentralizadas.

A pesar de que los CPU 312 y 314 también permiten manejar holgadamente la cantidad de entradas y salidas del sistema y su capacidad de memoria no limita el desarrollo del software, el CPU 315 DP trae incorporado un puerto para la interface PROFIBUS DP, que eventualmente permitirá la comunicación del PLC con otros sistemas automáticos de la planta o bien con un sistema maestro de monitoreo.

El departamento de mantenimiento de Sur Química de Costa Rica pretende monitorear la actividad de toda su nueva planta por medio de una red de control. Por lo que el CPU S7 - 315 DP es preferible para el desarrollo del sistema.

El CPU S7-315 no contiene entradas ni salidas integradas. Son necesarios módulos de entrada y salidas digitales.

La cantidad total de entradas de confirmación, y monitoreo de posición es de 56, mientras que las salidas suman.

La especificación detallada de las entradas y salidas del sistema se omite a petición de las empresas involucradas en el proyecto.

- **Fuente SITOP.**

El CPU y los módulos de entradas y salidas se alimentan con 24 VDC suministrados por una fuente SITOP 307 de 5A, número de parte (6ES7 307 – 1EA00 ).

- **Módulos de entradas digitales SM 321. Número de parte ( 6ES7 – 321 – 1BL00 )**

Los módulos de entradas convierten los niveles de tensión de los dispositivos externos periféricos a los niveles de tensión convenientes para el procesamiento interno de la información en el CPU del PLC.

Tomando en cuenta lo anterior y estableciendo un margen conveniente para entradas no previstas y crecimiento del sistema se utilizan dos módulos de entrada **SM 321**. Cada módulo maneja 32 entradas digitales de 24 VDC, por lo tanto quedan disponibles 16.

- **Módulos de salidas digitales SM 322. Número de parte ( 6ES7 – 322 - 1HH00 )**

Los módulos de salida transforman las señales internas del PLC a los niveles de tensión requeridos para el control de procesos. Haciendo posible la conexión de las salidas del PLC a válvulas solenoides, contactores, pequeños motores, lámparas.

Bajo las mismas consideraciones de número, previsión y disponibilidad futura el CPU maneja las salidas por medio de módulos SM 322. Cada módulo maneja 16 salidas a Relé de 120 VAC, quedan un total de 26 salidas disponibles.

Posición en el RACK

Tablero. Rack Principal.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PS 307 5A	CPU		32 DI 24V	32 DI 24V	16 DQ RE L	16 D Q RE L	16 D Q RE L	16 D Q RE L
307 - 1E A00	315 - 2AF 02	libr e	321 - 1BL 00	321 - 1BL 00	322 - 1H H00	32 2- 1H H0 0	32 2- 1H H0 0	32 2- 1H H0 0
	2		0	4	8	12	16	20
			1	2	3	4	5	6

Dirección Lógica

Número de Módulo

Equipos Siemens 6ES7 ...

**Figura 3 Distribución espacial de los módulos.**

La distribución espacial del CPU y los módulos utilizados se presenta en la figura 3. Cada módulo debe ubicarse en un lugar específico del RACK. La Fuente de alimentación debe ocupar la posición 1, seguida por el CPU en la posición 2, el tercer espacio del RACK debe permanecer libre, y los siguientes son ocupados por los módulos de entradas y salidas, de la siguiente manera, espacios 4 y 5 por los módulos de entradas digitales 1 y 2, espacios 6,7,8 y 9 por los módulos de salidas a relé 120 VAC números 1,2,3 y 4.

Los números en la parte inferior inmediata al número de parte, corresponden a las direcciones lógicas de cada módulo. El número 2 es por omisión la dirección profibus del CPU. El módulo de entradas digitales 1 tiene asignadas las direcciones que van desde el BIT 0.0 al BIT 3.7, para un total de 32 entradas. Por analogía el módulo DI 2, también de 32 entradas, tiene asignadas las direcciones que van del BIT 4.0 al 7.7. Las direcciones asignadas a los módulos de salida también son incluidas en la figura 3.

- **Panel de operador OP7**

Los terminales de comunicación con el operador, o paneles de operación son dispositivos periféricos de comunicación con el PLC y constituyen la interfaz hombre – máquina del sistema.

El panel de operador consiste de un display o pantalla fluorescente para presentación de textos y un teclado de membrana con teclas numéricas y funcionales configurables para la realización de tareas específicas.

Además el OP7 cuenta con recursos específicos, diferenciados de los del CPU: órdenes de mando (visualización de textos, variables ), variables internas en formato de bit, palabras y palabras dobles.

Para la visualización y forzado de las salidas el sistema cuenta con dos paneles colocados en cada uno de los extremos de la instalación de transporte. Desde ellos los operadores a cargo de la instalación pueden monitorear el estado de las alarmas, parametrizar variables dinámicas de la instalación, y accionar el transporte en modo manual.

- **Sensores, actuadores, dispositivos de Seguridad**

Para lograr un lazo cerrado de control y recolectar la información necesaria sobre el estado de la planta es indispensable distribuir y ubicar en la instalación un número conveniente de sensores.

Por otro lado son necesarios accionamientos o elementos que actúen sobre la parte de potencia de la instalación. La potencia necesaria para actuar sobre las salidas del sistema es considerable y no puede ser suministrada por el sistema de control.

**Sensor óptico tipo Reflex XUL-M040319**

La posición y cantidad de las tarimas a lo largo de la instalación es recolectada y enviada al sistema de control por medio de sensores ópticos tipo reflex.

En los sistemas reflex el emisor envía un haz infrarrojo que es reflejado por una superficie especial colocada en el extremo opuesto a una distancia que varía según las características del sensor. El haz es enviado de vuelta con un ligero ángulo de desviación y es captado por el receptor. Emisor y receptor se encuentran dentro del mismo elemento físico. Cuando el haz es interrumpido por la presencia de un cuerpo y el receptor no recibe su reflejo, el sistema de control identifica la presencia de un objeto.

### **Sensores de Proximidad ( Inductivos ) Bero**

El estado del elevador se monitorea por medio de sensores de proximidad inductivos. Ubicados adecuadamente se accionan para detener el ascenso o el descenso.

### **Línea de Seguridad**

La línea de seguridad es un dispositivo de protección con la misma función de un paro de emergencia. Se coloca cerca de áreas peligrosas para limitar el paso de operadores y particulares.

### **Torretas Luminosas**

Se han dispuesto elementos de señalización luminosa y sonora en los extremos de la instalación para informar al operador del estado presente del sistema. Cada color indica un estado y la bocina una falla.

### **Otros**

Contactores, guardamotores, botoneras, selectores, bornes.

# **CAPÍTULO 5**

## **DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA**

---

### **5.1 Descripción del Software**

Cada una de las operaciones del sistema de transporte de tarimas, en su estado presente, depende de condiciones dadas en su estado pasado. Las operaciones pueden organizarse de forma lógica en etapas que siguen una secuencia determinada por las condiciones presentes del sistema. Por lo tanto el algoritmo de control del sistema de transporte de tarimas es de naturaleza secuencial.

En los sistemas digitales el algoritmo de solución de un problema secuencial se estructura en base a un diagrama de estados en el cual se especifica con claridad las acciones que el sistema ejecuta en su estado presente y las condiciones de transición a estados futuros. De manera análoga en sistemas de control automático los problemas secuenciales se estructuran a partir de un diagrama Grafcet.

No existen diferencias marcadas entre los diagramas de estado y el diagrama Grafcet. La singularidad del Grafcet es la forma en que implementa el diagrama de estados o diagrama grafcet en el autómata programable ( PLC ). La forma de estructurar y desarrollar algoritmos es distinta a la utilizada en sistemas digitales o en lenguajes de programación de alto nivel.

La razón de estas diferencias es la estructura de ejecución cíclica del programa de un PLC, que no se da en la ejecución de programas en alto nivel ni en los sistemas secuenciales digitales como las máquinas de estados.

La implementación de un algoritmo secuencial, en un PLC, sin el uso del procedimiento Grafcet requiere de una gran cantidad de marcas de memoria y según la complejidad del problema su implementación puede volverse sumamente compleja he incluso imposible. El grafcet no solamente optimiza el uso de la memoria

interna del PLC, si no que también permite un desarrollo sistemático con etapas claramente definidas.

La programación en Grafcet permite también segmentar un problema complejo en módulos más sencillos. Pueden implementarse algoritmos específicos para controlar una sección o un componente particular del sistema. Si el funcionamiento de una instalación puede dividirse en los bloques de operación A,B y C, el algoritmo de control manejará un grafcet independiente para cada bloque. El funcionamiento global de los bloques puede ser simultáneo si cada uno opera independientemente de los otros, o puede concatenarse en una estructura principal llamada GEMMA.

En el caso del sistema de transporte de tarimas, cada módulo es controlado por un Grafcet. Esto quiere decir que cada módulo tiene su propio algoritmo de control, pero a nivel global depende del estado del módulo siguiente para desplazar o no una tarima. En la siguiente sección se describe con detenimiento estos y otros detalles del software de control implementado para la instalación.

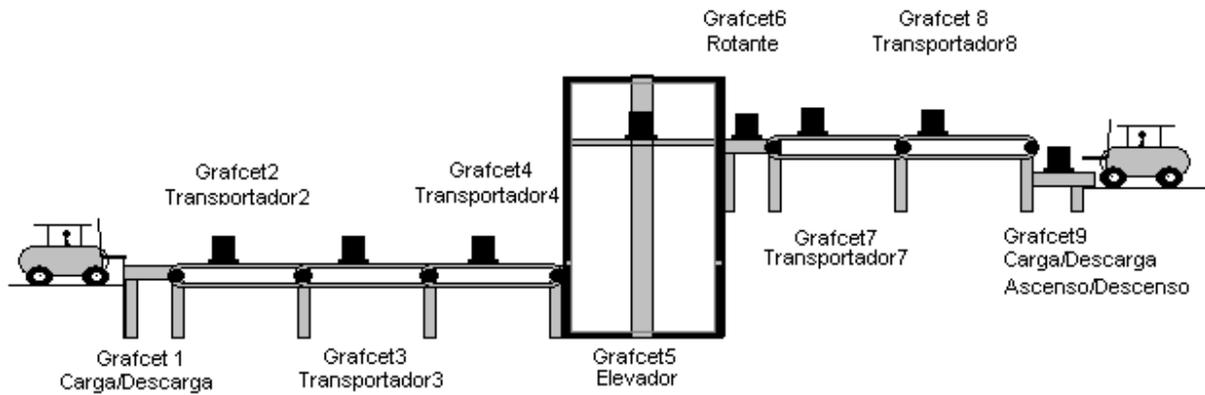
### **Algoritmo de Control.**

El algoritmo de control de la instalación de transporte se divide en etapas claramente definidas.

Cada una de estas etapas constituye un proceso secuencial independiente y se desarrolla un Grafcet específico para cada una de ellas. Cada etapa tiene asociado un módulo de transporte.

En una instalación de transporte, las acciones de un módulo dependen del estado del módulo inmediato. Por ejemplo, si el módulo siguiente está lleno, o fuera de operación, el módulo actual no puede desplazar la tarima.

Esto le permite al sistema el desarrollo simultáneo de tareas en función de las condiciones actuales de la instalación. Cada Grafcet tiene un estado inicial, si se cumplen las condiciones de transición de varios Grafcet, su ejecución es simultánea.



**Figura 4 Distribución de los Grafcet por Módulo.**

La Figura 4 muestra los Grafcets del algoritmo y su correspondencia con un módulo particular.

La individualidad algoritmo - módulo permite por ejemplo, que dadas las condiciones los módulos 7 y 3, se desplacen simultáneamente.

Esta estructura modular simplifica, significativamente el algoritmo de control de la instalación.

### **Estructura del software de Control.**

El software de control está conformado por varias etapas funcionales. El algoritmo de control es solamente una de ellas.

Cada etapa cumple una función específica, y permite un desarrollo estructurado del software que facilita su implementación al programador y , en caso de ser necesario, la interpretación de terceros. Todo esto con el apoyo del software de programación STEP 7, orientado al desarrollo modular de aplicaciones de control.

Los bloques o etapas funcionales del sistema son las siguientes:

- Funciones Generales Pre – Ciclo
- Copia de Entradas
- Alarmas
- Escritura de Salidas
- Comunicación con el OP7
- Funciones Generales Post – Ciclo.

Las acciones realizadas en cada una de las etapas se detallan en el capítulo siguiente.

### **Interface Hombre – Máquina.**

El sistema de control debe ser capaz de indicar de una forma clara y eficiente el estado actual de la instalación, la presencia de fallas, el valor de parámetros. La comunicación efectiva entre el sistema de control y el operador y los medios utilizados para lograrla constituyen la interface hombre – máquina.

En esta aplicación la comunicación operador – controlador se logra por medio del OP7. A través de las pantallas del panel de operador el usuario puede seleccionar el modo de operación de la instalación y visualizar mensajes de falla.

Además de los mensajes vía OP7, en ambos extremos de la instalación se ubica equipo de señalización visual y sonora para indicaciones de fallo, solicitud de intervención del operador.

## Capítulo 6

### Análisis de Resultados

---

#### 6.1 Análisis de Resultados.

El estudio detallado de la instalación de transporte constituyó la primera etapa del proyecto. Se tomaron en cuenta factores de diversa índole:

- Características físicas de los módulos de transporte, como velocidad, tamaño, longitud.
- Requerimientos logísticos del sistema de control de la nueva planta de Sur Química, como la interconexión de todos los sistemas por medio de una red industrial de comunicación de datos.
- Naturaleza de los materiales a transportar.

La etapa de estudio del problema requirió también de reuniones con los responsables del proyecto por parte de Sur Química de Costa Rica, en ellas se definieron lineamientos de funcionamiento y seguridad. Con base en estas consideraciones se desarrollo un algoritmo de control eficiente y confiable, que requirió de la definición de los sensores y actuadores necesarios para monitorear y desplazar las tarimas a través de la instalación. La selección del tipo, cantidad, y características de los dispositivos se realizó con base en consideraciones técnicas, por ejemplo para los detectores fotoeléctricos se tomó en cuenta la distancia máxima del haz infrarrojo, la cantidad de impurezas diseminadas en la atmósfera, dimensiones físicas de los cuerpos a detectar.

Sur Química y Giordano seleccionaron el CPU 315-2DP para el desarrollo del proyecto. Sus características y capacidades exceden los requerimientos de la instalación. Su elección obedece a una característica particular: el CPU 315DP cuenta con dos puertos de conexión a la red industrial PROFIBUS-DP. En un futuro

próximo Sur pretende utilizar esta característica para interconectar sus sistemas de control a un sistema de monitoreo global de toda su planta.

El CPU 315-2DP no incluye entradas y salidas integradas, la selección de los módulos correspondientes fue parte de la labor de diseño. Fueron escogidos módulos de 32 entradas digitales de 24V SM 321, número de parte ( 6ES7 – 321 – 1BL00 ) y Módulos de salidas 16 salidas a Relé (120 VAC) digitales SM 322. Número de parte ( 6ES7 - 322 - 1HH00 ).

Con base en todo lo anterior se diseñaron los planos de la instalación eléctrica de control. Los planos incluyen el circuito de iluminación del ascensor, las conexiones de entradas y salidas del PLC, acometidas, circuitos de control y paro de emergencia. También se realizaron los planos de distribución de los sensores, finales de carrera, motores y electroválvulas, a lo largo de la instalación.

El algoritmo de control se desarrollo con base al método grafcet y los detalles con respecto a su implementación se detallan más adelante.

Se describen a continuación los lineamientos de hardware y software que sustentan el diseño.

Con respecto al hardware la primera etapa del diseño consistió en la definición de la ubicación, cantidad, y tipo de sensores necesarios para el monitoreo. Un sensor al inicio de cada bloque de transporte es capaz de realizar la cuenta de la cantidad de tarimas, con otro sensor al final del módulo puede determinarse la presencia o no de tarimas, con el uso de los flancos de las señales. Los sensores son del tipo reflex no polarizado y su distancia de acción se acopla sin problemas al ancho de la instalación, su funcionamiento está garantizado en condiciones libres de extremas impurezas en el aire que impidan el paso del haz infrarrojo. A lo largo de la instalación será necesario la ubicación de interruptores final de carrera y sensores bero de proximidad inductiva para el monitoreo de posición y distancia.

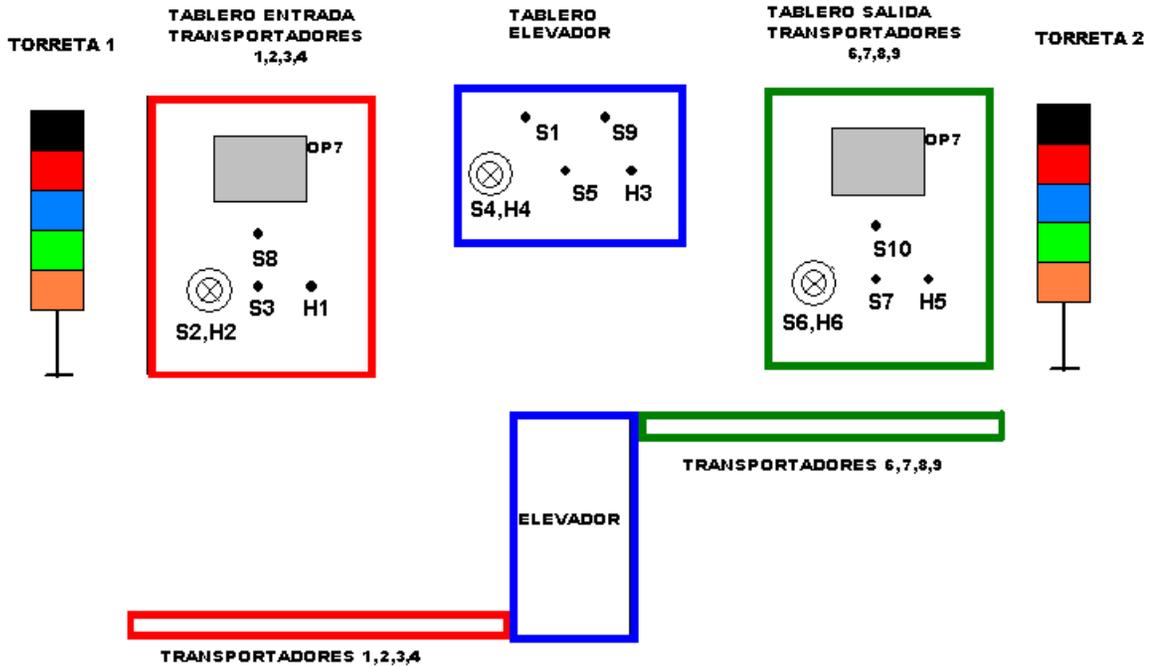
Por la clase de actividad productiva que desarrolla Sur Química de Costa Rica, los materiales que se transporten a través de la instalación pueden ser químicamente

reactivos. La integridad de la carga y de los operadores debe estar totalmente garantizada. Para lograrlo el sistema contará con dispositivos de seguridad colocados en puntos de alto riesgo. En las salidas del ascensor, y en los módulos que brindan acceso a él, así como en el módulo de carga y descarga, con ascenso y descenso, se colocarán frenos, normalmente activos y solamente permitirán el paso de carga cuando se han garantizado todas las condiciones de seguridad del caso. En zonas donde la proximidad de operadores puede ser peligrosa se ha previsto la colocación de líneas de seguridad que eviten el paso, y el ser forzadas actúan como un paro de emergencia.

La distancia del recorrido y los ascensos y descensos hacen necesario la colocación de tres tableros de control. Dos ubicados en los extremos de la instalación y el restante en la parte alta del elevador. Con ello se pretende que la distancia entre el operador y el tablero no sea un obstáculo para una intervención rápida en caso de emergencia y que los operadores en ambos lados de la instalación puedan acceder a la información y control vía OP7. En cada tablero se dispone de botones para Circuitos Auxiliares, Paro de Emergencia, y Reset de Alarmas, con efecto sobre toda la instalación.

El panel de operador OP7, fue la mejor opción para realizar la interfaz de operación. Un panel más pequeño dificultaría el uso de los menús de operación en tanto que un panel mayor estaría sobredimensionado para la características de la interfaz.

La figura 5 muestra la distribución de los tableros de mando junto con la señalización luminosa, los símbolos correspondientes a botones y luces corresponden con los utilizados en los planos.



La denominación de los botones corresponde a

Tablero 1		Tablero 2		Tablero 3	
Circuitos auxiliares	S2, H2	Circuitos auxiliares	S4, H4	Circuitos auxiliares	S6, H6
Paro de Emergencia	S3	Paro de Emergencia	S5	Paro de Emergencia	S7
Luz Paro de Emergencia	H1	Luz Paro de Emergencia	H3	Luz Paro de Emergencia	H5
Reset Alarmas	S8	Reset Alarmas	S9	Reset Alarmas	S10
Panel Operador	OP7	Iluminación Ascensor	SI	Panel Operador	OP7

**Figura 5 Distribución de los tableros de mando.**

En los planos completos de la instalación se incluyen los detalles concernientes con acometidas, distribución de entradas y salidas, circuitos de control.

Con respecto al desarrollo del software la optimización del espacio y el tiempo determinaron el resultado final de la solución propuesta.

En total puede desplazarse por módulo de transporte una tarima. Esta cantidad está determinada por varios factores entre los que se cuenta la inercia del sistema. Debe considerarse que un cuerpo con un peso aproximado a una tonelada, viajando a una velocidad de 40cm por segundo no puede detenerse de golpe.

Dado que los transportadores lineales son más veloces que el elevador, si las canastas son aceptadas tan pronto como se colocan en el módulo de carga, se inicia un proceso de acumulación en espera del elevador.

La acumulación de tarimas en los transportadores de la instalación hace más complejo el funcionamiento del sistema sin aportar mayor eficiencia, por que la velocidad en el envío de las tarimas está determinada por un factor ajeno a la lógica de operación.

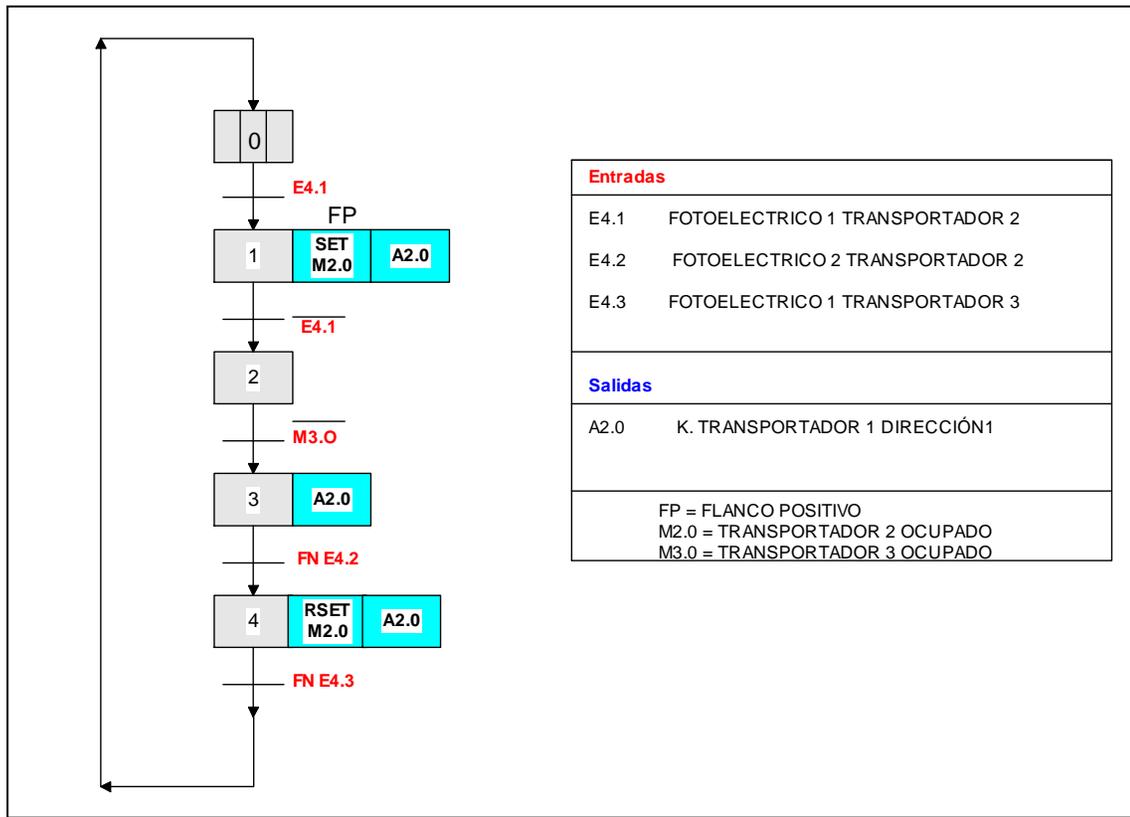
Por esta razón el transporte unitario por módulo no representa un inconveniente para el rendimiento del sistema.

El algoritmo de funcionamiento de los módulos resulta entonces sencillo y puede describirse de la siguiente manera: el módulo detecta la presencia de una tarima por medio de los sensores foto eléctricos. Antes de iniciar el desplazamiento se consulta el estado del módulo siguiente, si está libre se inicia el desplazamiento de la tarima, de lo contrario ( tiene una tarima desplazándose o en reposo ) la tarima permanece inmóvil. Cuando el módulo siguiente queda libre el módulo actual inicia el desplazamiento.

Los módulos contiguos al elevador desplazan la tarima solamente cuando este se encuentra correctamente posicionado.

Como se muestra en la figura 4, el algoritmo de control está conformado por un Grafcet para cada módulo de operación.

En la página siguiente se incluye a manera de ejemplo el grafcet de control del transportador número 2.



**Figura 6 Grafcet Transportador 2**

La figura 6 muestra el Grafcet de control del Transportador 2. A la derecha del diagrama se incluye una tabla de referencia sobre la simbología utilizada en el diagrama.

### 6.1.1 GRAFCET 2: Transportador 2

Descripción del diagrama

El módulo se mantiene en su estado de reposo hasta que se activa la entrada E4.1, correspondiente al sensor 1 del transportador 2. Los sensores se encuentran 20 cm antes y después del inicio del módulo de transporte. Cuando el transportador 1 desplaza una tarima, la introduce en el transportador 2 hasta interrumpir el haz de E4.1. En ese momento el grafcet salta al estado 1 donde activa la marca M2.0 ( Transportador 2 lleno ) y pone en movimiento al transportador. Cuando la tarima está colocada totalmente sobre el transportador el sensor E4.1 se desactiva y se

pasa al estado 2. Si la marca correspondiente a transportador 3 lleno ( M3.0 ) está activa el transportador 2 se mantiene estacionario en el estado 2. De lo contrario desplaza la tarima hacia el transportador 3. Cuando se da el flanco negativo del sensor 2 del transportador 2, se resetea M2.0, el transportador se mantiene activo hasta que la tarima está totalmente sobre el transportador 3 ( Flanco negativo E 4.3 fotoeléctrico 1 transportador 3)

- Desarrollo del código.

La conversión a código de un diagrama es un proceso sistemático y estándar.

Sistemático porque consiste en etapas claramente establecidas y estándar porque utiliza operaciones básicas y puede implementarse con cualquier tipo de PLC, independientemente de modelos y marcas .

Es importante tomar en cuenta que el programa de un PLC se ejecuta cíclicamente, cada ciclo toma sólo unos cuantos microsegundos, y la ejecución del ciclo solamente se detiene por una interrupción de la alimentación ó por un paro forzado del sistema.

Cada ciclo ejecuta las siguientes acciones: lee las entradas digitales, ejecuta el programa, procesa peticiones de comunicación, efectúa un autodiagnóstico, escribe las salidas y nuevamente retorna a leer las entradas.

Considerando lo anterior el código grafcet define dos grupos de marcas para manejar las transiciones, uno de ellos es la copia de los estados (en adelante **#CE**) y el otro es propiamente los estados (**#E.**)

- Etapas del Grafcet.

1. Transición de estados. En esta etapa se evalúan las copias de los estados y las condiciones de transición. Si para el estado presente por ejemplo #CE0 se cumplen las condiciones de transición, la marca de estado futuro correspondiente al estado presente se desactiva y la marca de estado futuro correspondiente al estado próximo se activa.

2. Eventos: aquí se evalúan las marcas de estado #E aún sin la actualización de la etapa anterior, es decir las marcas correspondientes al ciclo anterior. Y se activa la salida o salidas correspondientes al estado presente.
3. Finalmente se hace la copia de las marcas de estado, es decir se copia #E en #CE, de esta manera se realiza la transición correspondiente.  
  
Para facilitar la interpretación, cada transición y cada evento correspondiente a una salida se desarrollan en un segmento separado del programa.

### **6.1.2 Estructura Completa del PROGRAMA**

Los módulos grafcet son una parte de la estructura total del programa. Este último está dividido en las siguientes partes.

FC1 Funciones generales previas al ciclo: aquí se realizan todas aquellas operaciones que deben ejecutarse en cada ciclo, previo al desarrollo de los algoritmos de control.

FC3 En este módulo se mapean las entradas digitales ( se asignan a una marca) y se escalan las entradas analógicas.

FC4 En este módulo se diagnostican y de ser necesario se activan las alarmas del sistema.

FC5 Activa las salidas digitales y analógicas

FC7 Realiza rutinas generales previas al ciclo, como por ejemplo la copia de estados de los grafcet.

FC10 Contiene el GEMMA o grafcet maestro.

FC11... Del FC11 en adelante se colocan los restantes Grafkets.

## **6.2 Alcances y limitaciones**

La solución planteada permite un desplazamiento eficiente de las tarimas. Que cumple con los requerimientos y características deseados. Sin embargo, tiene el inconveniente de generarle tiempos muertos a los operadores de carga. El tiempo entre cada carga es de aproximadamente 15 segundos, un operador muy veloz deberá esperar varios segundos entre cargas.

La velocidad del elevador limita el desempeño de todo el sistema, sin importar el modo de funcionamiento con acumulación de una o más tarimas, siempre será necesario esperar la descarga del sistema.

La velocidad de los transportadores lineales, limita la eficiencia, pero es un requisito de seguridad indispensable.

Las prestaciones de la serie S7 300, la estructura y metodología de programación, así como el set de operaciones cubren cualquier requerimiento del sistema, las limitaciones de la instalación son de origen mecánico, y por los alcances del presente proyecto no pueden modificarse.

## **Capítulo 7**

### **Conclusiones y Recomendaciones.**

---

#### ***Conclusiones***

1. El estudio del problema planteó la búsqueda de una solución particular para las necesidades de Sur Química y las características físicas del sistema.
2. La cantidad y el tipo de sensores se definieron en base a las necesidades de control, las características de la instalación y de los elementos a detectar.
3. La periferia modular del CPU 315-2DP se limita a módulos de entrada y salida digitales, no fueron necesarios módulos analógicos ni de comunicación.
4. En los planos de la instalación se incluyen los detalles concernientes con acometidas, distribución de entradas, salidas y circuitos de control..
5. El elevador limita la eficiencia del sistema, estableciendo la velocidad máxima de transporte.
6. Los periodos de tiempo entre cargas representan tiempos muertos en el desempeño de los operadores.
7. El diseño modular del programa facilita su implementación e interpretación.

## ***Recomendaciones***

1. Es recomendable realizar un análisis de tiempos de operación para las diversas opciones de funcionamiento del sistema, ya que no es evidente cual es el más eficiente.
2. Es posible realizar una mayor acumulación de tarimas por medio del algoritmo de control. Sin embargo y puesto que el rendimiento real del sistema está determinado por la velocidad del elevador, no existe una ventaja real al acumular mayor número de tarimas.
3. El algoritmo de control esta limitado por las características físicas del sistema, es recomendable realizar un análisis previo de los requerimientos de la instalación, para definir así el tipo de sistema mecánico a emplear.

## BIBLIOGRAFÍA

Balcells Josep. **Autómatas Programables**. 1º Ed. Barcelona. Marcombo S.A, 1997.

Schmelcher Theodor. **Manual de Baja Tensión**. 1º Ed. Berlín. Siemens, 1984.

Catalog ST 70. Components for Totally Integrated Automation. **Siemens**, 1999

Catalogo 1994. Detección. **Telemecanique**, 1994.

Safety Products. Application and Product Selection Guide. **Allen-Brandley** , 1999