

**Manual de automatización por medio de controladores lógicos
programables (PLC's).
La industria del mueble (Un caso de estudio)**

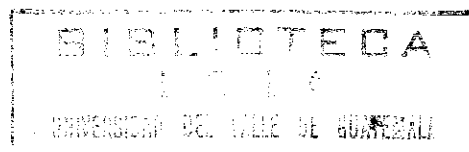
**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRONICA**



**MANUAL DE AUTOMATIZACION POR MEDIO DE CONTROLADORES
LOGICOS PROGRAMABLES (PLC's).
LA INDUSTRIA DEL MUEBLE (UN CASO DE ESTUDIO)**

JOSE ANTONIO LOPEZ GONZALEZ

Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico
de Licenciado en Ingeniería Electrónica



Guatemala
1997

Vo. Bo.:

(f) Manuel A. López U.

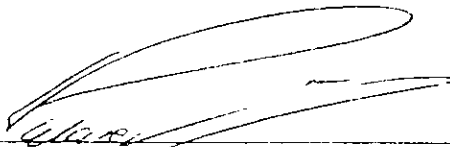
Dr. – Ing. Manuel Antonio López Valdéz

Asesor

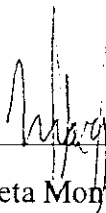
Tribunal:

(f) Manuel A. López U.

Dr. – Ing. Manuel Antonio López Valdéz

(f) 

Ing. Gonzalo Palarea Murga

(f) 

Ing. José Rafael Argueta Monterroso

Fecha de aprobación: 20 de junio de 1997

A mi mamá y
a Bobby

CONTENIDO

	Páginas
I. INTRODUCCION	1
II. AUTOMATIZACION	3
A. Definición de tecnologías de automatización	3
1. Clasificación de la automatización	3
2. Definición de automatización	4
3. Definición de Manufactura Integrada por Computadora - CIM	4
4. Evolución de automatización hacia CIM	5
B. Beneficios y problemas de la automatización	9
1. Beneficios directos de tecnologías avanzadas de manufactura	10
2. Resultados de la automatización en diferentes países	11
3. Problemas surgidos por la automatización	12
4. Justificación de CIM	12
C. Control jerárquico y automatización progresiva	14
1. Interconexión de los diferentes niveles dentro de la jerarquía	15
III. LA AUTOMATIZACION Y EL ENTORNO	17
A. Efectos socio-económicos de la automatización	17
1. La orientación tecnocéntrica versus la etnocéntrica	17
2. El cambio del ambiente laboral por la introducción de AMT	18
B. Efectos tecnológicos de la automatización	20
C. Efectos de la automatización en la empresa	21

CONTENIDO

	Páginas
1. Efecto en las condiciones gerenciales de la empresa por la introducción de CIM	21
2. Automatización y planificación estratégica	23
3. Factores a considerar por la alta gerencia de la empresa	25
D. Justificación de programas de automatización y CIM	26
1. Diferentes tipos de justificación	26
2. Pasos para desarrollar una justificación conceptual	26
3. Pasos para desarrollar la justificación del equipo	28
Reglas y precauciones para un programa de automatización	30
IV. DEFINICION DE UN CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)	33
A. Definición	33
1. Descripción y definición de un Controlador Programable	33
2. Historia del Controlador Programable	34
B. Ventajas y desventajas en el uso de PLCs	37
1. Puntos de diferencia de un PLC	37
2. Ventajas de los Controladores Programables	38
3. Desventajas de los Controladores Programables	40
C. Tipos de aplicaciones	40
1. Modernización de maquinaria y equipo	41
2. Diseño de máquinas nuevas	42
V. ARQUITECTURA Y FAMILIAS DE PLCS	45

CONTENIDO

	Páginas
A. Características	45
1. Arquitectura de un sistema automatizado	45
2. Arquitectura general de un PLC	45
B. El ciclo del programa	47
C. Hardware	48
1. Especificaciones de uso general en módulos de entrada/salida	49
2. Capacidad de comunicación de los PLCs	50
D. Familias y clasificación	51
E. Selección de un sistema basado en un PLC	53
1. Determinación de necesidades de entradas y salidas	54
2. Determinación del Controlador Programable más apropiado	54
F. Configuración de entradas y salidas	55
VI. PROGRAMACION	59
A. Proceso de desarrollo de un programa para PLC	59
1. Definir el Problema	59
2. Describir el desempeño externo del sistema	59
3. Definir el desempeño interno del sistema	60
4. Dibujar el diagrama de estado del proceso	60
5. Titular cada estado con un código RUN FREE CODE	60
6. Obtener las ecuaciones secundarias	61

CONTENIDO

	Páginas
7. Eliminar las operaciones de apagado mediante las ecuaciones de Morgan (Opcional)	63
8. Derivar las ecuaciones de salida	63
9. Convertir la lógica Booleana en diagramas de escalera	64
10. Convertir las ecuaciones de salida en un diagrama de escalera	64
B. Unidades de programación	64
1. Modos de programación	64
C. Documentación del programa	66
1. Identificación del programa y del sistema	66
2. Abstracta del sistema	66
3. Configuración del sistema	66
4. Diagramas de conexión de entradas y salidas	67
5. Asignación de direcciones de entrada y salida	67
6. Asignación de registros	67
7. Listado del programa	67
8. Listas de referencias	67
VII. EJEMPLIFICACION DEL METODO DE DISEÑO	69
A. Descripción del proyecto	69
B. Justificación del proyecto	69
C. Funcionamiento actual de la maquinaria	70
D. Selección del hardware	72
1. Configuración de entradas y salidas	72

CONTENIDO		Páginas
E.	Determinación del controlador más apropiado	77
F.	Desarrollo del programa	78
VIII.	SISTEMAS EXPERTOS	87
A.	Definición	87
B.	Lenguajes y shells para desarrollo de sistemas expertos	88
C.	Arquitectura de un sistema experto	89
D.	Areas de aplicación de sistemas expertos	91
E.	Desarrollo de sistemas expertos	91
F.	Desarrollo de un sistema experto para seleccionar PLCs	95
	1. Identificación o planificación del PLCXPERT	95
	2. Conceptualización del PLCXPERT	96
	3. Formalización del PLCXPERT	96
	4. Implementación del PLCXPERT	105
	5. Prueba del PLCXPERT	107
IX.	CONCLUSIONES	109
X.	BIBLIOGRAFIA	113
	APENDICES	
A.	Diagrama de flujo del proceso	115
B.	Diagramas de mando y potencia del sistema	121
C.	Diagramas de mando del sistema modificado	125
D.	Listado del programa PLCXPERT.PRO	131
E.	Ejemplificación	153

LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

Tabla		Página
II.1	Manufactura generalizada	4
II.2	Convergencia tecnológica hacia CIM	7
II.3	Tecnologías asociadas a CIM	8
II.4	Diseño jerárquico	14
II.5	Tipos de comunicación entre niveles	16
II.6	Ejemplo de un control jerárquico	16
III.1	Modificación del ambiente de trabajo en Alemania	19
V.1	Tabla de partes de un sistema automatizado	46
V.1	Diagrama de bloques de un PLC	47
V.2	Caso 1 de comunicación	50
V.3	Caso 2 de comunicación	50
V.4	Caso 3 de comunicación	50
V.5	Caso 4 de comunicación	51
V.6	Familias de PLC	51
VI.1	Diagrama de entradas y salidas	60
VI.2	Código binario de Gray	61
VII.1	Diagrama de estados	79
VIII.1	Espectro de herramientas y lenguajes para desarrollo de sistemas	88
VIII.2	Arquitectura de construcción de un sistema experto	90
VIII.3	Proceso de diseño de sistemas expertos	95
VIII.1	Tabla de requerimientos de operación	99

Tabla	Página
VIII.4 Arbol de decisión	101
VIII.2 Tabla de requerimientos agrupados	101
VIII.3 Tabla de factores de conformidad	104

I. INTRODUCCION

Este trabajo busca contribuir al desarrollo de la automatización en Guatemala proveyendo una herramienta de diseño para el ingeniero electrónico responsable de la ejecución de dichos proyectos.

En la actualidad existe una necesidad latente de automatizar y mejorar los procesos de la industria. Esta necesidad aún no es evidente por el bajo costo de la mano de obra y el alto costo del capital. Sin embargo, en la medida que los líderes industriales comprendan que la automatización trae más beneficios que la reducción de costos de mano de obra, y aún más, que dichos beneficios son mayores cuando la gente es parte de la solución, la demanda de gente calificada en procesos de automatización irá en aumento.

Existen algunas evidencias, no estudiadas empíricamente, de que esto está cambiando. Por un lado la oferta en equipos, marcas y consultores está aumentando. Del lado de la demanda se pueden apreciar empresas que adquieren maquinarias más sofisticadas, tales como, robots simples, controles digitales (por ejemplo PLCs y reguladores de velocidad de motores), y consolas con capacidad de conectarse a redes de cómputo. Otro aspecto del lado de la industria es el creciente uso de computadoras y sistemas de automatización de oficinas y de control de producción, tecnologías que muchas veces son la antesala de la automatización de procesos de producción. Finalmente, existen algunas empresas (el sector azucarero es un buen ejemplo) que, conscientes de los beneficios de la automatización en confiabilidad, menor variación y mayor calidad, ya han iniciado programas formales de transformación.

Este estudio se concentra en la utilización de controladores lógicos programables (PLCs) o autómatas programables porque son una tecnología que permite iniciar

programas de automatización a un costo relativamente bajo. Además, su flexibilidad permiten que se puedan adaptar a casi cualquier proceso de producción a la vez que se pueden implementar mediante diseños desarrollados de acuerdo a las necesidades específicas. Si la demanda por automatizar aumenta es muy probable que su primera parada sea en los PLCs.

La investigación consta de tres elementos básicos. El primero se refiere al marco teórico; en él se responde a qué es automatización, qué resultados se han obtenido, qué son PLCs y se introduce en forma general qué son sistemas expertos. El segundo elemento trata sobre cómo utilizar la tecnología de PLCs ; partiendo de la justificación de los proyectos (Capítulo 2), se pasa por la determinación del hardware (capítulos 3 y 4), hasta la forma de desarrollar un programa (capítulo 5). El último componente de este manual es la modelación de un caso en el que se utiliza la información presentada; por un lado se automatiza el control de maquinaria (capitulo 6) y por el otro se desarrolla un prototipo de sistema experto para la selección del hardware (capítulo 7).

II. AUTOMATIZACION

A. Definición de tecnologías de automatización

1. Clasificación de la automatización.

Para comprender lo que se entiende por automatización se hace necesario reconocer que este no es un término realmente nuevo, sino que ha tomado una connotación más relevante en el presente. Según Berkstresser et al (1986:37) La automatización puede ser clasificada de dos maneras: por sus características técnicas y por su efecto en la industria.

En el primer grupo se distinguen tres tipos de tecnología:

a. Mecanización: Es la construcción y uso de dispositivos referidos como ayudas de trabajo. Por ejemplo, simples guías o plantillas.

b. Automatización bruta (hard): Se identifica con máquinas que son construidas para hacer bien un trabajo especializado. El problema es que sólo pueden hacer ese único trabajo. Por ejemplo, prensas hidráulicas.

c. Automatización inteligente: Es la clase de la que más se habla actualmente y viene a ser propiamente un sinónimo de automatización. Sus diferentes manifestaciones se caracterizan por ser reprogramables, flexibles, y capaces de hacer una variedad de tareas.

Vista por los efectos que su adopción tiene en la industria, la automatización se divide en dos:

a. Efectos evolutivos: Aquellos en que máquinas reemplazan a hombres efectivamente en una base uno a uno. La clave es que lo que se hace difiere en poco de lo que se hacía antes.

b. Efectos revolucionarios: Se inventan máquinas que de hecho revolucionan la forma en que se producen bienes.

2. Definición de Automatización.

Actualmente, automatización es un término que no tiene una definición globalmente aceptada. Algunos la ven como una nueva serie de conceptos que se relacionan con la operación automática de procesos de producción; otros la ven como un simple desarrollo evolutivo de la tecnología, en el que la maquinaria desempeña algunas o todas las funciones de control de procesos.

Lo que es de común aceptación son las tecnologías asociadas. Todas ellas se basan en el uso de computadoras y se les generaliza como tecnologías avanzadas de manufactura (AMT).

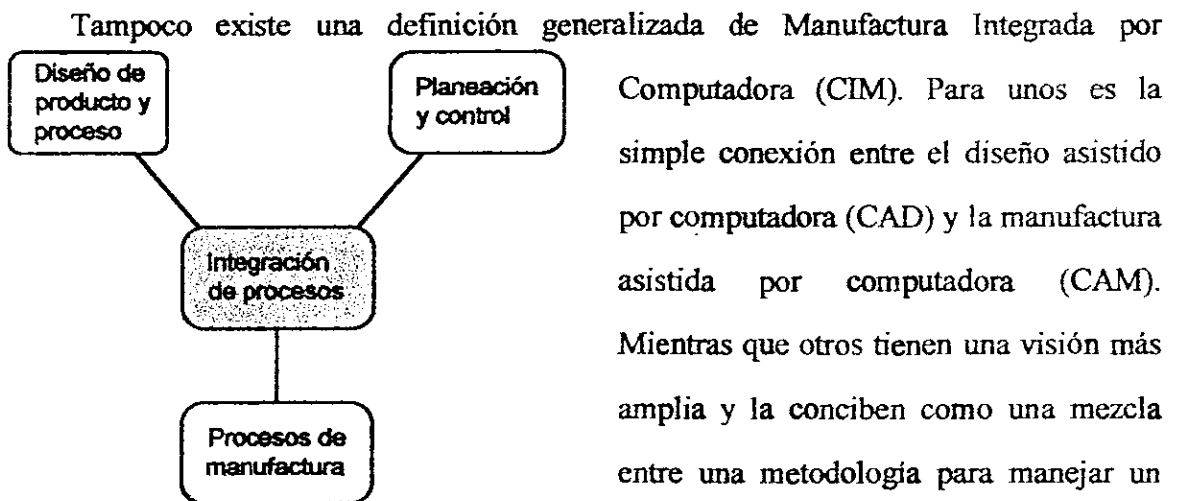
Algunos ejemplos son "Machining centers", máquinas de control numérico (CNC/NC), sistemas de diseño/manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), sistemas flexibles de manufactura/ensamble (FMS/FAS), robots industriales, vehículos autoguiados (AGV), islas de automatización, y más.

3. Definición de Manufactura Integrada por Computadora – CIM.

Tampoco existe una definición generalizada de Manufactura Integrada por Computadora (CIM). Para unos es la simple conexión entre el diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM). Mientras que otros tienen una visión más amplia y la conciben como una mezcla entre una metodología para manejar un

GRAFICA 2.1. MANUFACTURA GENERALIZADA

empresa basándose en sistemas, y la integración de la información y las actividades de negocio y manufactura. Para comprender lo que es CIM se debe partir por la idea de la integración de aspectos de



producción (diseño, planificación, manufactura, almacenaje, manejo de materiales, etc.) y de administración (ventas, mercadeo, finanzas, etc.). Case et al (1992:95) la plantea como una versión automatizada de un proceso de manufactura (gráfica 2.1), en el que cada función es reemplazada por una serie de tecnologías de automatización (AMT) integradas mediante redes informáticas, que comparten el acceso a bases de datos unificadas.

Ebel (1990:2) resume CIM como un medio de organizar y controlar la manufactura de componentes y ensambles tan lógica y flexiblemente como sea posible, y de gobernar y coordinar el correspondiente flujo de datos e información. Apunta a optimizar el uso del equipo, reducción del tiempo de ciclo e inventarios, y asegurar alta calidad de productos y bajos costos por unidad.

Como un concepto CIM promete muchos beneficios a la industria, sin embargo, los altos niveles de computo requeridos, la complejidad de la arquitectura y del software, la necesidad de adaptarla a cada caso particular, y la dificultad de integrar las islas de automatización en las que se utilizan diferentes sistemas individuales hacen su realización muy difícil.

4. Evolución de Automatización hacia CIM.

¿Cuál es la diferencia entre automatización y manufactura integrada por computadora? Se puede decir que CIM integra todos los aspectos de la manufactura en un solo sistema automatizado.

En los años 60, la industria manufacturera estadounidense empezó a utilizar computadoras para automatizar transacciones financieras, controlar inventarios, programar la producción y el flujo de materiales y partes. Fue posterior a esto que los sectores de defensa y aerospacial de Estados Unidos introdujeron las computadoras a las operaciones propias de manufactura con el CAD. El siguiente paso fue el traslado de las computadoras a las máquinas usadas en el procesos, surgiendo el CAM, y de allí penetró

en casi todas las operaciones de manufactura.

Las islas de automatización en sí son el origen de grandes mejoras, pero su máximo potencial se logra cuando son interconectadas y coordinadas, es decir, cuando se llega a la manufactura integrada por computadora.

El concepto de una fábrica del futuro en el que las islas de automatización o subsistemas están totalmente integrados es de realización reciente, casos como IBM en Charlotte, Carolina del Norte; Westinghouse en College Station, Texas; Texas Instruments en Johnson City, Tennessee; Fujitsu Fanuc en Japón son ejemplos de los beneficios de este concepto tecnológico. En la gráfica 2.2 Ebel (1990:31) resume la evolución, iniciada en 1960, de la tecnología hacia CIM.

Case (1992:96) propone que con CIM, las tres funciones principales de la manufactura (presentadas en la gráfica 2.1), diseño del producto y proceso, control y planificación, el proceso mismo de manufactura son cubiertas mediante seis áreas funcionales: Diseño asistido por computadora (CAD), tecnología de grupos (GT), sistemas de planificación y control de manufactura (MP&CS), sistemas automatizados de manejo de materiales (AMH), manufactura asistida por computadoras (CAM) y robots (gráfica 2.3).

a. Diseño asistido por computadora (CAD): Se refiere al uso de computadoras y sistemas gráficos para el diseño de especificaciones geométricas de las partes, así como a la simulación y análisis de ingeniería (CAE).

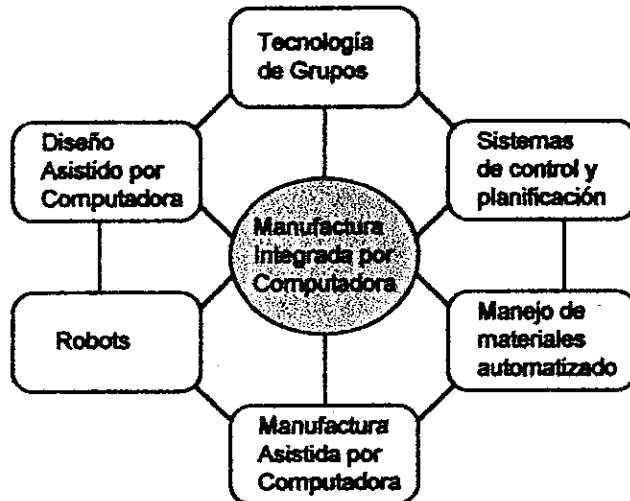
b. Tecnología de Grupos (GT). Esta tecnología asociada al CAD utiliza computadoras para la clasificación, codificación y agrupación de partes y procesos basándose en su geometría, facilitando sistemas de manufactura celular.

ACTIVIDAD	1960	1970	1980	1990
• DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> • Lápiz electrónico • Proyectos Fuerza Aérea 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de Mainframes a vehículos espaciales y electrónica • Tubo Tektronix, Minicomputadoras memoria virtual, programación estructural 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D, modelado de sólidos, modelado de superficies (50 proveedores) • 200 proveedores de sistemas más baratos de CAD para PC <p>CAD/CAM</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiple elección de usuarios de CAD en forma integral e individual • CIM <p>CAD/CAM</p>
• PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas de transferencia • Máquinas herramientas con CN • Tecnología de Grupos 	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta CNC • Robots • DNC • CNC basados en chips • Aplicaciones del microprocesador en modelado y control 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición en proceso • ATE • FMS • AGVs • Selección más amplia de células de manufactura 	<ul style="list-style-type: none"> • CIM
• COORDINACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes sistemas de computación (mainframes) en plantas 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación en minicomputadoras y mainframes de MP&CS, relacionado a MRP • Simulación 	<ul style="list-style-type: none"> • MRP II, une el negocio y la manufactura • Bases de datos MRP/CAD como kernel de CIM 	<ul style="list-style-type: none"> • CIM

GRAFICA 2.2. CONVERGENCIA TECNOLÓGICA HACIA CIM

c. Sistemas de planificación y control de manufactura (MP&CS). Son sistemas de información que planifican, programan, monitorean y proyectan resultados de operaciones. Dentro de ellos se pueden mencionar sistemas electrónicos de intercambio de datos (EDI) que procesan ordenes, planificación de recursos de manufactura (MRP), contabilidad y planificación de procesos (CAPP).

d. Sistemas automatizados de manejo de materiales (AMH). Cumplen funciones de almacenamiento y recuperación (ASRS) y de transporte por medio de vehículos autoguiados (AGV).



GRAFICA 2.3. TECNOLOGIAS ASOCIADAS A CIM

e. Manufactura asistida por computadoras (CAM). Las tecnologías específicas del CAM incluyen máquinas - herramientas manejadas por computadoras (como CNC/NC), sistemas flexibles de manufactura y ensamble (FMS/FAS), e inspección y control estadístico realizados por computadoras.

f. Robots. De acuerdo al Instituto Americano de Robots éstos son manipuladores reprogramables y multifuncionales, diseñados para mover materiales, partes, herramientas u otro dispositivo especializado, a través de movimientos variables programados para lograr una variedad de tareas. Son básicamente brazos mecanizados que por medio de herramientas sustituyen la manipulación humana y otras funciones repetitivas.

Estos seis subgrupos o funciones son integrables gracias al desarrollo de la tecnología de computadoras y del software. Una de las más grandes dificultades en el logro de la integración es la estandarización de programas que permitan la interconexión y accesos a las bases de datos. Entre los esfuerzos en este tema sobresalen los logros de la Organización Internacional de Estándares con el Sistema Abierto de Interconexión (ISO/OSI), con una arquitectura de siete niveles; el Protocolo de Automatización de Manufactura (MAP y mini MAP), versión colapsada de cuatro niveles del ISO/OSI de la

General Motors; y el Protocolo de la Oficina Técnica (TOP) de Boeing.

En términos generales se puede resumir lo que se entiende hoy por automatización como el conjunto de tecnologías que por medio del uso de computadoras y microprocesadores han ido sustituyendo, mejorando y ampliando los métodos tradicionales de producción y administración. Dado que han surgido como respuesta a la necesidad que tienen la industria manufacturera de ofrecer productos con ciclos de vida más corto, de mayor calidad y a más bajo costo, sus beneficios son innegables, especialmente cuando se logran integrar bajo un único sistema. Tampoco se puede ignorar el efecto de cambio que ha tenido en la forma de dirigir y organizar la producción.

B. BENEFICIOS Y PROBLEMAS DE LA AUTOMATIZACION

Para finales de los años 1980's los beneficios de la introducción de CIM en las industrias de manufactura eran estimados y algunos los tomaban con mucho escepticismo. Ebel (1990:11) presenta un ejemplo publicado en *Chemical Engineering* en 1988.

LOGRO	BENEFICIO
Volumen de producción	+ 10 %
Costos de mano de obra	- 5 a 20 %
Costos de producción	- 10 a 15 %
Inventario	- 20 %
Desperdicio	- 10 %
Tiempo de ciclo	- 50 %

Así mismo presenta los resultados obtenidos por la Oficina de Estudios de Manufactura del Concilio Nacional de Investigación de los Estados Unidos, en 1984, basándose en resultado obtenido en cinco casos de implementación parcial de CIM:

LOGRO	BENEFICIO	LOGRO	BENEFICIO
Costos de mano de obra	- 5 a 20 %	Tiempo de uso de equipo	+ 200 a 300 %
Costos de ingeniería	- 15 a 30 %	Calidad de producto	+ 200 a 500 %
Tiempo de ciclo	- 30 a 60 %	Productividad ingeniería	+ 300 a 3500 %
Trabajo en proceso	- 30 a 60 %	Volumen de producción	+ 40 a 70 %

1. Beneficios directos de tecnologías avanzadas de manufactura.

Cada una de las seis tecnologías de CIM ofrecen múltiples beneficios a la industria. Los más importantes se enuncian a continuación.

El principal beneficio de sistemas CAD es el incremento de la productividad desde el diseño, como resultado de ello la calidad misma del diseño se mejora, se reducen los costos por prototipos y el número de partes, y se mejora la documentación.

La producción celular y el uso de GT, conlleva el uso de menos componentes, un mayor aprovechamiento del equipo, y la reducción del costo y el tiempo de montaje.

Los sistemas de control de la producción (MP&CS) reducen el inventario y los errores en su control, los retrasos en las entregas, además logran una reducción del tiempo de ciclo y un manejo más seguro de las piezas y productos.

Los robots y el CAM ayudan a incrementar la productividad de la mano de obra, junto con la calidad del producto y la flexibilidad del proceso. El costo y tiempo de montaje, al igual que las necesidades de espacio, insumos, iluminación, etc. se reducen. Además pueden mejorar el ambiente de trabajo al asignarles tareas peligrosas, incómodas o de mucho estrés para el personal.

Cuando las seis tecnologías se unen en un sólo sistema, el resultado es una complementación sinérgica en la que los beneficios no se suman aritméticamente, sino que son amplificados geométricamente.

Beneficio de CIM = \sum Beneficios por Tecnología \times \sum Beneficios de Integración

2. Resultados de la automatización en diferentes países.

Tanto una encuesta conducida en la República Federal Alemana en 1987 presentada por Ebel (1990:41), como un estudio efectuado en Estados Unidos en 1989 y publicado por Farhoomand *et al* (1990:220), revelan las expectativas de la gerencia en ambos países. Es interesante ver la similitud entre ambos y la correlación que existe con los logros obtenidos. Los principales objetivos de la automatización en ambos países son técnicos y económicos, cubriendo factores como la reducción de tiempo de proceso y diseño, mayor flexibilidad, mayor calidad y consistencia, y reducción de costos fijos, de inventario y de mano de obra. Los resultados han llenado la mayoría de las expectativas de la gerencia, con beneficios adicionales en documentación, ambiente de trabajo y mejor control.

En la actualidad, los casos en los que se operan ambientes de CIM las ventajas han alcanzado e incluso superado a las estimadas a finales de la década pasada. Por ejemplo, Westinghouse aumentó la cantidad de circuitos impresos listos para envío sin necesidad de retrabajo de sólo 15 ó 20% hasta 95%, el tiempo de entrega se redujo de doce a dos semanas. Texas Instruments mejoró el rendimiento en 21%, la calidad en 20% y el tiempo de ciclo se redujo de cinco a tres días.

"*Transactions of Engineering Management Society*" de IEEE publicó un estudio realizado por Huang *et al* (1988:102), sobre la experiencia japonesa en la automatización. En Japón, la introducción de CIM no es una novedad, y las investigadores pudieron medir las estrategias, los beneficios y problemas encontrados por catorce industrias líderes en diferentes ramas.

A partir de una encuesta se determinó que los tres principales logros han sido la reducción del costo de mano de obra, incremento de la calidad y la flexibilidad de la

producción. Otros logros importantes son consistentes con la experiencia norteamericana al beneficiarse el tiempo de ciclo, el inventario y el rendimiento.

En la actualidad, la combinación de automatización y mejores técnicas de manufactura hacen que esta industria sea más eficiente y flexible, desempeñándose mejor ante las demandas del mercado por productos más baratos, de mejor calidad, entregados a tiempo y cuyos ciclos de vida son cada vez más cortos.

3. Problemas surgidos por la automatización.

Pese a los grandes beneficios que la automatización ofrece, es innegable que existen problemas tanto en su introducción como en su implementación. Farhoomand, Kira y Williams, en su estudio ya citado, analizaron los problemas previstos o temores de la gerencia hacia la automatización en los Estados Unidos. Dominan los problemas en la implementación en cuanto a apoyo técnico, financiamiento y diseño y depuración. La resistencia especialmente de los operarios se ve como un problema, pero no es la principal preocupación de la gerencia. En Japón, de acuerdo a Huang y Sakurai, la principal preocupación es el costo del equipo y el software, seguido por el tiempo de implementación y la capacitación del personal. La resistencia del personal no se ve como problema.

4. Justificación de CIM.

Es importante hacer notar que los beneficios de implementar CIM pueden ser aún más profundos si se consideran aquellos que los métodos actuales de contabilidad y de análisis de tasa interna de retorno (TIR) no son capaces de medir.

En Japón, donde se tiene una visión a largo plazo y donde los beneficios de la automatización no son discutibles, se encontró que se le da poca importancia al posible efecto negativo que a corto plazo puede provocar la introducción de CIM. Como justificación financiera se prefiere el tiempo de recuperación de la inversión con períodos en un

rango de dos a siete años. Esto se combina con tiempos cortos con la intención de estimular a los trabajadores y de financiar más proyectos de automatización.

Para lograr que CIM sea una inversión rentable hay que tomar en cuenta que el equipo a seleccionar debe acomodarse a las necesidades de la compañía sin que esto signifique lo más grande y sofisticado. Una forma de garantizar la selección apropiada es dando una mayor participación a los trabajadores, incluso promoviendo que la iniciativa surja de ellos mismos.

Los proyectos de automatización deben empezarse en las operaciones que prometen mayor éxito. El éxito temprano en proyectos de esta naturaleza no sólo es un incentivo para continuar, sino que empieza a generar recursos financieros.

Un punto que no debe ser olvidado es que una manufactura automatizada opera diferente a una tradicional, se necesita personal mejor capacitado en todos los departamentos. Con esto se logra un mejor diseño de productos, una mejor selección de proceso, un mejor conocimiento de los operadores y un apoyo mayor de parte de todo el personal.

Se puede afirmar que los beneficios de la automatización son mayores a nivel macro estratégico, que micro de operación. Por nivel micro de operación se entienden objetivos de desempeño de la empresa, tales como eficiencia, rentabilidad, productividad, etc. Nivel macro se refiere a participación en el mercado, satisfacción y lealtad de los clientes, en general objetivos estratégicos. La apropiada selección de AMT sí mostrará mejoras en los objetivos operacionales, pero no al grado que se benefician los estratégicos.

Es por ello que el proceso de selección debe incluir la definición de un plan estratégico que responda a la realidad de la empresa y su entorno. Se deben considerar factores como los valores de la empresa, su capacidad interna y las limitaciones del ambiente en que opera y el papel que juegan los diferentes participantes dentro de la

organización.

C. CONTROL JERARQUICO Y AUTOMATIZACION PROGRESIVA

Se ha dicho que para garantizar el éxito de un programa de automatización se debe formular un plan estratégico que sea ejecutado en forma progresiva. Para poder definir ese avance hacia la integración total es importante conocer lo que es el control jerárquico.

Un sistema de control jerárquico se dirige a la necesidad de alta eficiencia, productividad y calidad en un proceso automatizado. Struger (1985:2) lo describe mediante una pirámide como la de la gráfica 2.4:



GRAFICA 2.4. DISEÑO JERARQUICO (ARRIBA-ABAJO)

a. Nivel de máquina y proceso: Sus parámetros son adquiridos por sensores y la energía es controlada por dispositivos de salida.

b. Nivel de estación: Lleva a cabo los planes de control de máquinas y procesos individuales.

c. Nivel de célula: La operación de varias máquinas y procesos dentro de una célula de manufactura o estación de trabajo son coordinados.

d. Nivel de centro: Se logra la dirección y supervisión de varias células interrelacionadas.

e. Nivel de planta: Al nivel más alto de la pirámide se logra el control interno de la planta y la administración vigila la producción. Se integran los sistemas de manufactura y de empresa dentro de la misma organización.

La arquitectura de control jerárquico combina las ventajas del control distribuido y el control centralizado. Por control distribuido se entiende un control individual e

independiente en cada máquina o proceso. En el control centralizado, un gran sistema computarizado provee todo el control para la planta. El control jerárquico está hecho de capas sucesivas de control, cada una con su propia autonomía, pero bajo la decisión y supervisión de un nivel superior.

El resultado, la pirámide de control, ha abierto un amplio campo para tecnologías como los controladores programables, ampliando su desempeño como equipo independiente y sus habilidades de control y comunicación.

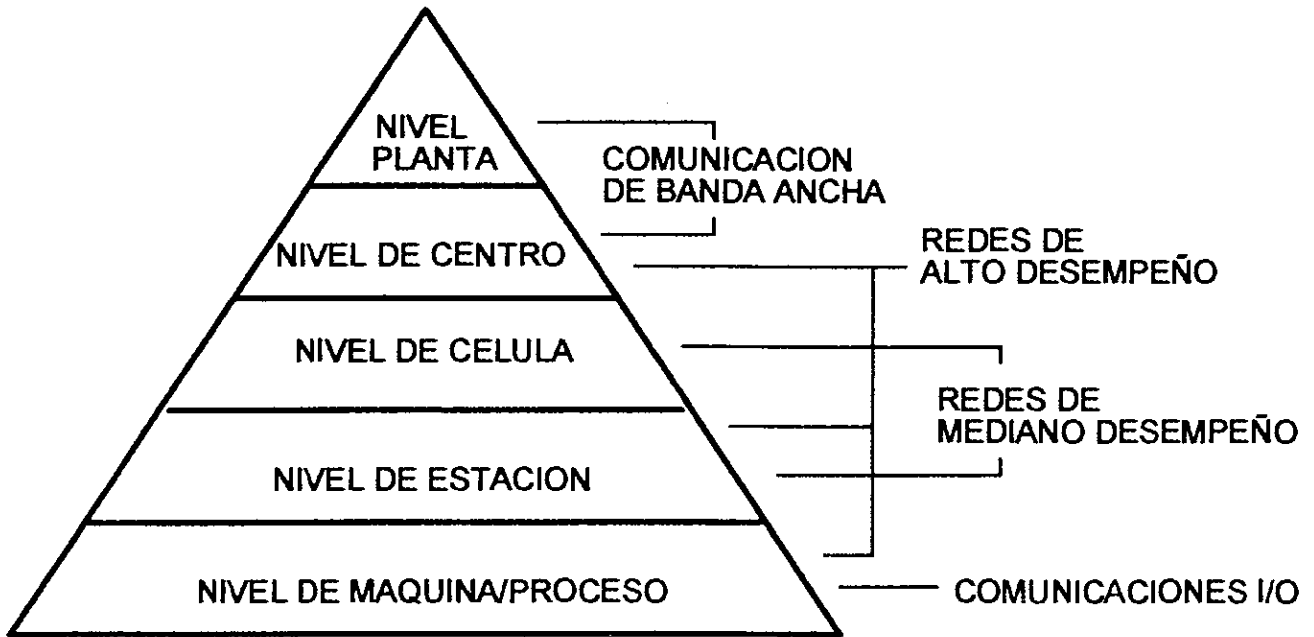
Un sexto nivel que puede agregarse en lo más alto de esta estructura jerárquica es el que trasciende a la misma empresa interconectándose con proveedores y clientes. No obstante es más bien una conexión entre sistemas de empresas distintas y no un nivel más de la integración interna.

1. Interconexión de los diferentes niveles dentro de la jerarquía

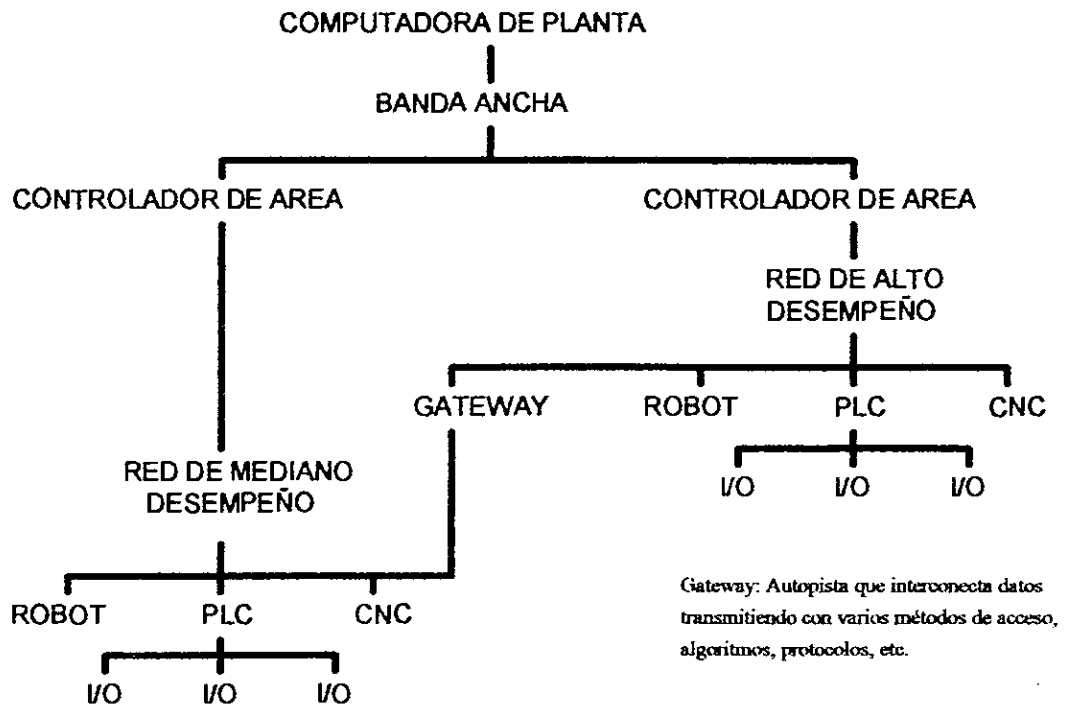
Los sistemas en una fábrica automatizada deben ser integrados para lograr uno sólo complejo, totalmente jerárquico y de control distribuido. Se dispone de diferentes sistemas de comunicación para poder interconectar todos los niveles de la pirámide.

Desde sistemas básicos de entrada y salida (I/O), tanto locales como remotos, al nivel de máquina y proceso, hasta comunicaciones de banda ancha (*broadband*) en la parte alta o nivel de planta.

De esto resulta una red de comunicación de la planta confiable y flexible. Como lo explica Struger (1985:2) en la gráfica 2.5 y lo muestra en el ejemplo de la gráfica 2.6.



GRAFICA 2.5. TIPOS DE COMUNICACION ENTRE NIVELES



GRAFICA 2.6. EJEMPLO DE UN CONTROL JERARQUICO

III. LA AUTOMATIZACION Y EL ENTORNO

A. Efectos socio-económicos de la automatización

Existe un sin número de estudios sobre el efecto que la introducción de tecnologías de automatización ha tendido en la forma de vida de los trabajadores y en la sociedad en general. Algunos ponderan más los efectos negativos, otros los beneficios y no faltan los que siendo más objetivos presentan ambos lados del problema. Todos ellos se apoyan en estadísticas y datos obtenidos directamente en las industrias donde se emplean AMT.

La primera realidad que se hace evidente es que estos sistemas han modificado la forma de vida de muchas personas y que los casos individuales varían en cada situación específica. No obstante se puede generalizar el enfoque dentro del cual la introducción de AMT ha producido mayores beneficios, tanto a nivel personal como al llenar las expectativas estratégicas de las empresas.

1. La orientación tecnocéntrica versus la etnocéntrica

Se puede generalizar al decir que existen dos enfoques principales. El tecnocéntrico trata gradualmente de reducir al mínimo la intervención del hombre en el proceso de producción, es la idea de la fábrica sin empleados y sin papel. El etnocéntrico ve en los trabajadores el elemento más flexible del sistema por lo que planifican los proyectos de automatización alrededor suyo.

Ambos postulados han sido ampliamente usados en empresas y se ha visto que aquellas cuyo acercamiento es más humano han sido más exitosas. Un caso concreto es la baja resistencia al cambio en la industria japonesa en la que los mismos empleados son promotores de AMT. Esto obedece a la gran estabilidad laboral que ofrece la inclusión de programas de capacitación y reubicación en las empresas. Por otro lado, tomar la reducción de costos de mano de obra directa como uno de los objetivos que justifiquen la

automatización, ha sido origen de muchos problemas e insatisfacción en proyectos norteamericanos y europeos.

Un caso de dos empresas análogas pero con concepciones diferentes ilustra lo anterior. La GM abrió en 1972 una planta en Ohio, EUA, diseñada para las máquinas y no la gente. Pese al alto grado de automatización y de inversión financiera la empresa fue un fracaso por el frecuente ausentismo, rotación de personal y baja calidad. Por otro lado, Nissan abrió la primera planta japonesa en Europa, en el Reino Unido, también contando con la más avanzada tecnología de automatización, logró superar sus metas de productividad y produjo los automóviles de más bajo costo en Europa. Nissan, a diferencia de GM, consideró al personal como parte de la solución, integrándolo tanto como a la tecnología.

2. El cambio del ambiente laboral por la introducción de AMT

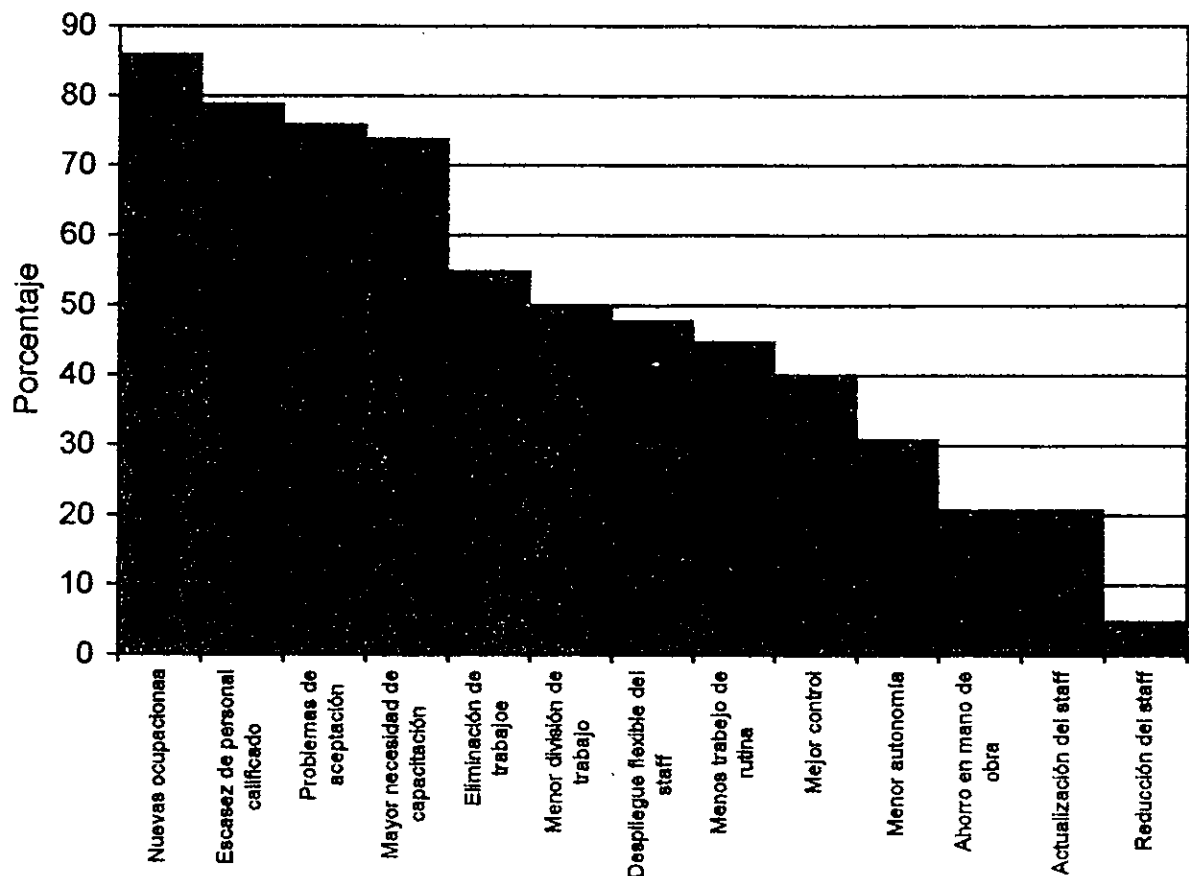
Es indiscutible que al introducir programas de automatización se han desplazado trabajadores, incluso en aquellos casos en que el enfoque ha sido más etnocéntrico. Sin embargo, lo que realmente ha ocurrido es un cambio en la estructura laboral, la automatización ha eliminado puestos de bajo valor agregado, tareas peligrosas, monótonas y donde personal poco calificado era empleado. A la vez han surgido nuevas ocupaciones, que requieren personal más calificado (escaso actualmente) y mejor pagado, que dando un mejor uso a sus capacidades logra mantener, operar, diseñar y administrar esta nueva estructura productiva.

Pese a la eliminación de muchos riesgos físicos, sigue existiendo un peligro potencial en las condiciones laborales. La responsabilidad que recae sobre cada persona y en consecuencia el estrés han aumentando por la reducción de la división del trabajo; se han detectado problemas físicos asociados a las largas horas que se pasan ante las computadoras y se ven reducidas las relaciones interpersonales por el incremento de las

comunicaciones electrónicas.

Este tipo de factores, muchas veces poco conocidos, deben ser tomados en cuenta al rediseñar los sistemas de producción en las industrias, de manera que el beneficio de incluir al hombre como parte de la solución no se revierta.

Gráfica 3.1. Modificación del ambiente de trabajo en Alemania



Un estudio citado por Ebel (1990:57) sobre la experiencia alemana en AMT, muestra cómo se ha modificado la organización y el ambiente de trabajo (Gráfica 3.1). En ella se puede ver que efectivamente la reducción de costos de mano de obra directa no es el único beneficio de estos programas, y en consecuencia éste no debiera ser el principal

objetivo de la automatización. No debe olvidarse que existen muchas tareas realizadas por la gente que difícilmente podrán ser reemplazadas por máquinas, especialmente aquellas que requieren un alto grado de creatividad y donde la experiencia y el conocimiento permiten decidir entre un gran número de variables que intervienen. La tecnología informática debe ser tomada como una herramienta complementaria que facilita el proceso humano de toma de decisiones pero no como su sustituto.

B. EFECTOS TECNOLOGICOS DE LA AUTOMATIZACION

La evolución de los sistemas de tecnologías avanzadas de manufactura se ha visto limitado por las restricciones que el software le impone. Actualmente las diferentes tecnologías que componen el espectro de la automatización son capaces de realizar tareas con una precisión nunca imaginada.

Es cada día más común ver ejemplos como: Complejos sistemas de manejo de materiales capaces de llevar las partes, ensambles o productos terminados al lugar preciso en el momento correcto, además de almacenarlos, ubicarlos y recuperarlos en bodegas. Unidades de producción que con bajos tiempos de montaje, alto rendimiento y niveles de variabilidad muy bajos, hacen económicamente rentables lotes cada vez más pequeños.

Es cuando se tratan de integrar estos subsistemas cuando el nivel actual de desarrollo del software presenta limitaciones. De acuerdo al Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), las dos principales fuentes de fracaso han sido el manejo de eventos raros (muchas veces pequeñas fallas técnicas) y los errores de operación que se amplifican en forma no esperada, que colapsan todo el sistema.

Para poder superar estos problemas se hace necesario avanzar en la estandarización ya que cada fabricante se ha convertido en dueño de su propio sistema operativo y protocolo de comunicación. Por otro lado se requiere un mayor desarrollo en lo que son sensores y análisis de datos para que la información sea más completa y confiable,

además de capacidades de procesamiento en tiempo real, que evite los problemas de actualización de bases de datos y le dé más flexibilidad al sistema.

En la actualidad se han hecho grandes avances en el desarrollo de computadoras que toleran fallas, sistemas de control que se adaptan o aprenden, sistemas expertos, precisión de sensores, almacenamiento masivo de datos y computadoras con velocidades de proceso más altas. No faltan quienes ven en los logros de la ciencia y la tecnología un adelanto tan grande que la industria que los requiere no ha sido capaz de aplicar. Pero, aún queda una gran brecha entre la tecnología disponible y lo que CIM pareciera requerir

C. EFECTOS DE LA AUTOMATIZACION EN LA EMPRESA

La actitud de la gerencia hacia la automatización varía y depende de la idiosincrasia y el enfoque que se le da. Pero también en este campo se puede distinguir una gran diferencia entre los que ven la automatización desde el punto de vista tecnocéntrico y los que la ven etnocéntricamente. La introducción de CIM requiere pensar en una estrategia a largo plazo, el dilema de cómo crear orden a partir de un caos inminente, la cuidadosa selección de equipo y el indiscutible cambio en la forma de producir, de manejar la empresa y en su misma estructura. Todas estas consideraciones están presentes en aquellos casos en que el enfoque ha sido menos tecnocéntrico.

1. Efecto en las condiciones gerenciales de la empresa por la introducción de CIM

Los objetivos y beneficios previstos por la gerencia al considerar la automatización en sus empresas se pueden resumir en reducción de costos, aumento de la capacidad y aumento en la calidad.

La ocurrencia de problemas potenciales se reducen significativamente si se considera el fin principal de integrar la automatización. CIM requiere sincronizar vertical y horizontalmente el flujo de información y materiales ente los departamentos, la gente, las máquinas y los procesos.

Para aprovechar al máximo el sistema se requiere una estructura más flexible, que responda rápidamente, con niveles de responsabilidad e información más distribuidos. Esto se complementa con un fuerte liderazgo de la alta gerencia y un método administrativo y de toma de decisiones más consultado y participativo.

La introducción de CIM en las industrias permite a la administración integrar funciones y tareas, crear nuevos empleos. Amplía y enriquece el contenido del trabajo, mejora la información y da más poder de decisión a los empleados.

La estructura de la empresa se orienta más al trabajo en equipo porque se reduce la división del trabajo, se eliminan tareas altamente especializadas y se depende más de funciones cruzadas, personal multidisciplinario, mejor comunicación y cooperación. En fin, los equipos funcionan más independientemente dando mejores resultados y una mayor autosatisfacción a sus integrantes.

Cuando una empresa se enfrenta con la decisión de iniciar un programa de automatización, descubre en la literatura grandes beneficios potenciales, tanto a nivel operacional como estratégico. Estos beneficios son muy atractivos pero muchas veces lo que no se menciona son las dificultades y fallas que se cometen al poner en marcha estos programas. Hay grandes dificultades tecnológicas, especialmente en lo que es software e interconexión, pese a los esfuerzos de organizaciones internacionales como ISO. Sin embargo, se acepta que la tecnología actual es capaz de dar, y ha dado, muchos de los beneficios proclamados por los textos de automatización. La mayor dificultad sin embargo, está en la falta de claridad y enfoque en los objetivos por los que se decide adoptar tecnologías avanzadas. Este es un serio problema de carácter gerencial.

Para lograr el potencial que la automatización ofrece, las organizaciones deben modificar su modo de plantear estrategias. Para formular una buena y enfocada estrategia corporativa y de manufactura es indispensable contar con un análisis comprensivo que

abarque la situación de la empresa en la industria y de sus recursos, una evaluación de las acciones de su competencia, las motivaciones y acciones de sus clientes hoy y en el futuro, y la valoración de sus principales fortalezas y debilidades.

El cambio también debe estar en la prioridad de atención que se le da a los diversos asuntos. Se ha visto que algunas de las principales causas de fracaso en programas de automatización son : a) una mayor preocupación por asuntos operativos minúsculos, b) Incumplimiento y sobre promesas de la literatura, c) manía por la tecnología, d) conflictos políticos y luchas de poder, con agendas ocultas y falta de compromiso de la gerencia, e) poco involucramiento del empleado junto con una pobre capacitación, y f) se automatizan actividades que no agregan valor (desperdicio mejor hecho).

Programas como Gestión de Calidad Total y sus herramientas pueden ampliar los beneficios de la automatización, incrementar la aceptación por parte de los obreros, y contar con un sistema de planificación estratégica que reduce la posibilidad de tomar decisiones equivocadas y sus efectos.

2. Automatización y planificación estratégica

La introducción de un programa de automatización debe ser progresiva, parte de un plan estratégico a largo plazo. Algunos puntos importantes a considerar en el proceso de planificación son:

a. El nivel de automatización que se quiere alcanzar en base a la competencia actual y potencial, así como las oportunidades que el mercado presenta.

b. Determinar formas de mejorar el proceso que no afectan directamente a los trabajadores y a un menor costo.

c. Seleccionar apropiadamente el equipo, sin olvidar soporte, requerimientos secundarios, y proyectos futuros.

d. Consultar a los involucrados, especialmente a los trabajadores, donde la

automatización contribuye más, tanto a la empresa como al personal. Además, esta apertura reduce la ansiedad y la resistencia al cambio.

e. Debe haber un fuerte liderazgo de parte de la alta gerencia. No basta con decidir invertir en el programa, se debe creer en él, compartiendo entusiasmo e información.

f. Como todo plan, el de introducción de CIM, debe tener metas claras, que no cambien y que sean de dominio general. Con ello se clarifica el beneficio del proyecto y se hace conciencia sobre él.

g. Hacer claramente al operario parte de los beneficiarios del sistema, entrenándolo, tomando en cuenta sus sugerencias y de ser necesario reubicándolo dentro de la misma empresa.

h. Monitorear y efectuar auditorías continuamente sobre el desempeño del sistema, no de la gente, tomando medidas correctivas y determinando las potenciales áreas de mejora.

La introducción de este tipo de programas tiene por objeto mejorar la empresa, no es un simple plan, es un proceso de mejora continua en el que las metas se actualizan constantemente.

Si se acepta que es necesario prestar mucha atención a los trabajadores para que CIM dé los frutos esperados, se hace evidente que el entrenamiento y capacitación de la fuerza laboral son claves. La falta de personal con experiencia y conocimiento del tema hace que la introducción de sistemas de manufactura integrados por computadora sea aún más difícil. La ausencia de una instrucción debida hace que el trabajo sea frustrante y que los problemas de mantenimiento afecten los costos de producción por los largos períodos de reparación.

Las mismas empresas deben incluir, como parte de su plan, tiempo y recursos a la capacitación de su gente. En este sentido, los proveedores de equipo y consultores

empresariales pueden dar el servicio al principio, pero se deben llegar a desarrollar programas propios de capacitación que construyan expertaje interno.

Una forma de lograr la instrucción dentro de la planta es aprovechando la experiencia empírica y el conocimiento de los mismos usuarios. Ellos pasan a ser parte del proceso de planificación, programación, montaje, operación y mantenimiento. El uso de sus conocimientos por medio de reuniones en las que los trabajadores se comunican verbalmente y deciden sobre estos temas reduce el nivel de computarización y los costos, hace al sistema más humano e incrementan la probabilidad de éxito en la empresa.

3. Factores a considerar por la alta gerencia de la empresa

Cuatro factores gerenciales claves resumen lo anterior y el tomarlos en cuenta determinará la velocidad a la que se implemente un programa de CIM y su éxito en la empresa.

a. La articulación de una estrategia de CIM que reconozca su impacto en la competitividad total de la empresa y no sólo el beneficio financiero a corto plazo. La contribución en términos de calidad, costo, flexibilidad y confiabilidad puede hacer determinante el éxito de la empresa.

b. La necesidad de involucrar a toda la empresa en la planificación de CIM, por medio de equipos multidisciplinarios que incluyan todas las funciones de la empresa con un fuerte liderazgo e involucramiento de la alta gerencia.

c. Reconocer que puede haber cambios en la estructura misma de la empresa y de los trabajos de la fuerza laboral para lograr el máximo aprovechamiento de CIM. La total automatización no es sólo una serie de tecnologías, es una nueva forma de pensar que necesita equipos formados por gente de distintos departamentos, personal más calificado en habilidades distintas a la producción misma y la reducción de la división del trabajo.

d. El reconocimiento que varios procedimientos, como los estándares de trabajo,

control de calidad, flujo y manejo de materiales, tienen que ser modificadas para apoyar las tecnologías de CIM.

D. JUSTIFICACION DE PROGRAMAS DE AUTOMATIZACION Y CIM

Como se ha visto anteriormente, es sumamente importante saber justificar un programa de automatización. Se mencionó que los beneficios a corto plazo muchas veces hacen que la inversión no sea financieramente justificable al usar los métodos tradicionales de contabilidad. Por otro lado se ha dicho que estos programas deben ser estratégicos y no sólo por objetivos, y que se debe tomar en cuenta el efecto que causarán en la organización misma.

Boaden et al (1990:295) han propuesto un procedimiento para justificar un proyecto de automatización. Con base en su trabajo se sugiere una serie de pasos a seguir para hacer una propuesta concreta que logre obtener los fondos necesarios para financiar el programa.

1. Diferentes tipos de justificación

Lo primero que hay que considerar es que la automatización afecta significativamente a la organización. De aquí que se puedan distinguir dos justificaciones distintas: la justificación del concepto y la del equipo. Cada una debe ser tratada separadamente para que sea acompañada de la información adecuada y se logre el propósito que cada una conlleva.

Es importante aclarar que no es lo mismo justificar la introducción de tecnologías de automatización (AMT) y la integración total (CIM), ya que para las primeras se dispone de literatura, estadísticas y casos concretos; mientras que para la segunda, la experiencia acumulada es mucho más limitada.

2. Pasos para desarrollar una justificación conceptual

La justificación conceptual de CIM busca mostrar a los altos ejecutivos de la

empresa que la inversión vale la pena. El grado de detalle diferirá en cada caso particular y dependerá de la experiencia que se tiene en materia de automatización, así como de la cultura de la empresa.

a. Comprender lo que significa CIM o las tecnologías de automatización a utilizar.

Dada la confusión que existe sobre lo que realmente significa el término, es clave dedicar todo el tiempo que sea necesario en estudio y discusión hasta que el concepto y sus implicaciones en la organización sean claramente entendidos por los involucrados en el desarrollo de la propuesta.

b. Definir cuál será el efecto de CIM en la organización. Más que la definición de CIM, lo importante es poder detectar la forma en que la empresa será afectada. En muchos casos se automatiza como reacción a la presión del mercado y no por iniciativa interna. Aún en esos casos, conocer la forma cómo será cambiada la empresa asegura que el proyecto sea exitoso y que un proceso progresivo dé soluciones donde más se necesitan y resultados tempranos.

c. Definir a los interesados e involucrarlos. Para que la justificación conceptual tenga el peso esperado es conveniente contar con el apoyo formal y escrito de todos los interesados. Para involucrarlos, no sólo deben formar parte de la definición de CIM, sino que también es útil que realicen análisis estratégicos de la posición de la organización con respecto a la competencia, y definir la posición que ocupará cada uno dentro de la integración.

d. Redactar la propuesta. El desarrollo de esta justificación no es un análisis superficial, puede requerir mucho tiempo porque es difícil medir y comprender los efectos. Una vez lograda la definición de la tecnología y establecida la forma en que la empresa se verá afectada, la propuesta debe ser redactada y dirigida a la alta gerencia.

3. Pasos para desarrollar la justificación del equipo

La justificación del equipo incluye un caso financiero para la inversión y los nexos de integración que se requieren. Esto último es importante, ya que una cosa es explicar las diferentes AMT que se utilizan y otra la forma en que se integran, es posible que parte de la integración no se haga por medio de computadoras. Los enlaces humanos pueden no tener un costo financiero adicional pero afectan la forma en que se organiza la empresa y esto es suficiente razón para ser parte del estudio.

La justificación del equipo, al igual que la conceptual, no debe quedarse en los beneficios directos que son cuantificables fácilmente. Existen efectos en la estructura de poder, la estructura organizacional y la moral e imagen de la empresa, que si se prevén pueden hacerse positivos.

Este estudio extenso, que también requiere de mucho tiempo, es una forma de garantizar el éxito de la implementación. Además, cubre una visión estratégica, considera la curva de aprendizaje, y maneja a la fuerza laboral en una forma especial, todos ellos factores que ayudan a llenar los beneficios potenciales.

a. Selección de tecnologías. La situación de la empresa debe ser estudiada para conocer las áreas que necesitan apoyo de computadoras. Se trabaja sobre los requerimientos hasta lograr identificar los sistemas más apropiados, el financiamiento necesario y su instalación.

b. Estudio para medir la percepción de las tecnologías seleccionadas. Luego de una persona o un pequeño grupo multidisciplinario analiza la literatura y experiencia previa sobre los beneficios potenciales de cada tecnología, formulan un cuestionario interno. Un juego de preguntas se pasa a los jefes de los departamentos que tienen algo que ver con el material. El objetivo es cuantificar los beneficios potenciales de cada AMT.

El uso de cuestionarios permite que las personas encuestadas dediquen suficiente

tiempo para hacer sus estimados en una forma más objetiva, que utilizando entrevistas directas. Es importante aclarar el objetivo del cuestionario previo a ser respondido, además conviene dejar una puerta abierta a comentarios y a beneficios adicionales a los citados.

c. Confirmar los resultados con entrevistas. La discusión de las respuestas con los jefes a quienes se dirigió el cuestionario, permite aclarar dudas y detectar beneficios y problemas potenciales ocultos.

d. Ampliación del cuestionario. Dependiendo del resultado de las entrevistas y de la encuesta puede ser necesario ampliar la investigación. Tanto en contenido, replanteando las preguntas o formulando nuevas, como en fuentes, dirigiéndose a departamentos no incluidos en la primera ronda. Este paso puede ser necesario repetirlo varias veces, pero es muy importante para obtener la mayor cantidad de información posible.

e. Análisis de resultados. Determinar el impacto financiero y de organización del proyecto. La cuantificación de los beneficios en términos monetarios es muchas veces difícil pero aun una estimación puede asegurar la asignación de fondos. Un criterio que se ha visto que es muy útil es el análisis de impacto a largo plazo, utilizando nomenclatura y herramientas contables diferentes a las tradicionales. Como parte del análisis se debe estimar el efecto de un cambio en las condiciones externas como es la reducción del volumen de ventas y el incremento de costos.

f. Combinar la información en un formato escrito. Este formato busca responder a preguntas como el por qué de la inversión, en qué consistirá y qué efectos producirá. Es una buena idea categorizar los resultados dividiéndolos en áreas de impacto (p. ej. reducción de costos, efecto en el mercado e intangibles) y dentro de cada área clarificar la relación entre las tecnologías y cada departamento involucrado. Este formato no es la tabulación de la investigación anterior, es una respuesta estratégica a los

cuestionamientos que los ejecutivos pueden tener, apoyada en información documentada que proviene de los mismos afectados. Una vez el documento está listo, los jefes de los departamentos que participaron deben respaldarlo por escrito.

g. Someter la justificación a aprobación formal. Antes de hacer la propuesta definitiva no es una mala idea hacer un escrutinio informal entre los altos ejecutivos.

Dada la naturaleza de la automatización, la recolección de información de calidad que respalde la propuesta es crítica. Tres de los mayores tropiezos que se presentan al tratar de justificar un proyecto de introducción de CIM son, en primer lugar, la dificultad de cuantificar concretamente los beneficios de la automatización, dada la poca experiencia que se tiene y su largo plazo; además los procedimientos de aprobación de fondos no se ajustan a esta tecnología, un esfuerzo especial deber realizarse porque obtener el sí sería aún más difícil, si primero se debe justificar el método. Finalmente, este tipo de proyectos son aprobados por altos ejecutivos de las empresas que generalmente no conocen la evolución de la tecnología o que han tenido experiencias negativas por malas prácticas de introducción de proyectos anteriores.

E. REGLAS Y PRECAUCIONES PARA UN PROGRAMA DE AUTOMATIZACION

Muchas empresas que han iniciado programas de automatización no han sido capaces de lograr los resultados planificados, mientras que otras han sido capaces de alcanzarlos y superarlos. ¿Qué diferencia a estos dos grupos de empresas? Un estudio realizado por Beatty (1993:58) identifica tres reglas de éxito que fueron determinantes en la implementación de programas de AMT. En cada una de ellas explica el elemento clave y un punto de precaución al respecto.

a. Alta tecnología de manufactura requiere de un campeón calificado. Esta persona es capaz de ejercer su liderazgo en beneficio del programa. Este campeón debe tener una mezcla de habilidades de ser visionario, resolver problemas e implementar. Visionario

para poder vender la idea a los demás y para mantener el interés y entusiasmo por el proyecto. La resolución de problemas por métodos y técnicas analíticas les permite manejar las situaciones y planificar el proyecto. Finalmente, en la implementación, este campeón tiene que ser capaz de convertir su visión en acción, de generar movimiento y mantener a la gente motivada.

PRECAUCIÓN con el campeón. Muchas veces los campeones de tecnología son técnicos entusiastas, lo que generalmente significa que carecen de las habilidades del buen líder. Esto hace imperativa la capacitación y formación de líderes técnicos para que su labor sea eficiente. Por otro lado, se corre un alto riesgo cuando el campeón carece del apoyo, tanto de sus superiores como de sus iguales. Esta persona cuenta con habilidades especiales, pero necesita el apoyo para avalar sus decisiones, para apoyo indirecto.

b. Planificar la integración de sistemas. Aunque es un tema ampliamente cubierto, muchas empresas no lo toman en serio. Si se tienen bases de datos aisladas, se requiere una operación humana para transferir la información, en ese momento los beneficios de la automatización se pierden. De esta manera es importante definir la forma en que la información será integrada. No se trata de contar con una única base de datos, sino de poder intercambiar información. Un punto crítico en este caso es la adquisición de equipo. Muchos proveedores ofrecen sus subsistemas con la promesa de compatibilidad, pero a la hora de conectarlos se tienen muchos problemas y altos costos. Es importante considerar estos factores en el momento de la compra, ya que se da un dilema entre mejor desempeño y compatibilidad.

PRECAUCIÓN: Es necesario planificar la compatibilidad. Aunque es cierto que es problemático conseguir subsistemas compatibles o proveedores únicos calificados para suplir todos los subsistemas. Es necesario que la alta dirección planifique estratégicamente sus requerimientos presentes y futuros para asegurar que la falta de compatibilidad

no sea un obstáculo para el proyecto.

c. Una mayor integración de la organización. Siendo uno de los objetivos principales de CIM la integración de las funciones de manufactura e incluso administración, no se puede delegar el proyecto a un departamento de ingeniería o de organización y métodos. La nueva tecnología demanda capacitación, apoyo y una adecuada selección. Eso sólo se puede lograr mediante grupos interdisciplinarios que implementen el proyecto. Los comités directivos y el apoyo de la alta gerencia nunca deben faltar, pero es especialmente crítico en la planificación y la toma de decisiones.

PRECAUCIÓN: En la mayoría de empresas existe una fuerte competencia entre divisiones, entre departamentos y entre individuos. La formación de equipos de trabajo busca aumentar el conocimiento y tomar decisiones con base en las necesidades de los beneficiados. Sin embargo, esto demanda un alto grado de cooperación, contrario a la estructura tradicional de la empresa. Por tanto, es peligroso formar equipos sin la apropiada capacitación en técnicas idóneas, ya que la gente participará con sus prejuicios organizacionales de competencia y luchas de poder.

IV. DEFINICION DE UN CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)

A. DEFINICION

1. Descripción y definición de un Controlador Programable

La *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* define en su estándar ICS3-1978, parte ICS3-304 el controlador programable como: "un aparato electrónico digital con una memoria programable para almacenamiento de instrucciones que implementan funciones específicas tales como lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritmética, para controlar máquinas y procesos".

Actualmente, por PLC se entiende una computadora industrial que ha sido fortalecida para operar en la hostilidad del ambiente encontrado en una fábrica. Resiste un amplio rango de temperatura (0 a 60°C), y de humedad (0 a 90%). Cuenta con un gabinete robusto y aislado para resistir interferencia electromagnética, suciedad, humedad y polvo. Además es capaz de soportar caídas de voltaje, sobrevoltajes y trascientes de línea. Los circuitos de memoria son respaldados por baterías. Sus instrucciones de programación son comandos lógicos, símbolos y mnemónicos que corresponden a diagramas de línea o escalera, diseñadas específicamente para control de máquinas y procesos industriales automatizados. Su versatilidad y confiabilidad los hace apropiados para casi cualquier aplicación.

Existen muchas marcas y modelos de controladores, pero su funcionamiento básico y arquitectura son los mismos. Esencialmente se distinguen tres secciones. Las entradas, la unidad de proceso y las salidas.

Su diseño permite recolectar información de transductores (como sensores de temperatura y presión), dispositivos accionados por máquinas, operadores o del proceso mismo (micro switches, teclados, niveles), u otros equipos a base de microprocesadores

(otros PLCs o unidades de control independiente).

Con toda la información recolectada, la unidad central de proceso (CPU) ejecuta una serie de operaciones lógicas programadas por el usuario, que afectan el estado de las salidas.

Las salidas pueden ser acciones (como ajuste o modificación del proceso), información para el operador (luces, alarmas y pantallas), o información para otros equipos con microprocesadores (valores y comandos de control).

2. Historia del Controlador Programable

En el desarrollo de sistemas de control eléctrico se identifican cuatro tecnologías dominantes:

1. De 1920 a 1950 los relés
2. Los equipos de estado sólido reinaron los siguientes veinte años
3. El controlador programable ha tenido su mayor impacto en los 80s y 90s
4. En el futuro próximo, controles jerárquicos distribuidos (ver capítulo 1) Esto incluye; inteligencia artificial y sistemas expertos, velocidades de proceso más altas, flexibilidad del software, ergonomía del lenguaje, integración del hardware.

El primer criterio de diseño para un Controlador Lógico Programable (PLC) fue especificado en 1968 por la división Hidromática de la empresa General Motors en Estados Unidos. La principal meta era eliminar el alto costo de los inflexibles sistemas de control por medio de relés. Las especificaciones de la GM reflejaban no sólo el sentimiento de muchos usuarios de control a base de relés de la industria automotriz, sino que prácticamente de todas las otras industrias manufactureras.

Se buscaba: Un sistema reusable de estado sólido para un ambiente industrial, con la flexibilidad de una computadora, y fácil de programar y mantener por los ingenieros y técnicos de la planta.

Según comenta Struger (1985:4) los objetivos principales de la General Motors fueron:

1. Debe ser fácil de programar y reprogramar, de preferencia en la misma planta
2. Debe ser fácil de mantener y reparar, de preferencia usando ensambles enchufables e indicadores de estado
3. Su operación debe ser más confiable que el control con relés, sin necesidad de equipo de soporte o ambientes especiales
4. Debe ser más pequeño en espacio y consumir menos energía eléctrica que un panel de control a base de relés
5. Debe ser capaz de pasar información a un sistema central de recolección de datos
6. Debe ser competitivo en costo con la tecnología disponible

Y las especificaciones técnicas eran:

1. Todas las entradas deben aceptar, DC o 115 VAC
2. Todas las salidas deben proveer 115 VAC @ 4 A
3. La unidad básica debe ser expandible con un mínimo de alteraciones al sistema y tiempo perdido
4. La memoria de programación debe ser no menor a 4K palabras

Los requerimientos de la GM fueron satisfechos y excedidos. Los resultados fueron tan buenos que muchos fabricantes de equipo de control vieron el potencial del mercado e iniciaron programas de investigación y desarrollo. Hoy los PLCs han llegado a un nivel tecnológico nunca imaginado por los ingenieros de General Motors.

De 1970 a 1974 la tecnología de microprocesadores añadió gran flexibilidad e inteligencia al PLC. Hoy, altas velocidades de procesamiento, operaciones de control avanzado, enlaces de comunicación y lenguajes de programación más ergonómicos, hacen del controlador una herramienta importante en las estrategias de control y de automatización de fábricas.

Gray (1985:8) explica que existen algunas tendencias generales identificables en el desarrollo del PLC, independiente de su tamaño, modelo y marca:

1. El equipo tiende a ser más resistente e inmune al ruido
2. Las unidades son intercambiables por medio de ensamblajes enchufables y diseño modular
3. Compatibilidad del equipo periférico a través de la estandarización de interfaces
4. Manejo más simple y facilidades de monitoreo. Indicadores de estado incorporados y funciones de autodiagnóstico
5. Capacidad de comunicación
6. Progreso en la estandarización de lenguajes de programación
7. El software y la programación del sistema se hace más sofisticado y versátil al utilizarse computadoras personales
8. Optimización de desempeño por medio de tecnologías de procesamiento paralelo y "multi-tasking"

En el mismo trabajo Gray (1985:8) puntualiza que el desarrollo de un PLC se enfoca en cinco puntos principales:

a. Seguridad y confianza del hardware del PLC. Esto se refiere a prácticas de diseño que buscan unidades de entrada/salida y fuentes de poder más confiables, enclaves más seguros, inclusión de medidas de protección mecánicas, desconexión automática y autodiagnósticos con indicadores LED, pruebas internas del CPU, memoria y transferencia de datos, monitoreo de tiempos, voltajes, cortos circuitos, etc.

b. Localización rápida de fallas. Con el fin de minimizar los paros resultados de fallas en los equipos periféricos, los PLCs pueden ser equipados con unidades de monitoreo que reconocen esas fallas y las reportan inmediatamente. Cuando ocurre una interrupción en la secuencia de control, el módulo compara los datos actuales contra los

valores deseados (programados o auto aprendidos) y reporta el error.

c. Facilidades de comunicación. La alta demanda por que la inteligencia del sistema sea distribuida y por la integración en la automatización, exige una estandarización de las comunicaciones. Concerniendo tanto al hardware como al software de transmisión. Con facilidades de comunicación, los controladores avanzan más en el control de procesos. Monitoreo, medición, anunciación, control y retroalimentación son acciones que pueden ser resueltas cada vez más eficientemente por PLCs.

d. Control PID. controles proporcional-integral-derivativo (PID) o de lazo cerrado se requieren en muchas máquinas y procesos. Estos pueden lograrse con soluciones de software ya sea por el CPU o por módulos periféricos especiales.

e. Control de posición. Una área marginal del control por medio de tecnología de PLCs es el control numérico (NC/CNC). Existen módulos periféricos especiales, y los controladores son usados como un medio de entrada de valores o en funciones de control de posición.

B. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE PLCs

Como muchas de las tecnologías disponibles en el mercado actual, los controladores programables al cumplir con su objetivo cuentan con grandes ventajas, pero a la vez, su complejidad es causa de desventajas.

Un PLC es una herramienta de alta flexibilidad y confiabilidad para el control de máquinas y procesos, lo que le ha dado una gran aceptación en la industria. Sin embargo, como toda tecnología de automatización, su uso debe ser parte de un programa integral que incluya; el entrenamiento e involucramiento de los trabajadores, metas claras, consistentes y de dominio general y un fuerte apoyo por parte de la gerencia.

1. Puntos de diferencia de un PLC

Inicialmente es importante establecer las diferencias entre los sistemas

electromecánicos y los PLCs, en base al análisis de Struger (1985:4) se puede decir:

a. El PLC depende de un sistema serial multiplexado basado en un programa de instrucciones almacenado. Estas son ejecutadas una por una. El control con relés opera en modo paralelo, sin ninguna demora.

b. Los PLCs almacenan las instrucciones en una memoria digital, en los sistemas electromecánicos la lógica viene del alambrado de interconexión.

c. Los sistemas de relés sólo pueden ejecutar funciones booleanas básicas si no cuentan con el soporte de dispositivos externos. Los controladores programables tienen muchas más funciones que las booleanas en un lenguaje de programación estructurado.

2. Ventajas de los Controladores Programables

Dentro de las ventajas de los PLCs se pueden mencionar:

a. De las diferencias básicas y de la definición de un controlador programable se desprende que la flexibilidad y el bajo costo de mantenimiento son sus principales ventajas.

b. Al ser el software el que realiza todo el control en el PLC, la circuitería, y consecuentemente el trabajo y costo, se reduce al eliminarse gran parte del alambrado y los relés.

c. Cuando surgen errores de funcionamiento, cambios de las especificaciones, o readecuación de componentes, gran parte de la solución es la actualización del programa, sin necesidad de realambrear toda la máquina.

d. Se facilita el control, búsqueda y eliminación de fallas en línea. También es posible cambiar los parámetros sin detener el proceso. Se ve que este tipo de cambio rápido, hace de los PLCs equipos muy flexibles.

e. Por ser una computadora de estado sólido la que realiza todo el control, se reducen significativamente los problemas con relés y alambres recalentados, gastados o

quemados, tornillos flojos, etc. Su alta confiabilidad reduce las necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo.

f. El uso de microprocesadores permite manejar gran cantidad de información. Esta puede provenir de entradas y cálculos de señales analógicas, digitales o discretas.

g. Existen ahorros en el espacio ocupados por los paneles de control al eliminarse la circuitería de control, y en el consumo de energía eléctrica (por ser equipo electrónico).

h. El proceso controlado es más consistente y se reduce la variabilidad, especialmente cuando se viene de un bajo nivel de automatización. Una vez probado el funcionamiento del software y la máquina es debidamente calibrada, el proceso se ve menos afectado por errores humanos.

La naturaleza serial por medio de multiplexación es otro punto de diferencia y gran ventaja del PLC sobre el control electromecánico.

Alambrado	Multiplexado
<ol style="list-style-type: none"> 1. Conexión física de punto a punto entre entrada y salida 2. Implica la instalación de gran cantidad de alambres, aún en instalaciones pequeñas 3. Es necesario calcular cantidad y calibres de cable, así como canalización 4. Es preferible separar la transmisión de señales analógicas y digitales. 5. Para ampliaciones primero hay que eliminar lo existente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay conexiones punto a punto 2. Solo se necesitan un par de alambres 3. El diseño de la instalación es más simple 4. Las señales analógicas y digitales se pueden transmitir en el mismo par de conductores 5. El sistema es expandible sin mayor cambio 6. El costo es mayor

3. Desventajas de los Controladores Programables

Las desventajas de los PLCs son resultado de su alta tecnología:

a. Se necesita personal especialmente entrenado para programar, diseñar, poner en marcha y mantener la máquina. Es muy importante entrenar a la gente, enseñándoles la lógica y el pensamiento que sustenta la programación y no únicamente cómo se programa un equipo en especial, porque un factor agravante es que, prácticamente, cada modelo tiene su propio y diferente juego de instrucciones.

b. El uso de PLCs puede ser una inversión alta. Aunque los beneficios son indiscutibles, y el costo es competitivo con el del control a base de relés, si exige una inversión inicial alta. Hay que tomar en cuenta que no solo se necesita el PLC sino que también unidades y/o software de programación y repuestos. Para reducir el impacto del costo conviene tener una política de automatización que cubra las necesidades a largo plazo, además el uso de una sola marca o familia de modo que el equipo de soporte sea compatible.

C. TIPOS DE APLICACIONES

Los controladores programables son de gran utilidad en operaciones cíclicas y repetitivas encontradas en procesos industriales secuenciales. Estas operaciones que inicialmente fueron realizadas por relés, stepping drums, temporizadores, y contadores, son logradas hoy en una forma más flexible y confiable gracias a esta tecnología introducida por la industria automotriz.

Los PLCs han encontrado aplicaciones en casi todas las industrias. Allí donde se están usando estos equipos toman decisiones lógicas, realizan funciones de temporización y conteo (incremental o decremental), llevan registros y secuencias, ejecutan operaciones aritméticas, generan reportes, manejan información, y buscan y corrigen errores.

Algunos fabricantes incluso han desarrollado módulos y equipos periféricos para

procesos específicos como textiles y bebidas. Por su flexibilidad, confiabilidad y capacidad de comunicación se han usado como base sobre la cual se implementan sistemas de automatización más complejos.

Se pueden establecer dos áreas generales de uso; la modernización de equipo ya existente, y el desarrollo de aplicaciones nuevas.

1. Modernización de maquinaria y equipo

Por modernización de equipo se entiende la sustitución de los sistemas antiguos de control de maquinaria ya existente. Sin necesidad de comprar una máquina completa se puede tener un proceso más confiable. La modernización puede verse limitada porque se cuenta con una estructura y un procedimiento de funcionamiento, predefinido. Sin embargo, es indiscutible que el equipo cumplirá por lo menos con su previa operación bajo condiciones de menor variabilidad, mayor eficiencia y por tanto, en forma más económica.

Jones (1983:101) define ciertos lineamientos a seguir ante un proyecto de modernización para garantizar que el resultado sea el esperado y se maximicen los resultados:

a. Comprender el funcionamiento actual de la máquina o el proceso. Es decir, determinar la secuencia de operación incluyendo funciones poco usadas y mecanismos de seguridad.

b. Revisar la operación lógica de la máquina y optimizarla. Muchas veces el control anterior cuenta con redundancias que el PLC elimina, requiere equipo auxiliar cuya función puede ser sustituida con comandos programados, o puede ser que estos mismos comandos cubran partes no incluidas en el sistema original.

c. Asignar direcciones reales e internas de entrada y salida (I/O). Del control optimizado se puede deducir la necesidad de equipo, y por tanto la asignación actual de direcciones. Para ello conviene seguir políticas propias de modo que la asignación

obedezca a cierta estética, haciendo el montaje y el mantenimiento más fácil.

d. Traduzca la implementación lógica a código de PLC. La codificación es más sencilla y confiable, ya que viene de una evaluación del control y de la preasignación de direcciones (evitando conflictos de duplicidad o faltantes).

2. Diseño de máquinas nuevas

Las aplicaciones nuevas son el otro grupo. Como su nombre lo indica, trata de diseñar un control totalmente nuevo. Este enfoque es utilizado por fabricantes de maquinaria, que venden sus equipos con PLCs incorporados, y por empresa que fabrican su maquinaria o amplían aquella con la que ya cuentan.

En este caso, Jones (1983:105) también sigue lineamientos generales para hacer más fácil la tarea.

a. Entender la descripción funcional del sistema en cuestión. En este caso es más difícil que la modernización, puesto que se tiene que diseñar todo el sistema. Esto representa definir claramente los estados de operación, puntos de compromiso, enclaves y seguridades, etc.

b. Revisar los métodos de control posibles y optimizar la operación del proceso. Muchas veces el proyecto puede ser redefinido como una secuencia de operaciones generales (transporte, horneado, perforación, molienda, etc.) cuyos métodos de control son conocidos o más fáciles de lograr. El control final puede lograrse a partir de la unión de todos ellos, luego de optimizar y eliminar redundancias.

c. Diagramar la operación del proceso. Como en otras disciplinas de la ingeniería, los diagramas de flujo son de gran utilidad ya que muestran gráficamente pasos y condiciones por las que pasa el proceso.

d. Implementar el diagrama de flujo por medio de diagramas lógicos o simbología de lógica de relés. La programación de un PLC se hace con base en cualquiera de estos

dos tipos de diagramas. Este paso, aunque puede ser tedioso o redundante, reduce los errores después.

e. Asignar direcciones reales e internas de entrada y salida (I/O). Ver modernización.

f. Traduzca la implementación lógica a código de PLC. Ver modernización.

V. ARQUITECTURA Y FAMILIAS DE PLCS

A. CARACTERISTICAS

1. Arquitectura de un sistema automatizado:

Un sistema automatizado completo consta de cuatro secciones: 1) la sección de entrada; que consiste en componentes que producen señales útiles. Estas provienen de condiciones mecánicas, manuales o automáticas y van conectados directamente a los puertos de entrada del PLC. 2) La sección de decisión; determina cuál es el trabajo que debe realizarse y en qué orden, partiendo de la lógica del circuito y la forma en que se conectan los dispositivos de control y el controlador. Básicamente es el programa y las funciones de control. 3) La sección de interfaces; consta de dispositivos capaces de convertir la señal de los puertos de salida en señales útiles, capaces de manejar la carga del sistema. 4) La sección de salida; es la carga del sistema y se compone de los dispositivos que han de actuar. En algunos casos los puertos de salida sí son capaces de manejar la carga por lo que son conectados directamente a ella. (Tabla 5.1)

2. Arquitectura general de un PLC

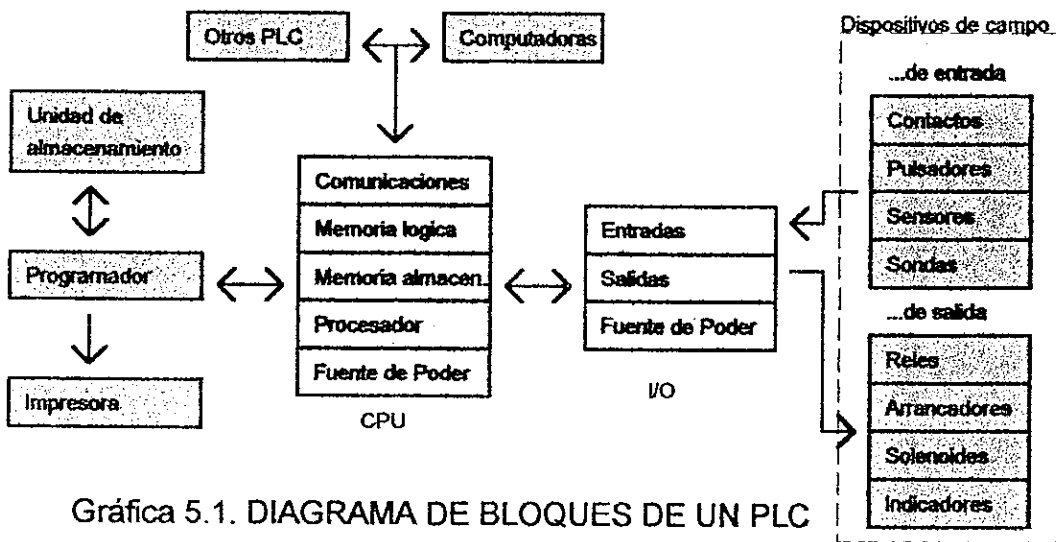
Como se mencionó con anterioridad, un PLC consta de tres secciones principales: 1) sus puertos de entrada, que reciben señales de comunicaciones, analógicas, digitales o discretas. 2) la unidad central de proceso, que incluye el microprocesador, la memoria lógica y de almacenamiento (con el programa y los registros), el control de multiplexado, y un módulo opcional de comunicación. 3) los puertos de salida, que mediante señales del mismo tipo que las entradas actúan sobre dispositivos de interface. A estas se puede añadir la unidad de programación, que en algunos casos está incorporada y en otros se enchufa al sistema.

SECCION DE ENTRADA	SECCION DE DECISION	SECCION DE INTERFASE	SECCION DE SALIDA
<u>Interruptores:</u>	<u>Funciones lógicas:</u>	<u>Relés y arrancadores:</u>	<u>Motores:</u>
Botoneras	On/Off	Electromecánicos y	Corriente alterna
Nivel	AND, OR, NOT,	de estado sólido	Corriente directa
Flujo	NOR, NAND	<u>Dispositivos</u>	Paso a paso
Temperatura	Flip-flop	<u>electrónicos</u>	<u>Fuerzas lineales:</u>
Presión	<u>Funciones de tiempo:</u>	SCR	Solenoides
Límite	On/Off, retardo,	Triacs	Pistones
Tambor	pulso, astables,	Diacs	<u>Información:</u>
Micros	biestables	Transistores	Luces
Fotoeléctrico	<u>Supervisión:</u>	<u>Convertidores de señal:</u>	Sirenas
Proximidad	Sobrecarga	CA a CC	Alarmas
<u>Comunicación:</u>	Secuencia	CC a CA	Instrumentos
RS 232	Bajo voltaje	Eléctrica a neumática	
RS 485	Máximo y mínimo	Eléctrica a hidráulica	
<u>Otros:</u>	<u>Control de movimiento:</u>	Válvulas	
Fusibles	Arranque y paro		
Termistores	Velocidad, jog/run		
Termocuplas	<u>Decisión:</u>		
Sensores	Tiempo, Contadores		
Contactos de relés			

TABLA 5.1. PARTES DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO

Comparando la configuración anterior se ve que un controlador industrial llena gran parte de las secciones de un sistema automatizado, complementándose con cargas periféricas.

Los módulos de entradas y salidas se pueden considerar como una sola unidad y son generalmente alimentados por una fuente de poder diferente a la del CPU. Esta separación física aísla a la unidad de central proceso de ruido y transientes asociados a las cargas y el alambrado como lo presentan Schuler *et al* (1986:429) en la gráfica 5.1.



Gráfica 5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PLC

B. EL CICLO DEL PROGRAMA

El funcionamiento de un PLC se basa en la multiplexación de las señales de entrada y salida, y la ejecución serial del programa (software). La alta velocidad de proceso gracias a la tecnología de microprocesadores permite que el tiempo total que transcurre entre la lectura de una señal de entrada hasta que cambia una salida no pase de unos pocos milisegundos. El CPU del controlador repite la misma secuencia en su ciclo de ejecución. Jones (1983:207) divide este ciclo en cinco tareas principales:

- a. Mantenimiento: Realizado al principio del ciclo, incluye actualización del valor

de temporizadores y evaluación de la memoria.

b. Input scan: Todas las entradas (de comunicación, analógicas, digitales y discretas) son leídas y sus valores almacenados en registros de memoria.

c. Ejecución del programa: El CPU ejecuta el programa de aplicación ingresado por el usuario, utilizando los valores que adquirió en el paso anterior.

d. Output scan: El resultado de la ejecución del programa afecta los registros de salida. El CPU envía esa nueva información a los módulos de salida respectivos.

e. Diagnóstico: Al final del ciclo, el CPU revisa que el programa se haya ejecutado satisfactoriamente y detecta cualquier falla.

El ciclo de ejecución puede incluir otras tareas tales como comunicaciones y servicios al programador. Su duración puede ser variable o fija. Usualmente es variable y tan corta como sea posible, pero en algunas aplicaciones se requiere que sea fija. También es importante tomar en cuenta que hay situaciones en las que algunas de las tareas son inhabilitadas para dar servicio, hacer diagnósticos o buscar fallas.

C. HARDWARE

A pesar de la gran cantidad de fabricantes de controladores programables, es posible identificar cierto grado de estandarización en las características de los módulos de entrada y salida.

Se encuentran en configuraciones de uno, dos, cuatro, ocho, dieciséis, y treinta y dos puntos por módulo. Su selección se basa en la aplicación. Si se utilizan módulos de pocos puntos, más unidades se hacen necesarias. Si se usa un tamaño mayor, pueden quedar muchos puntos libres. Por ejemplo, una aplicación con diecisiete dispositivos conectados, se puede resolver con nueve módulos dobles, quedando únicamente uno libre, tres unidades de ocho puntos con siete sin usar, o una de treinta y dos en la que quince puntos sobran. No existe una solución única, pero se deben considerar costos, espacio y planes

de ampliación.

1. Especificaciones de uso general en módulos de entrada/salida:

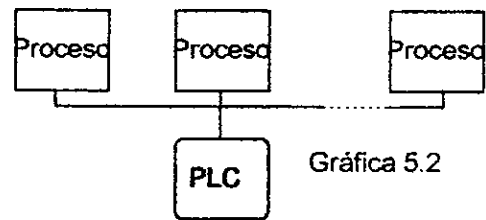
Las especificaciones eléctricas generales de los módulos son:

- | | | | |
|----|----------------------|--|-----------------|
| 1. | Entradas digitales: | 24 V AC/DC | 48 V AC/DC |
| | | 120 V AC/DC | 230 V AC/DC |
| | | Nivel TTL | Sin voltaje |
| | | Aisladas | |
| 2. | Entradas analógicas: | 4 a 20 mA | 0 a +1 V DC |
| | | 0 a +5 V DC | 0 a +10 V DC |
| | | +1 a +5 V DC | -5 a +5 V DC |
| | | -10 a +10 V DC | |
| 3. | Salidas digitales: | 12 a 48 V AC/DC | 120 V AC/DC |
| | | 230 V AC/DC | Contacto (relé) |
| | | Aisladas | Nivel TTL |
| 4. | Salidas analógicas: | 4 a 20 mA | 10 a 50 mA |
| | | 0 a +5 V DC | 0 a +10 V DC |
| | | +2.5 a -2.5 V DC | -5 a +5 V DC |
| | | -10 a +10 V DC | |
| 5. | Módulos especiales: | Control PID | |
| | | Control de temperatura con TC/RTD | |
| | | Comunicación serial | |
| | | Módulos de interface (OIT) | |
| | | Contadores - codificadores (5 VDC y 12 a 24 VDC) | |
| | | ASCII | |
| | | Control de posición | |

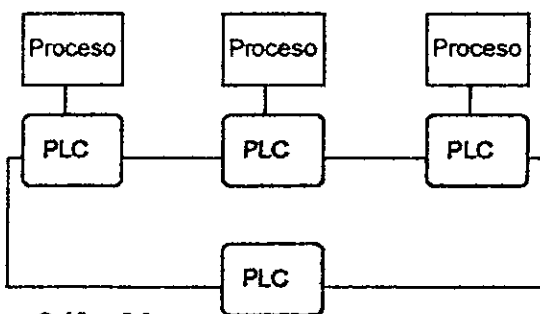
2. Capacidad de comunicación de los PLCs

Los PLCs utilizan protocolos de comunicación estándares como el RS-232, RS-422/485, o IEEE-488. En las gráficas 5.2 a 5.5 se ven algunas de las combinaciones de integración y configuración que son posibles gracias a esta capacidad de los controladores industriales. Estos ejemplos muestran las ventajas y la flexibilidad de estos equipos:

a. Se tiene un CPU controlando más de un proceso. La inversión es menor y se puede hacer progresiva.



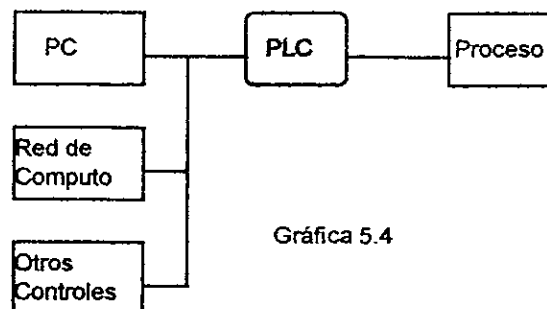
Gráfica 5.2



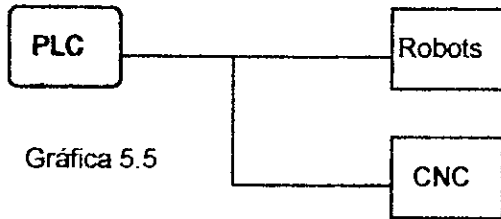
Gráfica 5.3

b. Se tienen varios PLCs en una configuración de red. Permite la integración de sistemas.

c. Se conectan PLCs a otros equipos como controladores autónomos o computadoras personales. La integración es mayor y se puede aprovechar equipo y sistemas ya existentes.



Gráfica 5.4

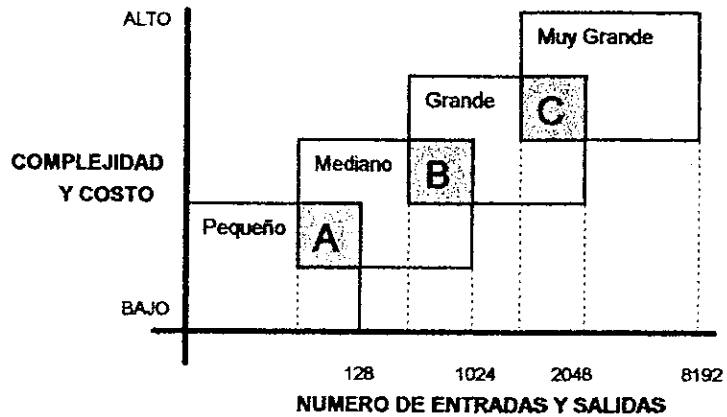


Gráfica 5.5

d. Marginalmente puede servir como mando de máquinas de control numérico (CNC/NC) y robots de tecnología intermedia.

D. FAMILIAS Y CLASIFICACION

Aunque los controladores programables son agrupados de diferentes maneras y en cada una la definición es relativa, en este caso se agrupan en términos del número de entradas y salidas con que cuentan.



Gráfica 5.6. FAMILIAS DE PLCs

Como se puede ver en la gráfica 5.6 sugerida por Jones (1983:239), el tamaño está relacionado con el costo y la complejidad del equipo. De esta forma se distinguen cuatro grupos:

a. Pequeño: Se encuentra en aplicaciones en las que la lógica secuencial y de temporización requieren un control de encendido y apagado. Usualmente son controladores de una sola pieza (*single board*) y dentro de sus características típicas se tiene:

- Un máximo de 128 I/O
- Reemplaza únicamente el control por relés
- I/O digitales
- Procesador de 4 u 8 bits
- Memoria de hasta 2K
- I/O local

- Temporizadores, contadores y registros de corrimiento (TCR)
- Temporizadores de tambor o secuenciadores
- Relé de control maestro (MCR)
- Programadores de mano

b. Mediano: Se aplica cuando más de 128 entradas y salidas son necesarias, cuando se requiere control analógico o manipulación de datos y funciones aritméticas. Sus características incluyen o mejoran las de la categoría anterior y además tienen:

- Un máximo de 1024 I/O
- Control analógico
- I/O digitales y analógicas
- Saltos
- Manipulación de datos por comparación, conversión, movimiento y matrices
- Un puerto RS 232
- Redes locales LAN (local area network)
- Procesador de 8 bits
- Memoria de 4K a 8K
- I/O locales y remotas
- Módulos I/O especiales
- Funciones matemáticas de suma, resta, multiplicación y división
- Programadores CRT

c. Grande: Usado cuando es necesaria una manipulación extensiva de datos, así como una recolección y reporte de datos. Además realiza cálculos numéricos más complejos. En este caso las características son más amplias llegando a tener:

- Hasta 2048 I/O
- Memoria de 12K a 32K
- A las funciones matemáticas se agregan raíces cuadradas y números de doble precisión
- Procesador de 8 a 16 bits
- Subrutinas e interrupciones
- En la manipulación de datos se cuenta también con transferencia en bloque, tablas binarias y ASCII

- Control PID en hardware y software
- Más de un puerto de comunicación
- Módulo de comunicación con una computadora HOST

d. Muy grande: Util en aplicaciones en las que el control y la recolección de datos son sofisticados. Sobresalen entre sus características:

- Un total de 8192 I/O
- Memoria de 64K a 128K
- Módulos remotos especiales
- En la manipulación de datos se cuenta con LIFO y FIFO
- Procesador de 16 bits o paralelo
- Módulos analógicos especiales
- Diagnóstico de máquina
- Operaciones matemáticas de punto flotante y trigonométricas

Estos grupos se entrelazan en las áreas sombreadas de la gráfica 4 (A, B y C). En estas zonas se encuentran PLCs que son superiores a la mayoría de la categoría inferior pero no llegan a las características de la inmediata superior. Por ejemplo, un equipo en la zona A puede ser en general "pequeño", pero con capacidad de control analógico, característica de los "medianos".

E. SELECCION DE UN SISTEMA BASADO EN UN PLC

A pesar de que las aplicaciones de los PLCs son casi ilimitadas, existen casos en que otros equipos suplementarios pueden realizar la tarea deseada en una forma más eficiente, como las CNC, o más económicamente, como controles especializados de temperatura. De aquí que se hace importante determinar las necesidades y evaluar si el PLC es la mejor solución.

Sin embargo, una vez que se determina que un PLC es lo que se desea, es necesario diseñar su configuración. La configuración final y total depende principalmente de los requerimientos de entradas y salidas (I/O). En consecuencia ésta es la primera cosa que debe ser examinada.

1. Determinación de necesidades de entradas y salidas

Tres factores deben ser considerados para definir apropiadamente los requerimientos de I/O.

a. La localización de los dispositivos de entrada y salida con respecto a la localización del procesador. Mientras los módulos locales mantienen al sistema junto, los remotos pueden ser menos costosos por requerir menos alambrado.

b. El tipo de módulos de interface I/O. Es muy común el utilizar más de una clase, pero debiera tratarse de tener la menor variedad posible. El tipo de carga (solenoides, dispositivos electrónicos, sensores de medición y otros controles especiales) y sus especificaciones eléctricas deben ser tomados en consideración.

c. La cantidad de cada tipo de módulo. El número de unidades de interface requerida debe ser contada de acuerdo a la función (entrada o salida), así como al voltaje y la operación.

2. Determinación del Controlador Programable más apropiado

La selección final del controlador, o por lo menos de sus especificaciones y clase, es determinada por tres puntos principales, en adición al costo.

a. La cantidad de dispositivos de entrada y salida físicamente conectados. Este debe ser suficiente para manejar los requerimientos de I/O del sistema. Una buena práctica de diseño es agregar por lo menos un 20% para expansión.

b. La cantidad de memoria del procesador. Cada fabricante sugiere la cantidad de memoria a partir de la aplicación y el número de puntos de entrada y salida. Este oscila entre ocho y dieciséis palabras por cada punto instalado en el sistema. Por ejemplo, si han de usarse diez palabras de memoria por punto, y el sistema consta de 230 puntos de entrada y 147 de salida, en total se tienen 377 I/Os lo que implica una memoria de 3770 palabras.

c. El juego de instrucciones. Una de las diferencias más marcadas entre la mayoría de los controladores programables y la computadoras normales es el lenguaje de programación. Este está diseñado para una clientela especializada. Se basa en diagramas de escalera de relés y cubre desde operaciones básicas de relevación, tiempo, conteo y retención de valores hasta complejas y especializadas funciones como el control PID y las comunicaciones. Como una regla general se puede decir que los modelos más grandes ofrecen un juego de instrucciones más sofisticado.

Los puntos finales a ser seleccionados con la aplicación de un PLC son los equipos periféricos o de soporte. El principal componente periférico es la terminal de programación. Otras herramientas de gran utilidad disponibles son dispositivo de almacenamiento de memoria y reserva (cintas, discos, EPROMs), impresoras, terminales de interface con el usuario, interfaces de redes y coprocesadores.

F. CONFIGURACION DE ENTRADAS Y SALIDAS

Anteriormente se mencionó que de la definición de entradas y salidas depende la selección final del equipo. En esta sección se presenta un procedimiento que permite hacer esa evaluación. Los cuatro pasos permiten traducir las necesidades de la máquina o proceso en cantidades y tipos de módulos de entradas y salidas.

a. Para una apropiada selección del hardware de entradas y salidas y su implementación es obligado definir los requisitos de control del sistema. La información debe ser recolectada de los operarios, el personal de producción, la gente de mantenimiento y aquellos que están a cargo de los montajes e instalaciones. Los resultados han de producir una especificación del sistema en un documento que detalle los requisitos generales de diseño y operación

b. Elegir entre una configuración de entradas y salidas local, remota o combinada. Para ello es una buena idea conocer la localización, la función y la cantidad de los

dispositivos de entradas y salidas. Luego se acomodan en grupos funcionales basados en su proximidad o en la similitud de su función de control. Si hay suficientes grupos, una configuración remota total o parcial puede ser económicamente factible.

Una tercer opción es el procesamiento paralelo; utilizando PLC más pequeños pero interconectados formando una LAN (red local) industrial o *PC data highways*.

Si se están considerando algunos modelos de controlador, el agrupamiento debe revisarse y modificarse si es necesario para satisfacer la arquitectura de canales de los mismos. Si el diseño no está restringido por ningún modelo específico, la asignación de canales es igualmente útil y puede ser usada posteriormente como un requisito de compra.

c. El próximo paso, aunque simple, puede consumir mucho tiempo y necesita gran cantidad de información sobre los productos disponibles.

c.i. Liste la clase y cantidad de dispositivos de entrada y salida de cada tipo funcional. Una tabla puede ser muy útil.

Dispositivo de entrada/salida	Grupo 1 local cant./espec.	Grupo 1 remoto cant./espec.
Motor FVNR	10/120 VAC	—
Pulsador	26/120 VAC	14/12 VDC
:	:	:
ETC.	ETC.	ETC.

c.ii. Convierta el paso anterior en una lista ordenada y totalizada de cada tipo específico de punto de I/O por grupo funcional.

Modulo I/O tipo	Grupo 1 local puntos	Grupo 1 remoto puntos
Entrada discreta 120 VAC	Ninguno	10 contactos audiares 23 fotoceldas 33 en total
Salida datos 5 VCC	15 LED display de 4 decadas	4 LED display de 4 decadas
:	:	:
ETC.	ETC.	ETC.

c.iii. Asigne el número de canales de entrada y salida por grupo funcional. Es muy útil separar canales discretos de canales de datos.

c.iv. Seleccione los componentes I/O reales. El número de diferentes módulos, tarjetas de montaje, nexos de comunicación, etc.

El diseño de la configuración de entradas y salidas se mejora si algunos modelos de PLCs están siendo considerados. Si este es el caso, el proceso debe ser repetido para cada opción. El precio de cada fórmula, junto con los requisitos de equipo para instalarlo y darle soporte determinará cual es la mejor opción.

d. Un paso final y muy importante son los diagramas de I/O mostrando la función de cada dispositivo de entrada o salida conectado, así como la conexión e identificación de dispositivos, módulos, alambres, cajas de conexión o terminales, etc.

VI. PROGRAMACION

A. PROCESO DE DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA PLC

El proceso sugerido por Sloan (1987:44) consiste en diez pasos lógicos que permiten diseñar e implementar un algoritmo apropiado para la aplicación deseada reduciendo el número y tipo de cambios luego de la puesta en marcha. Aunque puede parecer un proceso lento y engorroso, se basa en el principio de que una buena planificación simplifica la ejecución, en otras palabras es más efectivo y barato invertir más recursos en el diseño que en la implementación. Una sugerencia antes de decidirse a usar el método es seleccionar un proceso a automatizar que sea sencillo y que sea familiar al responsable de la programación.

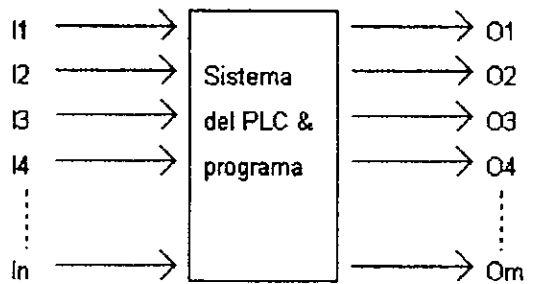
1. Definir el problema:

Es importante que defina exactamente lo que se espera que el sistema de PLC haga. Cualquier ambigüedad aquí será acarreada y multiplicada a lo largo del proceso. Para hacer una buena definición es indispensable involucrar a los usuarios y beneficiados del proyecto de modo que se puedan conocer sus necesidades, sus limitaciones y sus métodos de operación. Generalmente el equipo encargado de la automatización es diferente al responsable del proceso, es así que sólo haciendo partícipes a todos se puede asegurar que se conoce el propósito del sistema. Para evitar la ambigüedad es conveniente recurrir a definiciones operativas. Deming (1993:108) dice que "una definición operativa es un procedimiento de mutuo acuerdo para traducir un concepto en algún tipo de medición".

2. Describir el desempeño externo del sistema:

Con una clara definición del problema todas las entradas y salidas externas pueden ser extraídas. Es más fácil de hacer un listado o un diagrama como el del gráfica 6.1 con las entradas a la izquierda y las salidas a la derecha. ¿Pero qué son salidas y entradas?

Entradas son todas aquellas cosas que vamos a usar para controlar el proceso, son llamadas también Variables Primarias. Salidas cubren cualquier cosa que vamos a controlar con el programa.



Gráfica6.1. Diagrama de entradas y salidas

Existe otra clase de variable que debe ser incluida, contadores, banderas de estado y temporizadores. Aunque son internos al PLC pueden considerarse como entradas tanto como salidas del sistema.

3. Definir el desempeño interno del sistema:

Examinando de cerca la definición del problema, los estados discretos o combinaciones únicas de condiciones de salida se hacen obvias. Estos estados son discretos y definen intervalos, diferentes uno de los otros, a través de los cuales pasará el sistema. Siempre hay un estado inicial o de arranque, ese es el punto donde se empieza. Debe haber un número par de estados, si no es así se añade un estado "tonto" o estado que no hace nada.

4. Dibujar el diagrama de estado del proceso:

Dibuje un diagrama simple donde muestre el flujo de control del sistema de un estado a otro, donde cada estado puede ser representado por un círculo [O] o un cuadrado [□]. Póngales un título a todos las funciones de cada estado, así como las salidas que estarán encendidas durante ese estado. Una cada estado con flechas donde diga cómo es la secuencia del sistema. Junto a cada flecha titule aquellas variables primarias que provocarán que ocurra la transición de un estado previo al siguiente.

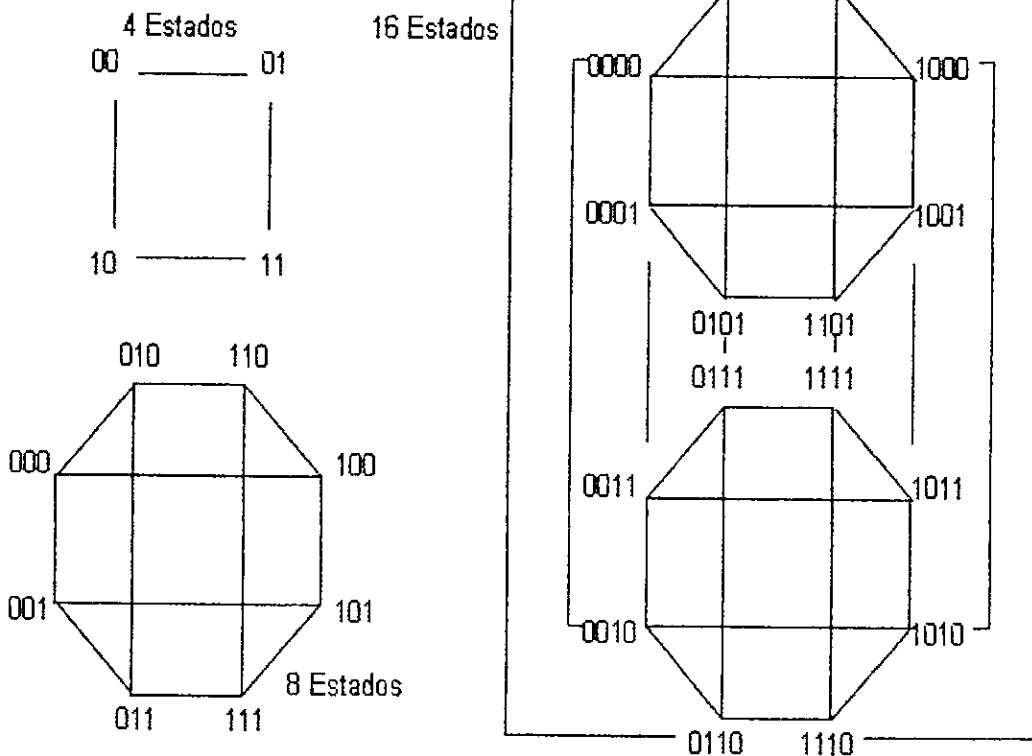
5. Titular cada estado con un código RUN FREE CODE:

Una dirección especial debe asignarse a cada estado. Estos códigos binarios, como el

de Gray de la gráfica 6.2, diferencian cada estado de los demás de un modo que cuando se pasa de un estado a otro sólo cambia un bit.

Estos *RUN FREE CODES* se conocen como variables secundarias. Ellas en conjunto con las variables primarias causarán la correcta transición de estado a estado siempre y sólo siempre y cuando se presente la combinación correcta de variables primarias y secundarias.

Gráfica 6.2 Código Binario de Gray



6. Obtener las ecuaciones secundarias:

Una combinación específica de variables primarias y secundarias debe ocurrir antes de que el sistema pueda moverse de un estado a otro, en la secuencia correcta. Las variables combinadas en una ecuación apropiada forman una condición única o

permissiva. Estas ecuaciones son conocidas como ecuaciones secundarias porque hacen que las variables secundarias se enciendan y apaguen. En otras palabras, cada variable secundaria tendrá dos ecuaciones secundarias, una para encenderla y otra para apagarla.

Examinando el diagrama de estado se pueden determinar todas las condiciones que provocaran que la variable secundaria cambie de 0 a 1, ó de 1 a 0. Por condiciones se entienden aquellos eventos que consisten en entradas internas combinadas con variables secundarias estáticas que ocurren en un estado particular y que causan que una variable secundaria cambie.

Por ejemplo:

Variable	Condición de encendido	Condición de apagado
A	$B=0 \ \& \ IED \ 0$	$B=0 \ \& \ IE \ 0$
	$B=1 \ \& \ IL$	$B=1 \ \& \ IES$
B	$A=0 \ \& \ (IS \ 0 \ C1) \ 0$	$A=0 \ \& \ IES$
	$A=1 \ \& \ IES$	$A=1 \ \& \ T1$

En forma Booleana se dice:

$$\text{Enciende A} = (B' \times IED) + (B \times IL)$$

$$\text{Apaga A} = (B' \times IE) + (B \times IES)$$

$$\text{Enciende B} = (A' \times (IS + C1)) + (A \times IES)$$

$$\text{Apaga B} = (A' \times IES) + (A \times T1)$$

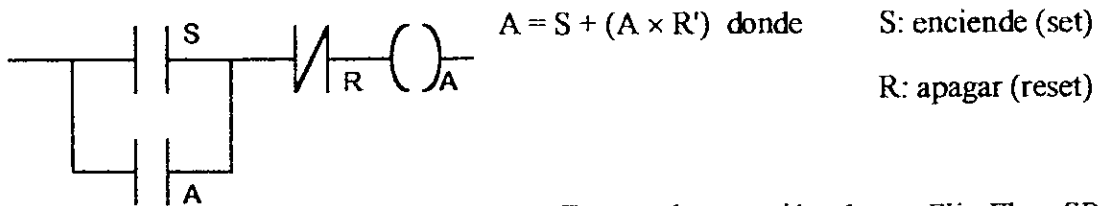
Nota: IE, IED, IL e IS son entradas, A y B son variables secundarias, C1 es un contador, T1 es un temporizador.

La reducción booleana posterior es opcional ya que en la forma actual se forma utiliza un poco más de memoria.

Estas ecuaciones son combinacionales por naturaleza. Ellas no tienen forma de "recordar" una condición previa. Un último paso las convierte en secuenciales (variación

de retención).

Con el fin de programar el PLC con lógica de escalera, la siguiente ecuación secuencial servirá como modelo:



Esta es la ecuación de un Flip-Flop SR o una estación manual de arranque/paro. Se pueden usar ecuaciones de otro tipo de Flip-Flop.

Sustituyendo la S y la R por las ecuaciones de Encender A y Apagar A respectivamente obtenemos la ecuación secuencial para A. Lo mismo hay que hacer con B y cualquier otra variable secundaria.

Estas ecuaciones secundarias harán que las variables secundarias se enciendan y apaguen acorde a la correcta combinación de estradas externas y variables secundarias. Esto hará que el PLC conmute de un estado a otro en la secuencia correcta.

7. Eliminar las operaciones de apagado mediante las ecuaciones de Morgan

(Opcional)

Es un paso opcional pero puede ayudar a eliminar un nivel extra de la lógica al convertir las operaciones negadas de apagar en un único contenido de la escalera lógica.

En otras palabras, para lograr usar solo una sección por variable secundaria es necesario que cada variable no tenga negaciones que abarquen otras variables.

$$((x' + y) \cdot z)' = (x' + y)' + z' = xy' + z'$$

8. Derivar las ecuaciones de salida

Derivar las ecuaciones de salida es algo simple. A partir del diagrama de estado es fácil notar uno o más dispositivos se encienden en cada estado. Ya que cada estado tiene

una dirección única (variables secundarias) todo lo que tiene que hacer es decodificar la dirección y usarla para encender el dispositivo apropiado.

Media vez nos mantengamos en ese estado ese dispositivo permanece encendido. Cuando la ecuación secundaria decide avanzar, la dirección se cambia a un nuevo estado y los dispositivos se apagan.

9. Convertir la lógica Booleana en diagramas de escalera

10. Convertir las ecuaciones de salida en un diagrama de escalera

Los escalones de salida y de variables secundarias en el diagrama de escalera completan el diseño. Aunque el método puede parecer tedioso es reconocido en el campo de las ciencias de la computación que entre más tiempo se dedique a la planificación de la codificación, se pasa menos tiempo en depuración. El modelo se basa en la similitud entre programar un PLC y circuitos lógicos asíncronos.

B. UNIDADES DE PROGRAMACION

La terminal de programación es una unidad que acepta los comandos del usuario, los convierte en una forma que pueda entender el procesador, y luego los coloca en la posición adecuada de memoria. Funciones complementarias de la terminal son revisión de memoria, almacenamiento de reserva (*back up*) en PROMS y medios magnéticos, e impresión.

Los programadores pueden ser unidades de mano, computadoras portátiles, unidades CRT, o computadoras de escritorio.

1. Modos de programación

Los programadores pueden operar en diferentes modos. Generalizando se pueden distinguir tres. Está el "modo de programación" que permite al usuario leer, modificar, añadir, borrar o cambiar, el contenido de la memoria del procesador. Si cualquier forma de cambiar el programa es inhabilitada, la operación se llama "modo de monitoreo". Una

forma más de operación es el "modo ejecutivo o supervisor". Este último modo afecta la operación con funciones especiales como paro, arranque, inicialización, etc.

La programación en cualquiera de los modos anteriores se puede realizar en línea o fuera de línea. La programación fuera de línea requiere que el procesador detenga el ciclo de ejecución del programa y apague todas las salidas. Esta forma es segura y previene accidentes provocados por entradas incorrectas de datos. La programación en línea permite al usuario afectar la memoria del controlador mientras éste está en operación. Si el usuario no es atento pueden ocurrir daños severos y accidentes serios.

Una variante a este modo es la programación en línea en dos pasos. De esta forma el usuario puede modificar el programa y ver el resultado antes de que la memoria se actualice formalmente. En un primer paso, el programa es cargado en la unidad de programación y es en ella donde se modifica. Los valores de entrada provienen de las entradas físicas, pero las salidas quedan a nivel de pantalla. A la vez que el usuario analiza los cambios, el equipo continúa funcionando independientemente con el programa original. Si todo está bien, la memoria es actualizada en un segundo paso.

Especial cuidado debe tomarse cuando un programa es modificado tanto en operación fuera de línea como en línea. Es fundamental conocer bien el equipo, los dispositivos de las salidas, si los temporizadores y contadores se ponen a cero, y los cambios que ocurrirán en la operación del sistema automatizado. Daños serios al equipo y accidentes personales pueden ocurrir si se sigue un procedimiento descuidado.

Antes de programar o modificar un programa, es una buena práctica tomar el tiempo necesario para conocer y dominar reglas de sintaxis, instrucciones especiales del sistema operativo, así como el funcionamiento de la unidad de programación y de cada una de sus teclas. Este esfuerzo se traduce en prevención de errores y una ayuda al usuario para aprovechar al máximo el equipo.

C. DOCUMENTACION DEL PROGRAMA

La documentación del programa es tan importante como los planos y diagramas del equipo. Sin embargo, usualmente se olvida o no se le da la importancia debida porque no afecta directamente el alambrado, la compra de materiales y la puesta en marcha. La documentación es muy apreciada cuando se buscan fallas o se actualiza el sistema.

Muchos fabricantes de controladores programables incluyen en sus equipos terminales de programación con capacidad de imprimir copias de la memoria (programa, registros, etc.), y listas de referencia cruzada de los puntos de entradas y salidas.

Pese a que hay avanzados paquetes de software para computadoras y equipos de soporte que facilitan la documentación, éstos no dejan de ser herramientas que manipulan la información. Queda en manos del programador dedicar tiempo para completar información como asignaciones de direcciones y comentarios. Aún cuando no se dispone de apoyos especiales, que muchas veces son sistemas muy caros, no deja de ser importante la documentación aunque sea hecha a mano.

A continuación se sugieren un modo de documentar un sistema que combina los dos sugeridos Jones (1983:308).

1. Identificación del programa y del sistema: Utilizando un título principal y subtítulos donde sea apropiado dar un nombre al sistema. Además como pueden existir modificaciones y ampliaciones es importante especificar la fecha y hora en que fue producida la versión. Para evitar problemas por páginas perdidas o mala compaginación del documento es conveniente numerar las páginas.

2. Abstracta del sistema: Este debe definir brevemente y en un sólo párrafo lo que el sistema hace y el equipo con el que trabaja.

3. Configuración del sistema: Mediante diagramas simples se debe establecer la configuración del sistema a través de los diferentes tipos de módulos usados, la

distribución remota, local, combinada o en red, así como cualquier equipo especial.

4. Diagramas de conexión de entradas y salidas: Conviene utilizar claves y nomenclaturas que faciliten su lectura. Dentro de ello se sugiere utilizar alguna norma simbólica, diferenciar los alambrados de alimentación, entradas, salidas, y tipos de señal de cada uno. A los técnicos encargados del montaje les debe ser fácil entender estos diagramas.

5. Asignación de direcciones de entrada y salida: Hacer una tabla en la que se especifique claramente las direcciones interna y externa, el tipo, la identificación, el dispositivo conectado a ella y la función que desempeña.

6. Asignación de registros: Los registros deben ser tabulados dándoles una identificación, especificando su contenido y describiendo su función.

7. Listado del programa: Conviene numerar las líneas del programa, indistinto del lenguaje en que se realizó (diagrama de contactos, funciones booleanas, etc.), así como incluir comentarios que expliquen el objetivo de cada segmento del programa, sobre todo si se utilizaron subrutinas. La copia impresa es importante, aún cuando se cuenta con copias en PROMs o medios magnéticos.

8. Listas de referencia: Los siguiente listados son muy útiles: Las entradas que afectan cada salida; el número de línea en que aparece cada entrada, salida, registro, etc.; los parámetros iniciales de contadores, temporizadores y registros; además de los valores de salida en condiciones iniciales de operación o estados importantes.

Como se mencionó anteriormente existen programas de computadora que producen documentaciones, éstos varían en secuencia y orden, y puede ser necesario complementarla si no incluyen toda la información. El modelo es una sugerencia de especial utilidad para aquellos usuarios que han de documentar su trabajo sin herramientas especializadas.

VII. EJEMPLIFICACION DEL METODO DE DISEÑO

A. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El presente proyecto de automatización mediante PLC consiste en la modernización del sistema de control de las cámaras de curado o vulcanización de reencauche.

B. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

El uso de PLCs para automatización de procesos es un primer paso en un programa de automatización integrada, ya que se utilizan sistemas de control más confiables y con potencial de crecimiento, especialmente de interconexión con otros equipos y unidades de procesamiento de datos.

Es muy importante entender los alcances y limitaciones de un proyecto de modernización de maquinaria con PLCs. El cambio no es necesariamente drástico en la operación. Su impacto directo no es muy notorio.

En este proyecto los beneficios que se buscan son:

1. La centralización del control de la maquinaria. En un sólo panel local se controlaran todas las cámaras, se simplifica el trabajo del personal encargado al permitirles controlar el proceso en una forma más sencilla y directa, sin tener que caminar alrededor de las cámaras tomando mediciones y decisiones durante todo el proceso.

2. Una operación de supervisión más autónoma, asegurando que siempre exista supervisión.

3. Más información y confiabilidad del proceso al repetir más eficientemente las operaciones lógicas actuales, mejorando el grado de seguridad y la calidad de la información obtenida.

4. Por otro lado la liberación de tiempo del operario le permitirá prestar más

atención a los neumáticos antes y después del proceso, y dar mantenimiento preventivo al equipo.

En la actualidad el personal de cámaras realiza un trabajo físico muy demandante. Ellos deben armar las llantas, colocarlas dentro de la cámara, controlar el proceso, descargar las llantas y desarmarlas cuando el curado ha terminado. El calor que generan las cámaras y lo tarde en la noche en que tienen que abrirlas hace más difícil el trabajo lo que provoca que se le preste menos atención a la supervisión y el control.

C. FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA MAQUINARIA

La cámara de curado es un autoclave hermético que vulcaniza por medio de presión, temperatura y tiempo. La presión se logra mediante una fuente externa de aire comprimido. La temperatura necesaria se logra por medio de un juego de resistencias eléctricas que calientan el aire. Para mantener la temperatura homogénea un ventilador hace circular el aire dentro de la cámara. El tiempo necesario para que el proceso sea completo depende del tipo de producto y es una especificación que cuenta a partir del momento en que la temperatura y la presión han llegado a su punto de operación.

La secuencia de operación de la cámara cubre cuatro pasos principales:

1. *Preparación* para el arranque: Los neumáticos se acomodan ordenadamente dentro de la cámara, asegurando que las mangueras de conexión estén bien enganchadas. Luego se cierra la puerta y se hermetiza. En un temporizador se fija el tiempo total de proceso, calentamiento más especificado. (*Hermetizado y arranque*)

2. *Arranque de cámara*: En ese momento se arranca el ventilador, se abre la válvula de suministro de aire comprimido y se conectan las resistencias. En este paso es importante que existe un enclave que evita encender las resistencias sin presión y sin el ventilador para evitar que se dañen.

La entrada de aire comprimido es controlada por una sola válvula principal la que

alimenta tanto a la cámara como al maníful de alimentación de cada una de las llantas.

Tres variables críticas determinan el arranque. La temperatura de la cámara, T_c . La presión del neumático, P_n , y la de la cámara, P_c . La temperatura, T_c , es el valor mínimo sobre el cual se permite una variación de 3 a 5 grados Fahrenheit. Las dos presiones deben mantenerse invariables durante todo el proceso. La presión P_n es mayor que P_c , por lo tanto existe una presión diferencia P_d constante. En este estado tanto la temperatura como las presiones alcanzan sus valores nominales de operación.

Si durante la primera media hora ($<30min$) ocurre una falla el proceso puede abortarse, corregir el error y reiniciar. Si se pasa del tiempo se hace necesario reprocesar completamente el neumático. Para evitar ese costo extra es que es tan importante la supervisión. Las principales fallas son desperfectos en el sistema de presiones (fugas, o presión insuficiente).

Los problemas de aire son variados y por lo mismo se hace importante una buena revisión. Primero hay que asegurarse que no hay fugas serias del aire de la cámara (*Fugas?*); si las hubiera el proceso se detiene (*Alto*). Segundo se revisa la presión diferencial, P_d , en cada neumático. Si la presión es menor de un valor crítico ($P_d > 10psi$) se hace necesario cerrar manualmente el ingreso de aire a ese neumático (*Cierre de línea a neumático*). El proceso de verificación consiste en cerrar manualmente la válvula individual de acceso y leer el manómetro.

3. *Ciclo de vulcanización*: Una vez la temperatura llega a T_c (*Temp. de proceso*), se considera iniciado el proceso de vulcanización y empieza a correr el tiempo especificado. El control de temperatura mantiene la cámara a no más de $T_c + 3F$ (*Mantener Temp. en $T_c + 3F$*) hasta que el tiempo termina.

4. *Despresurizado de la cámara*. Cuando el temporizador llega al fin de su cuenta se abren las dos válvulas de descarga del neumático y de la cámara (*Abre válvulas de*

escape). Al mismo tiempo, la válvula de entrada de aire se cierra, el ventilador y las resistencias dejan de funcionar (*Desconecta cámara*).

En un autoclave de este tamaño una o dos libras de presión pueden ser mortales si se abre la compuerta. Es por ello que es imperativo no abrir la cámara hasta que la presión ha sido totalmente aliviada. ($P_c=0$ lbs)

Cuando la presión ha llegado a cero libras se cierran la válvulas de descarga y la de entrada permanece cerrada (*Cierra válvulas de escape*). Además suena una alarma (*suenan sirena de fin de proc.*) que avisa que ya es seguro abrir la puerta y empezar a descargar los neumáticos (*Deshermetizar y descargar*). Al final del proceso el operador debe revisar la maquinaria y los registros de temperatura y presión (*Revisión de cámara y datos*).

Un diagrama de flujo del proceso, su diagrama de mando actual, y el alambrado del mismo se pueden apreciar en los apéndices A y B. Es importante compararlos con la solución de control propuesta más adelante, especialmente porque los cambios buscan modernizar el equipo al automatizar la supervisión. Esto significa que no habrán cambios significativos en el diagrama de flujo ni en la lógica de control.

D. SELECCIÓN DE HARDWARE

1. Configuración de entradas y salidas

a. Requisitos de control del sistema:

De acuerdo a los objetivos y el alcance planteados en la justificación se propone la siguiente solución : i) Reemplazar el mando actual a base de relés por uno programado. ii) Realizar la función de supervisión en forma automática. iii) Centralizar la operación de las cámaras en una consola de mando.

Los cambios principales en el equipo que se hacen necesarios para poder lograr esto son; mejorar los transductores de temperatura y presión actuales, y agregar los de presión

que se requieran para la supervisión.

La operación del nuevo sistema no debe ser distinta a la actual para minimizar la necesidad de entrenamiento del personal y para respetar el funcionamiento especificado por el fabricante de la maquinaria.

El alambrado será subterráneo para no obstaculizar la carga y descarga de las cámaras. En el ducto irán en tubo separado las señales de mando y las de datos (mediciones analógicas). Estas últimas incluso han de ir blindadas y debidamente aterrizadas.

b. Configuración de entradas y salidas:

De acuerdo a la distribución de la planta la configuración más apropiada es local ya que las cámaras están relativamente cerca una de la otra y hay espacio libre cerca de los operadores, por lo que el ahorro en cable no es significativo.

c. Cálculo de módulos de entradas y salidas.

i. Tipo y cantidad de dispositivos de entrada y salida de cada grupo.

En este caso cada cámara será un grupo distinto, y siendo idénticas se analizará un solo grupo y el resultado se multiplicará por cuatro.

ENTRADAS

DISPOSITIVO	CANTIDAD	ESPECIFICACION
Pulsador On – Máquina	1	120 VAC
Pulsador Off – Máquina	1	120 VAC
Paro Emergencia	1	120 VAC
Pulsador On – Proceso	1	120 VAC
Puerta cerrada (uSW)	1	120 VAC
Cont. Aux. Motor arrancado	1	120 VAC
Ols motor	1	120 VAC

DISPOSITIVO	CANTIDAD	ESPECIFICACION
Temperatura cámara	1	4-20 mA
Temperatura externa	1	4-20 mA
Presión cámara	1	4-20 mA
Presión neumático (línea)	1	4-20 mA
Presión diferencial (neumático)	22	4-20 mA

SALIDAS

DISPOSITIVO	CANTIDAD	ESPECIFICACION
Alarma o sirena	1	120 VAC
Luces de estado	3	120 VAC
Arranque ventilador	1	120 VAC
Conexión calentadores	1	120 VAC
Cerrar compuerta	1	120 VAC
Válvula principal entrada	1	120 VAC
Válvula secundaria neumático	22	120 VAC
Válvula salida neumático	1	120 VAC
Válvula salida cámara	1	120 VAC
Presión cámara	1	BCD
Presión neumático (línea)	1	BCD
Presión diferencial (neumático)	22	BCD
Temperatura cámara	1	BCD
Temperatura exterior	1	BCD

ii. Lista ordenada y contada de cada tipo de punto de I/O por grupo

Tipo de Módulo I/O	Cantidad x grupo	Detalle
Entrada discreta 120 VAC	7	4 Pulsadores 2 Contactos auxiliares 1 uSW de límite
Entrada análoga 4-20 mA (Temperatura)	2	2 sondas PT100
Entrada análoga 4-20 mA (Presión)	24	2 Transductores de diafragma en líneas 22 Transductores de presión diferencial por neumático
Salidas de datos	5	5 LED Displays de 4 décadas
Salidas discretas	32	25 Electro válvulas 1 Electro imán 2 Contactores 3 Luces piloto 1 Sirena

Total de canales de entrada: 33

Total de canales de salida: 37

Total de canales: 70

iii. Asignación de canales de entrada y salida

DIRECCION	USO
I0 - 8 entradas discretas 120 VAC Asignados: I00 a I06	Pulsadores, switch de límite y contactos auxiliares

DIRECCION	USO
II - 8 entradas discretas 120 VAC Asignados: ninguno	Libre
I2 - Entrada analógica de temperatura Asignados: I2	PT100 de cámara
I3 - Entrada analógica de temperatura Asignados: I3	PT100 de ambiente
I4 - Entrada analógica de temperatura Asignados: ninguno	Libre
I5 - 8 entradas analógicas de 4-20 mA Asignados: I50 a I51	Presión de entrada de los canales principales
I6 - 8 entradas analógicas de 4-20 mA Asignados: I60 a I67	Presiones de posiciones 1 a 8 de llantas
I7 - 8 entradas analógicas de 4-20 mA Asignados: I70 a I77	Presiones de posiciones 9 a 16 de llantas
I8 - 8 entradas analógicas de 4-20 mA Asignados: I80 a I85	Presiones de posiciones 17 a 22 de llantas
O0 - 8 salidas discretas 120 VAC Asignados: O00 a O06	Bobinas, luces piloto y sirena
O1 - 8 salidas discretas 120 VAC Asignados: O10 a O17	Válvulas secundarias de llanta 1 a 8
O2 - 8 salidas discretas 120 VAC Asignados: O20 a O27	Válvulas secundarias de llanta 9 a 16
O3 - 8 salidas discretas 120 VAC Asignados: O30 a O35	Válvulas secundarias de llanta 17 a 22

DIRECCION	USO
O4 - 8 salidas discretas 120 VAC Asignados: O40 a O42	Válvulas principales de entrada y salida
O5 - 4 salidas para display Asignados: O50 a O53	Displays de Temperatura y presión principal
O6 - 4 salidas para display Asignados: O60	Display de presión diferencial

iv. Selección de componentes reales de I/O

TIPO DE MODULO	CANTIDAD
Módulo de 8 entradas discretas 120 VAC	1+1
Módulo de control de temperatura	2+1
Módulo de 8 entradas analógicas (4-20mA)	3+1
Módulo de 8 salidas discretas 120 VAC	4+1
Módulo de 4 salidas de datos	1+1

Los diagramas de alambrado con las direcciones asignadas en cada módulo se encuentran en el apéndice C.

E. DETERMINACION DEL CONTROLADOR MAS APROPIADO

1. Requerimientos de dispositivos de entrada y salida físicamente conectados:

De acuerdo al cálculo de la configuración de entradas y salidas se necesita un PLC capaz de manejar:

a. Entradas discretas y analógicas, de preferencia con módulos especializados para control de temperatura..

b. Un mínimo de treinta y dos canales de entradas y veinticuatro de salidas. (Total

56 que es menor que 128). Esto es para controlar cuatro cámaras y cada una requiere de ocho y seis canales respectivamente. Canales de ocho direcciones (bits).

c. Capacidad de programación en línea para actualizar el registro de tiempo de proceso cuando cambie la especificación.

d. Configuración local.

e. Alimentación 120 VAC.

2. Cantidad de memoria:

En total cada grupo necesita en total setenta entradas y salidas. Para los cuatro grupos se necesitan doscientas ochenta entradas y salidas. Calculando diez palabras por punto I/O son 2,800 palabras. El equipo debe tener y manejar como mínimo 3K de memoria.

3. Juego de instrucciones (lenguaje):

Para mantenimiento futuro es deseable que el equipo pueda manejar programación en escalera. (Diagramas eléctricos). La unidad de programación puede ser manual ya que el programa es relativamente sencillo y puede servir también como unidad de ingreso de tiempos para actualizar los temporizadores de proceso.

En conclusión se requiere un equipo de la familia intermedia entre mediano y pequeño, es decir un equipo pequeño pero con capacidad de manejo de señales analógicas y de control de temperatura.

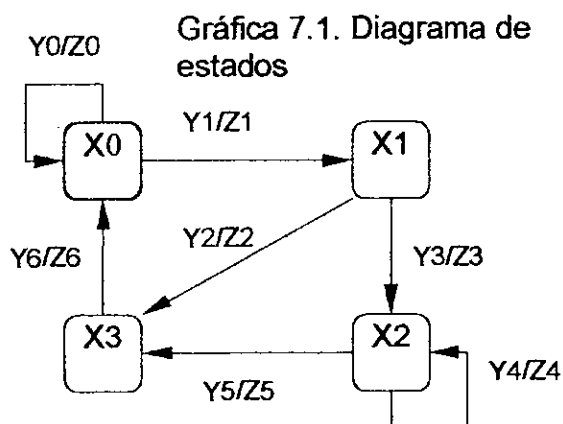
F. DESARROLLO DEL PROGRAMA

Lo primero que se necesita para poder desarrollar el programa es entender el problema y el funcionamiento del sistema que se va a automatizar. Estos pasos son comunes a la selección del hardware por lo que no es necesario repetirlos. Del procedimiento corresponde a los pasos uno y dos (definir el problema y la descripción del desempeño externo del sistema). Los siguientes pasos se detallan a continuación.

Como se indicó antes el funcionamiento del sistema consiste en cuatro estados discretos:

DESCRIPCION	VARIABLE SECUNDARIA
Preparación	X0
Arranque	X1
Vulcanización	X2
Despresurizado	X3

La transición entre estados se puede apreciar en el diagrama de estados (Gráfica 7.1)



Donde Y0, Y1, Y2 & Y3 son las variables secundarias o de estado. X0, X1, X2, X3, X4 & X5 son las variables primarias de entradas. Z0, Z1, Z2, Z3, Z4 & Z5 son las de salidas.

Los valores específicos de las entradas para cada variable primaria son :

xi	ENTRADA	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6
x0	Pulsador Off - Máquina			1			1	
x1	Paro Emergencia			1			1	
x2	Pulsador On - Proceso	0	1					
x3	Puerta cerrada (uSW)	0	1		1	1		
x4	Cont. aux. motor arrancado	0	0	0	1	1	0	0
x5	OLs motor		0	1	0	0		
x6	Temp. Cámara (operación)				1	1		0
x7	Presión cámara				1	1	1	
x8	Presión cámara = 0psi	1	1			0		1
x9	Presión neumático (línea)				1	1		
xA	Presión diferencial (neum.)				1	1		
xB	Tiempo de proceso				0	1	0	

de donde se derivan las siguientes ecuaciones lógicas

$$X0 = x2' \cdot x3' \cdot x4' \cdot x8$$

$$X1 = x2 \cdot x3 \cdot x4' \cdot x5' \cdot x8$$

$$X2 = x0 + x1 + x4' + x5$$

$$X3 = x3 \cdot x4 \cdot x5' \cdot x6 \cdot x7 \cdot x9 \cdot xA \cdot xB'$$

$$X4 = x3 \cdot x4 \cdot x5' \cdot x6 \cdot x7 \cdot x8' \cdot x9 \cdot xA \cdot xB$$

$$X5 = x0 + x1 + x4' + x5 + xB'$$

$$X6 = x4' \cdot x6' \cdot x8$$

Las variables no especificadas significan que su valor no importa.

En el caso de las variables primarias de salida los valores son :

zi	SALIDA	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
z0	Arranque ventilador	0	1	1	1	1	1	0
z1	Conexión calentadores	0	1	0	1	1/0	0	0
z2	Cerrar compuerta	0	1	1	1	1	1	0
z3	Válvula principal entrada	0	1	0	0	1/0	0	0
z4	Válvula secundaria neum.	0	1	0	1	1	0	0
z5	Válvula salida neumático	0	0	1	0	0	1	1
z6	Válvula salida cámara	0	0	1	0	0	1	1
z7	Iniciar timer	0	0	0	1	0	0	0

Las ecuaciones lógicas para cada una de las salidas son :

$$Z0 = z0' \cdot z1' \cdot z2' \cdot z3' \cdot z4' \cdot z5' \cdot z6' \cdot z7'$$

$$Z1 = z0 \cdot z1 \cdot z2 \cdot z3 \cdot z4 \cdot z5' \cdot z6' \cdot z7'$$

$$Z2 = z0 \cdot z1' \cdot z2 \cdot z3' \cdot z4' \cdot z5 \cdot z6 \cdot z7'$$

$$Z3 = z0 \cdot z1 \cdot z2 \cdot z3' \cdot z4 \cdot z5' \cdot z6' \cdot z7'$$

$$Z4 = z0 \cdot z1 \cdot z2 \cdot z3 \cdot z4 \cdot z5' \cdot z6' \cdot z7'$$

$$Z5 = z0 \cdot z1' \cdot z2 \cdot z3' \cdot z4' \cdot z5 \cdot z6 \cdot z7'$$

$$Z6 = z0' \cdot z1' \cdot z2' \cdot z3' \cdot z4' \cdot z5 \cdot z6 \cdot z7'$$

Nota : durante el estado Y2, y la condición de salida Z4, los valores de z1 (conexión de calentadores) y z3 (válvula principal de entrada) muestran tanto estados de 0 como de 1. Lo que ocurre es que en este estado se activa el controlador de temperatura y de presión el cual monitorea los valores reales de la temperatura (Tc) y la presión (Pc) de la cámara. Estos controladores permiten una oscilación compensatoria en para lo que

conectan y desconectan periódicamente las resistencias eléctricas y el aire comprimido.

Para obtener las ecuaciones secundarias se necesita entender las condiciones de transición de estados definido en el diagrama de estados de la máquina:

Estado o variable secundaria	Condición SET	Condición RESET
Y0	$X0 + X6 \cdot Y3$	$X1 \cdot Y1'$
Y1	$X1 \cdot Y0$	$X2 \cdot Y3' + X3 \cdot Y2'$
Y2	$X4 + X3 \cdot Y1$	$X5 \cdot Y3'$
Y3	$X2 \cdot Y1 + X5 \cdot Y2$	$X6 \cdot Y0'$

Utilizando la ecuación básica del FFRS, $A^* = S + (A \cdot R')$, se derivan las ecuaciones secundarias :

$$Y0^* = (X0 + X6 \cdot Y3) + (Y0 \cdot (X1 \cdot Y1'))' = X0 + X6 \cdot Y3 + X1' \cdot Y0 + Y1 \cdot Y0$$

$$Y1^* = (X1 \cdot Y0) + (Y1 \cdot (X2 \cdot Y3' + X3 \cdot Y2'))' = X1 \cdot Y0 + Y1 \cdot X2' + Y1 \cdot Y3 + Y1 \cdot X3' + Y1 \cdot Y2$$

$$Y2^* = (X4 + X3 \cdot Y1) + (Y2 \cdot (X5 \cdot Y3'))' = X4 + X3 \cdot Y1 + X5' \cdot Y2 + Y2 \cdot Y3$$

$$Y3^* = (X2 \cdot Y1 + X5 \cdot Y2) + (Y3 \cdot (X6 \cdot Y0'))' = X2 \cdot Y1 + X5 \cdot Y2 + X6' \cdot Y3 + Y0 \cdot Y3$$

Nota : La diferencia entre $Y0^*$ y $Y0$ es que el primero es el nuevo estado resultante del cambio de condiciones.

Las diferentes variables son traducidas en un programa adaptando la sintaxis del lenguaje de programación para autómatas Step5 de Siemens.

Las entradas xi corresponden a direcciones de entrada del tipo E_{xy} y las variables X_j se harán corresponder a marcas del tipo M0_j.

Para X0	Para X1	Para X2	Para X3
UN E02	U E02	O E01	U E06
UN E06	U E06	O E03	U E04
UN E04	UN E04	ON E04	UN E05
U E50 = 0	UN E05	O E05	U E20
= M00	U E50 = 0	= M02	U E50 = Pc
	= M01		U E51
			U E60 - E85
			UN T1
			= M03

Para X4	Para X5	Para X6
U E06	O E01	UN E04
U E04	O E03	U E20
UN E05	ON E04	U E50 = 0
U E20	O E05	= M06
U E50 = Pc	ON T1	
UN E50 = 0	= M05	
U E51		
U E60 - E85		
U T1		
= M04		

Cada una de las variables de estado se guardan mediante las condiciones set y reset y su valor se guarda en las marcas M1_x.

Para Y0	Para Y1	Para Y2	Para Y3
U M00	U M01	U M04	O(
O(U M10	O(U M02
U M06	S M11	U M03	U M11)
U M13)		UN M11)	O(
S M10		S M12	U M05
			U M12)
			S M13
U M01	O(U M05	U M06
UN M11	U M02	UN M13	UN M10
R M10	UN M13)	R M12	R M13
	O(
	U M03		
	UN M12)		
	R M11		

La decodificación de las salidas se basa en la concurrencia del estado específico (M1x) y la combinación de entradas (M0x), el resultado se asigna a la marca M2x.

Para Z0	Para Z1	Para Z2	Para Z3
U M00	U M01	U M02	U M03
U M10	U M10	U M11	U M11
= M20	= M21	= M22	= M23
Para Z4	Para Z5	Para Z6	
U M04	U M05	U M06	
U M12	U M12	U M13	
= M24	= M25	= M26	

Una vez se asigna la marca de salida se afectan las variables de salida, para ello se utilizan funciones más duraderas que la asignación y son set y reset.

Para Z0	Para Z1	Para Z2	Para Z3
U M20	U M21	U M22	U M23
R A01	S A01	S A01	S A01
R A02	S A02	R A02	S A02
R A00	S A00	S A00	S A00
R A40	S A40	R A40	R A40
R A10-A35	S A10-A35	R A10-A35	S A10-A35
R A42	R A42	S A42	R A42
R A41	R A41	S A41	R A41
			L KT10800.3
			SV T1
Para Z4	Para Z5	Para Z6	
U M24	U M25	U M26	
S A01	S A01	R A01	
S A02	R A02	R A02	
S A00	S A00	R A00	
S A40	R A40	R A40	
S A10-A35	R A10-A35	R A10-A35	
R A42	S A42	S A42	
R A41	S A41	S A41	

La última parte del diseño es la documentación. La descripción del proyecto, la asignación de variables, el listado del programa (borrador) y los diagramas de alambrado están distribuidos en este capítulo y los apéndices.

VIII. SISTEMAS EXPERTOS

A. DEFINICION

Townsead (1987:4), un experto en el campo, define un sistema experto como un programa de computadora que utiliza conocimientos y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son suficientemente difíciles como para requerir un expertaje significativo para su solución. Para ello el expertaje es extraído de quienes lo poseen y luego traducido en una serie de leyes que son organizadas como un sistema. Los programas que se producen permiten a personas no expertas resolver problemas propios del campo en cuestión.

De esta forma se puede considerar a un sistema experto como un programa de inteligencia artificial que permite que una computadora ayude a una persona en el proceso de toma de decisiones. El sistema hace accesible el conocimiento utilizado por los expertos. Se puede apreciar que el sistema experto apoya los procesos de toma de decisiones y no los automatiza.

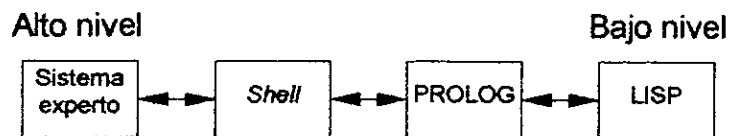
Los sistemas expertos también son conocidos como sistemas basados en conocimiento ya que emulan la forma en que los expertos organizan y utilizan sus conocimientos. Los sistemas expertos, en forma similar a los humanos, utilizan la experiencia pasada para resolver problemas nuevos, y para mantener su vigencia deben actualizarse constantemente.

Los sistemas expertos se diferencian de programas más convencionales en que los primeros utilizan manipulación simbólica en lugar de los cálculos numéricos propios de los segundos. Además los sistemas expertos son capaces de manejar incertidumbre, algo que un sistema estrictamente numérico no es capaz de lograr.

B. LENGUAJES Y SHELLS PARA DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

El desarrollo de sistemas expertos puede ser facilitado por *shells* éstos han surgido ante la necesidad de contar con herramientas más completas y más amigables para programar. Para que los beneficios sean reales es muy importante su correcta selección.

Sin embargo los *shells* no son más que un punto intermedio en el espectro de herramientas para desarrollar un sistema experto como se puede apreciar en la gráfica 8.1 sugerida por Townsend (1987:19).



Gráfica 8.1. Espectro de herramientas y lenguajes para desarrollo de sistemas expertos

Por un lado tenemos lenguajes de muy bajo nivel, dentro de los que sobresale el Lisp, dentro de una segunda generación de lenguajes está Prolog (un dialecto de Prolog puede ser desarrollado con Lisp), luego están los *shells* y finalmente sistemas expertos elaborados.

Lisp es un lenguaje con más de veinticinco años de existir desarrollado en principio por John McCarthy y aunque su éxito se ha limitado a centros de investigación y la academia ha contribuido en gran medida al avance de la inteligencia artificial, así como la programación de robots, visión artificial y reconocimiento de voz. Lisp es un lenguaje muy simple, flexible y corto. Algunos de los problemas del Lisp son la gran variedad de dialectos (a pesar del desarrollo en 1985 del Common Lisp) que dificultan el intercambio, además de ser un lenguaje orientado al ingeniero y no al usuario final.

Prolog fue desarrollado en 1972 por A. Colmerauer y P. Roussel de la universidad de Marsella. Prolog significa programación en lógica. Este lenguaje es ampliamente

utilizado en Japón y Europa. Entre las ventajas de Prolog está su capacidad de inferir hechos de otros hechos, es capaz de manejar base de datos relacionales y su uso más amigable. Sus desventajas principales son que el orden y la sintaxis son algo inflexibles y demanda mayor cantidad de recursos. Además como en el caso de Lisp, existe una gran variedad de dialectos de Prolog.

Un *shell* es un ambiente de programación que permiten al usuario construir sistemas expertos. Cuando se utiliza un *shell*, cada aplicación requiere un banco de conocimiento propio e independiente. No obstante el *shell* ofrece el mecanismo de inferencia, el acceso a la base de datos, el interface con el usuario y sistemas de ayuda y consulta. Un *shell* no es un sistema experto, para serlo necesita contar con el banco de conocimiento apropiado, labor ésta del ingeniero de conocimiento. El primer *shell* disponible fue AL/X que apareció recién en 1980, por lo que su desarrollo es aún reciente.

Además de estas herramientas de desarrollo es posible adquirir un sistema experto completo y terminado. La decisión de cual es la forma más apropiada de obtener un sistema experto depende de la complejidad del sistema (si son pocas reglas un *shell* puede ser suficiente) y de que tan especializado es (aplicaciones genéricas como diagnósticos médicos pueden ser comprados).

C. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

De acuerdo a Dimitris (1987:80), para que un sistema experto permita apoyar la resolución de problemas debe contar con :

- a. Un banco de datos que contiene hechos, reglas y patrones.
- b. Un mecanismo de inferencia que permite tomar las decisiones del dominio.
- c. Un lenguaje en el que se desarrolla la aplicación (por ejemplo Lisp o Prolog).
- d. Un *shell* el cual incluye el mecanismo de inferencia, el administrador de conocimiento y los interfaces con el usuario.

e. Un ambiente compuesto por todas las demás partes necesarias para montar el sistema.

Siguiendo con su explicación define la siguiente arquitectura (gráfica 8.2) para construir un sistema experto :

1. El propósito o dominio; es un enunciado que define la intención, dentro de un dominio específico, para la cual fue concebido el sistema experto.

2. La estrategia a seguir; establece la

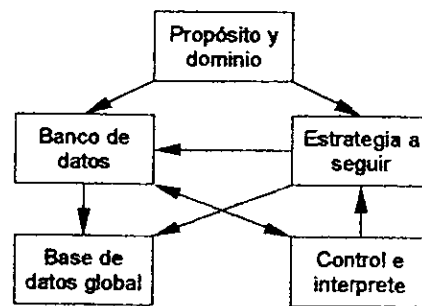
forma en que se espera enfrentar y entender el problema.

3. El banco de conocimiento; contiene hechos (afirmaciones a corto plazo) y sus reglas (representación del conocimiento),

4. La base de datos global y los sistemas de comunicación; estas pueden ser de uso general y compartido o especializadas, además pueden ser actualizadas por medio de comunicaciones en tiempo real, por actualización por lotes, o como parte del mantenimiento del sistema.

5. La estrategia de control y el interprete de reglas; establece la mecánica de inferencia, por ejemplo, encadenamiento hacia atrás o hacia adelante, búsqueda superficial o a profundidad, árboles de decisión y búsqueda heurística.

El desempeño de un sistema experto depende en gran medida de la calidad y ámbito del banco de conocimientos. Está estrechamente ligado a la metodología y confiabilidad del proceso de adquisición del conocimiento.



Gráfica 8.2. Arquitectura de construcción de un sistema experto

D. AREAS DE APLICACIÓN DE SISTEMAS EXPERTOS

Cualquier campo en el que un especialista posea el expertaje que otros necesitan es un candidato potencial para usar sistemas expertos. Es precisamente ese expertaje especial el que permite que el sistema use el conocimiento del dominio así como las reglas de razonamiento para resolver problemas.

Mientras que tecnologías como la automatización y sus subdivisiones han sido de gran interés para los sectores manufactureros, los sistemas expertos han sido de gran interés para las industrias de servicios. Por ejemplo se encuentran sistemas expertos en bancos (evaluación de carteras de inversión), comercios detallistas (administración de cuentas de clientes), aseguradoras (sistemas de diseño de planes de seguro), tarjetas de crédito (verificación de créditos), centros de mando y control (control de tráfico en aeropuertos o en centrales nucleares), hospitales y clínicas (diagnóstico de enfermedades), unidades de mantenimiento (*troubleshooting*). Sin embargo, ya se encuentran aplicaciones en sistemas de control de producción en empresas de manufactura.

E. DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

Antes que nada es importante tomar en cuenta que en materia de modelaje y pronóstico es mejor iniciar con un modelo aproximado y luego tratar de irlo afinando mientras se va usando, en lugar de tratar de iniciar con un modelo casi perfecto y muy rígido.

Como se mencionó con anterioridad la calidad del sistema experto depende en gran medida de la confiabilidad del proceso de adquisición de conocimiento. Es por ello importante definir ésta etapa con más detalle.

La identificación del conocimiento es un esfuerzo combinado entre el experto en el campo en cuestión y un ingeniero de conocimiento. El primero tiene la experiencia y

dominio de las reglas, mientras que el segundo sabe como identificar y extraer el conocimiento.

Una persona se considera un experto si posee un gran conocimiento en la forma de reglas y hechos, además cuenta con una amplia y reconocida experiencia que no se encuentra fácilmente en la literatura o mejor aún si es más avanzada que lo que se encuentra disponible.

Al analizar un problema un experto identifica analogías, define una estrategia de resolución, y si falla regresa al principio para probar otra alternativa, este proceso está delimitado por hechos provenientes de sus observaciones, imágenes e información procesada. Es así que el trabajo del experto se resume en descubrir los principios y luego llegar a conclusiones a partir de dichos principios.

El trabajo del ingeniero de conocimiento es obtener dos formas de conocimiento, primero está el conocimiento del dominio específico utilizado en el proceso de razonamiento, y luego hay que considerar el proceso mismo de razonamiento.

Esto exige del ingeniero de conocimiento mucho cuidado para evitar malas interpretaciones, niveles de detalle inadecuado, y preocuparse más por la generación de reglas que por entender el razonamiento.

La forma ideal de desarrollar un sistema de éste tipo es que el experto en el dominio y el ingeniero de conocimiento sean la misma persona. Sin embargo, esto no es muy frecuente y el ingeniero debe observar al o los expertos resolver problemas variados, desarrollar un primer modelo para que sea revisado por el experto, y refinarlo. La revisión y validación constante de las reglas y hechos, así como la correcta selección de los expertos aumentan la confiabilidad del banco de conocimientos.

Siguiendo la metodología sugerida por Waterman (1986:137) el proceso se divide en cinco etapas :

1. Identificación
2. Conceptualización
3. Formalización
4. Implementación
5. Prueba

La primera fase, identificación o planeación, consiste en identificar la conveniencia de desarrollar un sistema experto, los requerimientos del mismo, así como los recursos necesarios para su elaboración.

Algunos pasos básicos que conviene revisar son :

- a. Definir el objetivo principal del proyecto, o el problema que se desea resolver y evaluar si es sujeto de un sistema experto y de que tamaño puede ser.
- b. Comprender a nivel gerencial lo que es un sistema experto y sus beneficios, así como reconocer la forma en que puede contribuir a las estrategias de la organización.
- c. Explorar las experiencias de otras empresas o personas que están utilizando sistemas expertos.
- d. Designar a los miembros del equipo de desarrollo, tales como, el líder del proyecto, el ingeniero de conocimiento, el experto en el campo y los programadores.
- e. Definir a los clientes y sus necesidades (tanto de información como de interface).
- f. Estimar los requerimientos de hardware, bases de datos e infraestructura de comunicaciones.
- g. Estimar tiempos y costos.

La siguiente etapa, conceptualización, delimita el proyecto. Este paso es importante porque es muy fácil divagar con lo amplio que puede ser el conocimiento. Una estrategia de niveles permite ampliar progresivamente el ámbito que cubre el sistema experto. Este es el paso dentro del cual se adquiere el conocimiento experto. Dentro de esta fase se

responden a cuestionamientos como :

a. Cuál es el dominio o campo de conocimiento al que se circunscribe el sistema experto. Este dominio debe ser realista y acorde a los recursos disponibles.

b. Cuál es el propósito del sistema.

c. Dónde se establecen los límites del dominio, y qué problemas puede traer dicha delimitación.

d. Qué decisiones toma el experto, y qué resulta de ellas.

e. De dichos resultados, cuáles requieren más reflexión, exploración o interacción.

f. Qué recursos requiere el experto para alcanzar sus decisiones.

g. Bajo que condiciones se logran los resultados. Son condiciones consistentes o no.

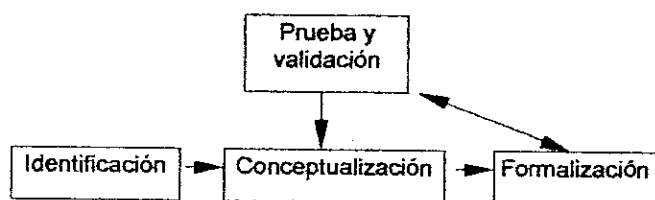
Cuando se ha adquirido suficiente conocimiento del dominio se puede iniciar con la formalización. En este momento se trata de ordenar la información identificando las reglas y relaciones existentes. Una guía de como lograrlo la da Townsend (1987 b:242), quien luego de definir el dominio sugiere acumular y organizar los hechos en una tabla que permita ver cuales son los hechos necesarios para alcanzar una conclusión. El paso siguiente es graficar los hechos. Una forma de hacerlo es mediante una tabla de relación que permite ver como diferentes hechos se relacionan con diferentes conclusiones. Otra forma es mediante árboles de decisión que ofrece una estructura para desarrollar el programa. El último paso, antes de programar, es simplificar los hechos agrupándolos por afinidades. Esto ayuda a simplificar la consulta o el interrogatorio al usuario.

Una vez se ha acumulado y organizado el conocimiento experto se procede a su implementación. Este paso consiste en traducir el conocimiento en un marco codificado. En un principio la implementación no es más que un prototipo y puede ser desarrollado con un *shell*. En la medida que sistema se mejora es posible llegar a desarrollar una aplicación propia. Por esta razón es muy importante considerar cómo se dará

mantenimiento al conocimiento y al sistema experto.

La etapa final es la prueba del sistema. Al principio ésta se limita a permitir que el experto utilice el programa y dé su opinión sobre la coincidencia entre sus conclusiones y las del sistema experto. Un punto crítico en la prueba del sistema es validar su fiabilidad. Esto incluye: 1) que tan correctas, completas y consistentes son las reglas, 2) en que medida el programa considera la información en un orden que corresponde al proceso de resolución de problemas. En etapas posteriores los usuarios evalúan la facilidad de uso, respecto a la forma en que la información es solicitada y presentada, además de la claridad de las explicaciones y la ayuda del sistema.

Es evidente que la prueba es más que una simple depuración del código del



Gráfica 8.3. Proceso de diseño de Sistemas Expertos

programa. Y que el proceso de validación es una tarea constante que afecta los pasos anteriores. Es así que el proceso de diseño se ve como en la gráfica 8.3.

F. DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA SELECCIONAR PLCs

1. Identificación o planificación del PLCXPERT

El propósito del proyecto es mostrar como un sistema experto puede ayudar a un ingeniero en un proceso de diseño, en éste caso específico es la selección del tipo de PLC más apropiado para una automatización. El sistema está dirigido a ingenieros interesados en desarrollar un proyecto de automatización por medio de PLCs, y buscan determinar en forma sencilla cuales deben ser sus opciones de inversión. Para ello el usuario ingresa los requerimientos técnicos del equipo y el sistema ofrece opciones ponderadas según la medida en que se ajustan a la necesidad.

Por lo simple del sistema inicial este es desarrollado por una sola persona que a la vez funciona como experto en el campo, ingeniero de conocimiento y programador.

Dado que el caso es un prototipo, se adaptará un sistema experto existente desarrollado en Turbo Prolog por Townsend. Este sistema cuenta con una base de datos exclusiva, por lo que no requiere interfaces especiales ni medios de comunicación especializados. Además el sistema corre en ambiente MS-DOS., Simultáneamente se hará un desarrollo mediante un *shell* desarrollado por Summers en 1990, ES Expert System versión 1.0. Este doble desarrollo busca mostrar las diferencias y similitudes en el desarrollo usando estas dos herramientas.

2. Conceptualización del PLCXPERT

Como se indicó anteriormente éste sistema pretende ayudar al ingeniero a elegir el equipo más apropiado para su aplicación. Para ello, el dominio de conocimiento se limita a las siete familias de PLC. Los objetos o hechos son veintiséis parámetros de diseño y el mecanismo de inferencia para seleccionar el equipo apropiado es un encadenamiento hacia atrás (backward chaining).

El trabajar únicamente con las familias es una limitación grande porque en el mercado no se venden lo productos con esa clasificación. En un sistema más elaborado se puede cambiar las familias por modelos y marcas específicos. Opción recomendable para aquellos que vean en este tipo de sistemas un producto valioso.

La mayor parte de la información sobre el experto y su conocimiento se encuentran en los capítulos anteriores.

3. Formalización del PLCXPERT

Las conclusiones a las que puede llegar el experto son el tipo de PLC, y los hechos se representan por las especificaciones de diseño. De esta manera se puede resumir la información en la siguiente lista :

- PLC pequeño
 - Puede manejar hasta 128 puntos de entrada y salida
 - No requiere operaciones matemáticas
 - Es para uso local, no remoto
 - No maneja señales analógicas, solo digitales
 - La única función especializada son contadores
 - No tiene capacidad de comunicación alguna
 - Su programación es básica
- PLC Intermedio pequeño - mediano ("A")
 - Puede manejar hasta 128 puntos de entrada y salida
 - No requiere operaciones matemáticas
 - Es para uso local, no remoto
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores y temperatura
 - No tiene capacidad de comunicación alguna
 - Su programación es básica
- PLC mediano
 - Puede manejar hasta 1024 puntos de entrada y salida
 - Puede efectuar operaciones aritméticas
 - Es para uso local, y remoto tipo LAN
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores, temperatura, y ASCII
 - Comunicación vía puerto serial RS-232
 - Su programación es básica con monitores

- PLC intermedio mediano - grande (“B”)
 - Puede manejar hasta 1024 puntos de entrada y salida
 - Puede efectuar operaciones aritméticas
 - Es para uso local, y remoto tipo LAN
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores, temperatura, PID y ASCII
 - Comunicación vía puerto serial RS-232
 - Su programación es gráfica con monitores

- PLC grande
 - Puede manejar hasta 2048 puntos de entrada y salida
 - Puede efectuar operaciones aritméticas, raíces cuadradas y decimales
 - Es para uso remoto tipo LAN
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores, temperatura, PID y ASCII
 - Comunicación via puerto serial RS-232, RS-485, IEEE-488
 - Su programación es gráfica con monitores

- PLC intermedio grande - muy grande (“C”)
 - Puede manejar hasta 2048 puntos de entrada y salida
 - Puede efectuar operaciones aritméticas, raíces cuadradas y decimales
 - Es para uso remoto tipo LAN
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores, temperatura, PID, control de posición, LIFO-FIFO y ASCII
 - Comunicación vía puerto serial RS-232, RS-485, IEEE-488 y redes de computadoras

- Su programación es gráfica con monitores
- PLC muy grande
 - Puede manejar hasta 8192 puntos de entrada y salida
 - Puede efectuar operaciones aritméticas, raíces, trigonométricas y de punto flotante
 - Es para uso remoto tipo WAN
 - Maneja señales analógicas y digitales
 - Las funciones especializadas son contadores, temperatura, PID, control de posición, LIFO-FIFO y ASCII
 - Comunicación vía puerto serial RS-232, RS-485, IEEE-488 y redes de computadoras
 - Su programación es gráfica con monitores y terminales de computadora

Una representación gráfica de los hechos y conclusiones se ve en la tabla 8.1 en donde :

- P = Pequeño A = Intermedio pequeño – mediano
 M = Mediano B = Intermedio mediando – grande
 G = Grande C = Intermedio grande - muy grande
 X = Muy grande

TABLA 8.1. REQUERIMIENTOS DE OPERACION		P	A	M	B	G	C	X
1	Manejar hasta 128 puntos de entrada y salida	X	X					
2	No requiere operaciones matemáticas	X	X					
3	Es para uso local	X	X	X	X			
4	Función especializada : contadores	X	X	X	X	X	X	X
5	No tiene capacidad de comunicación alguna	X	X					

TABLA 8.1. REQUERIMIENTOS DE OPERACION		P	A	M	B	G	C	X
6	Programación es básica	X	X					
7	Manejar señales digitales	X	X	X	X	X	X	X
8	Manejar señales analógicas		X	X	X	X	X	X
9	Función especializada : temperatura		X	X	X	X	X	X
10	Manejar hasta 1024 puntos de entrada y salida			X	X			
11	Efectuar operaciones aritméticas			X	X	X	X	X
12	Es para uso remoto tipo LAN			X	X	X	X	
13	Función especializada : ASCII			X	X	X	X	X
14	Comunicación vía puerto serial RS-232			X	X	X	X	X
15	Programación es básica con monitores			X	X			
16	Función especializada : PID				X	X	X	X
17	Manejar hasta 2048 puntos de entrada y salida					X	X	
18	Efectuar operaciones raíces cuadradas y decimales					X	X	X
19	Comunicación vía puerto serial RS-485 o IEEE-488					X	X	X
20	Función especializada : control de posición, LIFO-FIFO						X	X
21	Programación es gráfica con monitores					X	X	
22	Manejar hasta 8192 puntos de entrada y salida							X
23	Operaciones trigonométricas y de punto flotante							X
24	Es para uso remoto tipo WAN							X
25	Comunicación con redes de computadoras						X	X
26	Programación gráfica con terminales de computadora							X

Un diagrama de árbol de la secuencia de decisión puede ser como se ve en la gráfica 8.4 :



Gráfica 8.4. Arbol de decisión

Los requerimientos técnicos son en cierta forma opciones de respuesta a categorías claramente diferenciables. Estas categorías son las siete siguientes :

1. Cantidad de puntos de entrada y salida que maneja
2. Tipo de señales que maneja
3. Tipo de operaciones matemáticas que se requieren
4. Tipo de funciones especializadas de control que necesita
5. Tipo de configuración de red que se demanda
6. Tipo de canal o protocolo de comunicación que se necesita
7. Tipo de unidad de programación

Que en una forma más gráfica se pueden apreciar en la tabla 8.2

TABLA 8.2. REQUERIMIENTOS AGRUPADOS		P	A	M	B	G	C	X
	Capacidad de punto I/O							
1	Manejar hasta 128 puntos de entrada y salida	X	X					
2	Manejar hasta 1024 puntos de entrada y salida			X	X			
3	Manejar hasta 2048 puntos de entrada y salida					X	X	
4	Manejar hasta 8192 puntos de entrada y salida							X
	Operaciones matemáticas							

TABLA 8.2. REQUERIMIENTOS AGRUPADOS		P	A	M	B	G	C	X
5	No requiere operaciones matemáticas	X	X					
6	Efectuar operaciones aritméticas			X	X	X	X	X
7	Efectuar operaciones raíces cuadradas y decimales					X	X	X
8	Operaciones trigonométricas y de punto flotante							X
	Configuración de uso							
9	Es para uso local	X	X	X	X			
10	Es para uso remoto tipo LAN			X	X	X	X	
11	Es para uso remoto tipo WAN							X
	Capacidad de comunicación							
12	No tiene capacidad de comunicación alguna	X	X					
13	Comunicación vía puerto serial RS-232			X	X	X	X	X
14	Comunicación vía puerto serial RS-485 o IEEE-488					X	X	X
15	Comunicación con redes de computadoras						X	X
	Funciones especializadas							
16	Función especializada : contadores	X	X	X	X	X	X	X
17	Función especializada : temperatura		X	X	X	X	X	X
18	Función especializada : ASCII			X	X	X	X	X
19	Función especializada : PID				X	X	X	X
20	Función especializada : control de posición, LIFO-FIFO						X	X
	Tipo de señales							
21	Manejar señales digitales	X	X	X	X	X	X	X
22	Manejar señales analógicas		X	X	X	X	X	X
	Modo de programación							
23	Programación es básica con unidades manuales	X	X					
24	Programación es básica con monitores			X	X			

TABLA 8.2. REQUERIMIENTOS AGRUPADOS		P	A	M	B	G	C	X
25	Programación es gráfica con monitores					X	X	
26	Programación gráfica con terminales de computadora							X

En la práctica muchas cosas no son absolutamente ciertas. Por ejemplo, un mismo síntoma en un paciente puede indicar diferentes enfermedades. No obstante, un mismo síntoma puede tener más relación con un desorden que con otro. Así el uso de un factor de conformidad es un índice que permite evaluar el grado de certeza de un hecho. Los factores de certeza no son una medición estadística sino una apreciación.

El uso de estos factores responde más a la práctica que a razones enteramente teóricas. Por ejemplo se considera que su valor puede variar entre -1 y +1, donde el primero equivale a absolutamente seguro de que no es, y el segundo a que sí es. Para calcular el índice de conformidad de una conclusión no se utiliza una simple multiplicación de los CF de las distintas reglas, como si fueran probabilidades, ni una suma porque puede exceder uno. En la práctica se utilizan varios métodos de los que los más comunes son los promedios y por medio de la fórmula $CF = CF1 + CF2(1-CF1)$, donde CF1 es el CF de la primera regla o el final del cómputo anterior y CF2 es el CF de la nueva regla. Este segundo método, que es el seleccionado tanto en el modelo desarrollado con Prolog como en el desarrollado con el ES *Shell*, es el más utilizado porque en la medida en que más reglas se aplican la certeza aumenta.

Por otro lado se recomienda usar una barrera o umbral para discriminar las conclusiones con un bajo nivel de certeza. En este caso se ha fijado el nivel en 0.3.

La determinación de los factores de certeza para cada una de las reglas, así como el umbral de decisión son puramente empíricos y se pueden afinar con la experiencia. El requerimiento principal para seleccionar las familias es la capacidad de manejo de entradas y salidas. Otro requerimiento importante es la configuración de uso. Es por ello

que estos grupos tienen los puntajes más altos. Los valores asignados se pueden apreciar en la tabla 8.3.

TABLA 8.3. FACTORES DE CONFORMIDAD		P	A	M	B	G	C	X
Capacidad de punto I/O								
1	Manejar hasta 128 puntos de entrada y salida	0.6	0.6					
2	Manejar hasta 1024 puntos de entrada y salida			0.6	0.6			
3	Manejar hasta 2048 puntos de entrada y salida					0.6	0.6	
4	Manejar hasta 8192 puntos de entrada y salida							0.6
Operaciones matemáticas								
5	No requiere operaciones matemáticas	0.1	0.1					
6	Efectuar operaciones aritméticas			0.1	0.3	0.3	0.3	0.3
7	Efectuar operaciones raíces cuadradas y decimales					0.3	0.3	0.3
8	Operaciones trigonométricas y de punto flotante							0.5
Configuración de uso								
9	Es para uso local	0.5	0.5	0.3	0.3			
10	Es para uso remoto tipo LAN			0.3	0.3	0.5	0.5	
11	Es para uso remoto tipo WAN							0.5
Capacidad de comunicación								
12	No tiene capacidad de comunicación alguna	0.1	0.1					
13	Comunicación vía puerto serial RS-232			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
14	Comunicación vía puerto serial RS-485 o IEEE-488					0.1	0.1	0.1
15	Comunicación con redes de computadoras						0.3	0.3
Funciones especializadas								
16	Función especializada : contadores	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17	Función especializada : temperatura		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

TABLA 8.3. FACTORES DE CONFORMIDAD		P	A	M	B	G	C	X
18	Función especializada : ASCII			0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
19	Función especializada : PID				0.3	0.3	0.3	0.3
20	Función especializada : control de posición, LIFO-FIFO						0.3	0.3
	Tipo de señales							
21	Manejar señales digitales	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
22	Manejar señales analógicas		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Modo de programación							
23	Programación es básica con unidades manuales	0.1	0.1					
24	Programación es básica con monitores			0.1	0.1			
25	Programación es gráfica con monitores					0.1	0.1	
26	Programación gráfica con terminales de computadora							0.1

4. Implementación del PLCXPERT

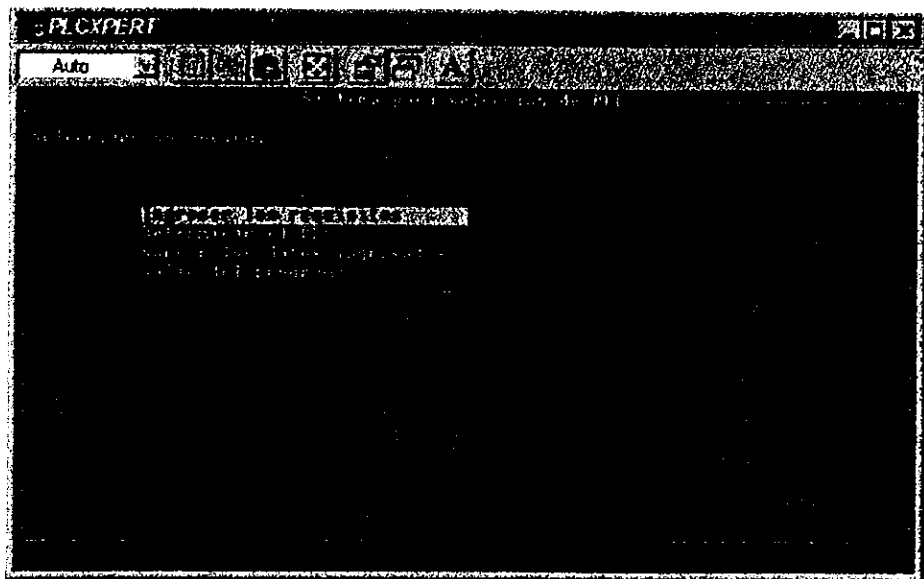
El archivo ejecutable para correr la aplicación desarrollada en Prolog se llama PLCXPERT.EXE y está en el directorio \SOFTWARE\PROLOG y corre en ambiente MS-DOS (puede correr también en Windows pero no es una versión especial).

El programa funciona mediante una serie de menús en el que las distintas opciones se seleccionan mediante las flechas del teclado.

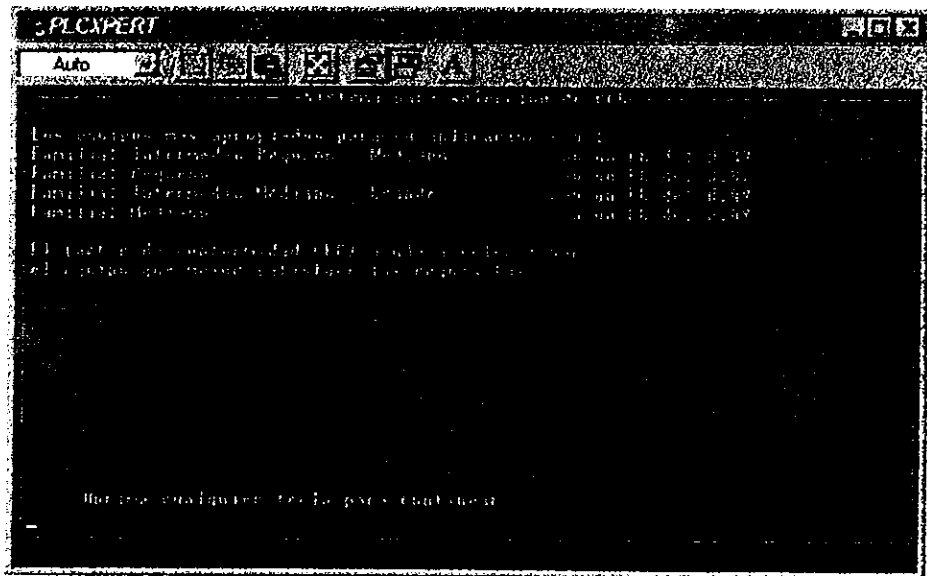
Una vez ingresado al programa aparece el menú principal en la pantalla.

La primera opción, Ingresar los requisitos, es el medio para ingresar los requerimientos de operación de la aplicación que se está diseñando. Para ello se presenta un menú con los distintos grupos de requisitos, en un pantalla similar a la siguiente :

La opción "Salir" permite regresar al menú principal luego de ingresar los requisitos de la aplicación a diseñar. Mediante la opción "Determinar el PLC", el programa evalúa las distintas reglas, calcula el factor de conformidad y ofrece sus recomendaciones.



La opción de “Borrar los datos ingresados” permite realizar otro análisis sin necesidad de reiniciar el programa. Finalmente la opción “Salir del programa” sirve para terminar la ejecución del programa



El listado del programa se encuentra en el apéndice D.

La aplicación desarrollada con el *shell* de Summers está en el directorio \SOFTWARE\SHELL y se corre con el ejecutable ES.EXE que corre también en

ambiente MS-DOS. Más información sobre este programa se encuentra en el archivo ESDOC.

Para ejecutar esta aplicación el procedimiento, una vez cargado el programa, es : 1) A partir de la opción *File*, y dentro de ella *Load knowledge base*, seleccionar la base PLC.KB. 2) Abrir el menú de *Consult* y seleccionar *Backward chain*. Mediante una serie de preguntas ir ingresando los requerimientos del sistema. Es recomendable responder a todas las preguntas. Si alguna de las opciones no tiene una respuesta específica seleccionar *Unknown*. Este sistema evalúa las reglas al mismo tiempo que se van ingresando los datos. Si en cierto momento éste alcanza una conclusión o se acaban los requerimientos el programa retorna y la subopción *display Conclusions* presenta los resultados.

Esta aplicación tiene el inconveniente de que el programa fuente está en inglés y no se puede modificar, por lo que los menús están en dicho idioma y las selecciones en español. Por otro lado tiene las ventajas de tener más opciones, entre las que destacan la posibilidad de modificar la base datos, solicitar más información sobre las preguntas y las opciones, y hace búsquedas hacia adelante (*Forward chain*).

5. Prueba del PLCXPRT

La primera prueba se enfocó en depurar y documentar el programa. Una vez el programa funcionó sin mayor dificultad se realizaron pruebas de decisión. En términos generales el sistema, gracias al factor de conformidad, ofrece una buena idea de cuál es la familia más adecuada para el problema indicado. Por ejemplo, los datos de las pantallas modelo corresponden a la ejemplificación de las cámaras de vulcanización.

Sin embargo, se pueden notar algunas mejoras para versiones futuras. Primero, como se mencionó con anterioridad, es posible sustituir las familias por productos reales, disponibles en el mercado. Este cambio permitiría permitir tomar mejores decisiones al

incluir precios en la información, así como datos de los proveedores.

Otra mejora al sistema desarrollado en Prolog es dotarle de una base de datos independiente, externa al listado del programa. El manejo de una base de datos de éste tipo permite incluir opciones de actualización de la misma, de manera que se puedan modificar los datos e incluso grabar información de equipos nuevos.

Finalmente, se puede agregar una función de verificación que elimine opciones por insuficientes. En el sistema actual la información de salida es un listado ordenado de acuerdo al valor del factor de conformidad. Aún cuando hay un valor de decisión que elimina todas las opciones con un punto muy bajo, es posible que se sugieran opciones que en la práctica se invalidan. Por ejemplo si uno de los requerimientos es manejar señales analógicas, un PLC pequeño debiera quedar eliminado, aún cuando satisfaga todos los demás requisitos.

Es importante reforzar el hecho que el propósito de el sistema actual es mostrar como un sistema experto junto a un método de diseño como el ofrecido en este trabajo le pueden facilitar al ingeniero en sus proyectos de diseño.

IX. CONCLUSIONES

1. La automatización y sus tecnologías son herramientas que permiten aumentar la productividad de las empresas. No obstante, los beneficios son mucho mayores cuando se utilizan con la gente (enfoque etnocéntrico) que contra la gente (tecnocéntrico).
2. Los PLCs, controladores lógicos programables, son una tecnología de gran utilidad para la automatización de procesos industriales. Esta tecnología, como cualquier otra, debe ser debidamente administrada para que su uso dé los resultados esperados, tanto en eficiencia como en efectividad.
3. Los PLCs facilitan la automatización especialmente en las primeras etapas de integración así como en los casos en que la disponibilidad de recursos es limitada.
4. El seguimiento de un proceso ordenado, bien estructurado y probado, aumenta las probabilidades de éxito de un proyecto de automatización.
5. El proceso sugerido se puede resumir como :

A) EL PLAN DE AUTOMATIZACIÓN DE LA EMPRESA (CAPÍTULO 2)

Es importante que la automatización sea vista como una estrategia gerencial. En el capítulo 2 se dan algunas sugerencias en cuanto a que puntos considerar en la planificación, cual es el papel de la alta gerencia y como justificar un programa de automatización. Para desarrollar un programa de automatización con PLCs este paso no es indispensable pero si deseable, ya que los controladores programables se pueden utilizar como una etapa inicial dentro de ese mismo plan.

i. Justificación conceptual

Comprender que es automatización y las tecnologías asociadas. Explicar los efectos de la tecnología en la empresa. Identificar a los involucrados y sus

necesidades. Finalmente presentar una propuesta a la gerencia.

ii. Justificación del equipo

En este caso se trata de identificar la tecnología más adecuada, estudiar las necesidades y expectativas de los interesados y afectados.

B) COMPRENDER EL PROBLEMA DE APLICACIÓN DEL PLC (CAPÍTULO 3)

Con los PLC se puede tanto modernizar maquinaria como diseñar máquinas nuevas. Aunque el procedimiento de cálculo es muy similar el punto de partida no lo es, y por ello es importante distinguirlos

i. Modernización de maquinaria

Empieza por entender el funcionamiento original de la máquina o proceso, comprender la lógica y simplificarla. Finalmente se asignan direcciones y se codifica la lógica en lenguaje del PLC

ii. Diseño de máquinas nuevas

La descripción de lo que se quiere que haga la máquina es el punto de partida, se identifican rutinas de operación típicas y se flujodiagrama el proceso. Del diagrama de flujo se pasa al direccionamiento y la codificación.

C) SELECCIÓN DEL HARDWARE (CAPITULO 4)

i. Determinar entradas y salidas

Localización, tipos de módulos y cantidades requeridas

ii. Determinar el PLC más apropiado

Capacidad de manejo de puertos, cantidad de memoria, y tipo de programación

iii. Configuración de entradas y salidas

Cuantificación de entradas y salidas por tipo, asignación de direcciones reales, y diagramas de entradas y salidas

D) DESARROLLO DEL SOFTWARE (CAPITULO 5)

i. Definir el problema

Descirbir el funcionamiento del sistema

ii. Describir el desempeño externo del sistema

Listar las entradas, salidas y demás variables primarias del sistema

iii. Definir el desempeño interno del sistema

Definir estados válidos y condiciones de transición

iv. Diagrama de entradas y salidas (proceso)

Hacer un diagrama de estado en el que se representan todos los estados válidos, los estados de salidas y las condiciones de cambio

v. Codificar el sistema

vi. Deducir y simplificar ecuaciones lógicas de operación

vii. Derivar ecuaciones de salida

E) DOCUMENTACIÓN DEL PROGRAMA (CAPITULO 5)

i. Identificación del programa y sistema

ii. Abstracta

iii. Configuración del sistema

iv. Diagramas de conección de entradas y salidas

v. Asignación de entradas y salidas

vi. Asignación de registros

vii. Listado del programa

viii. Listas de referencias

6. Existen otras tecnologías que ayudan a aumentar la productividad de los proyectos de diseño. Una de ellas son los sistemas expertos que ponen a disposición de los ingenieros el conocimiento necesario para seguir un proceso de diseño o parte de él.

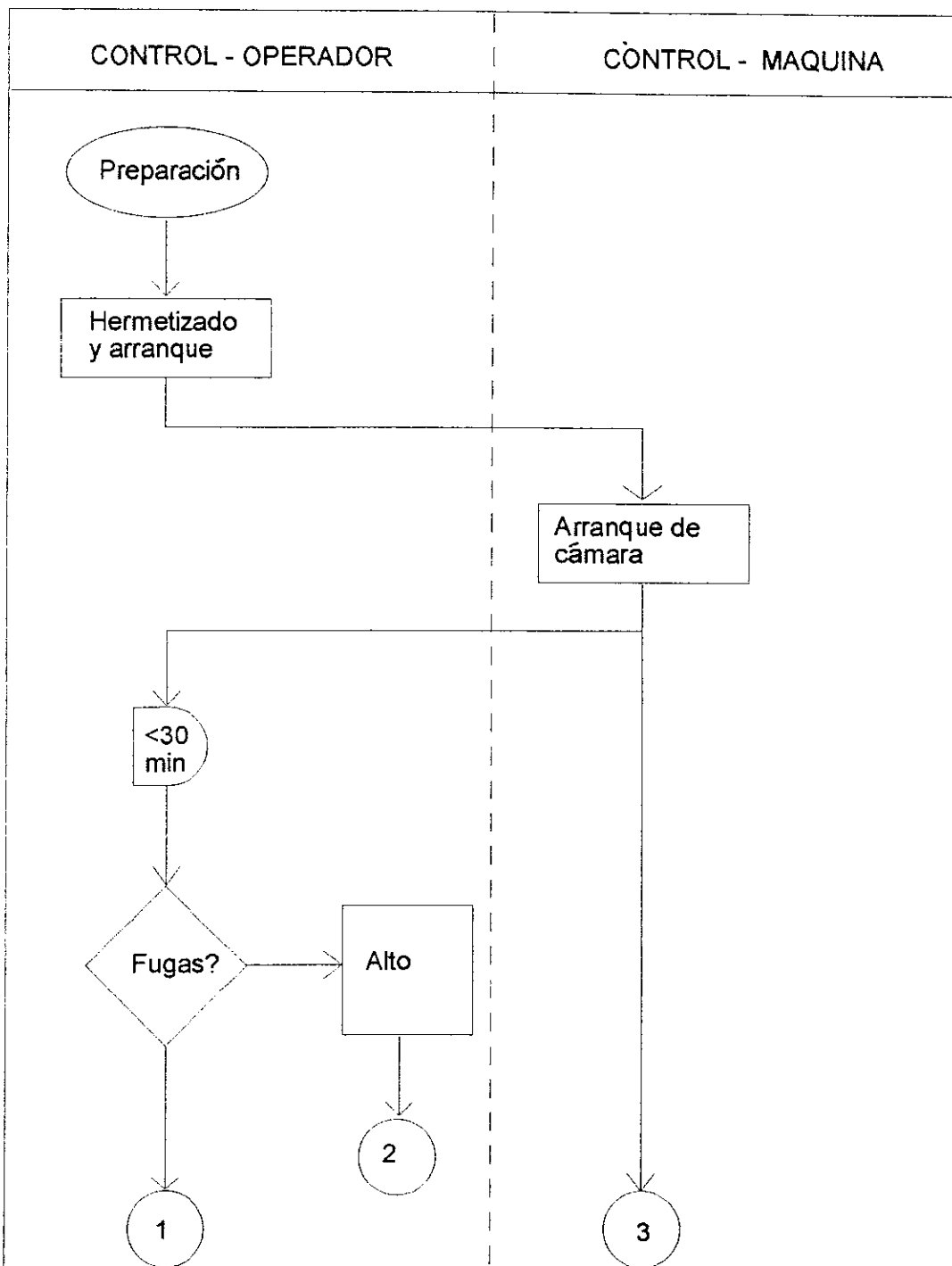


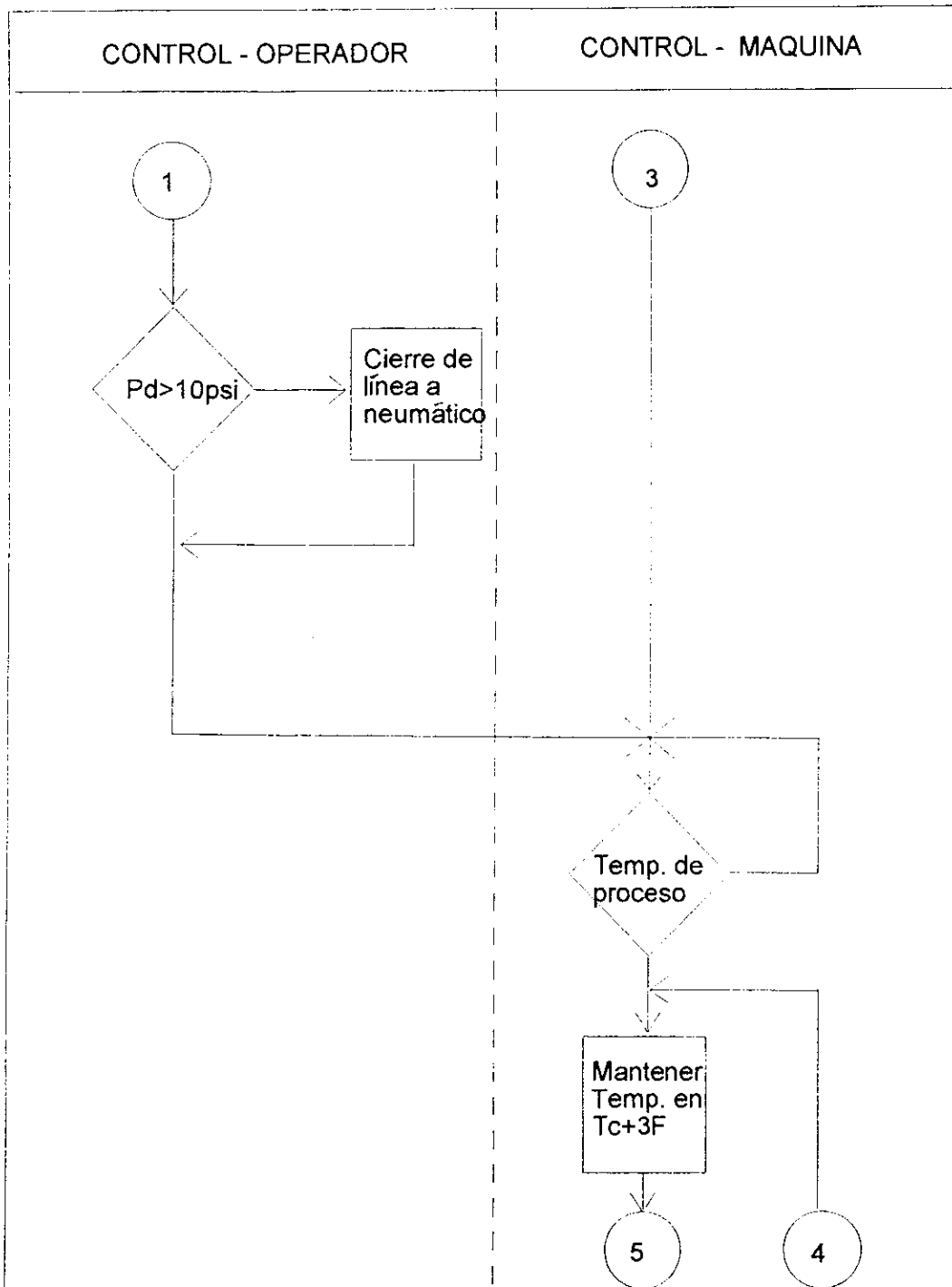
X. BIBLIOGRAFIA

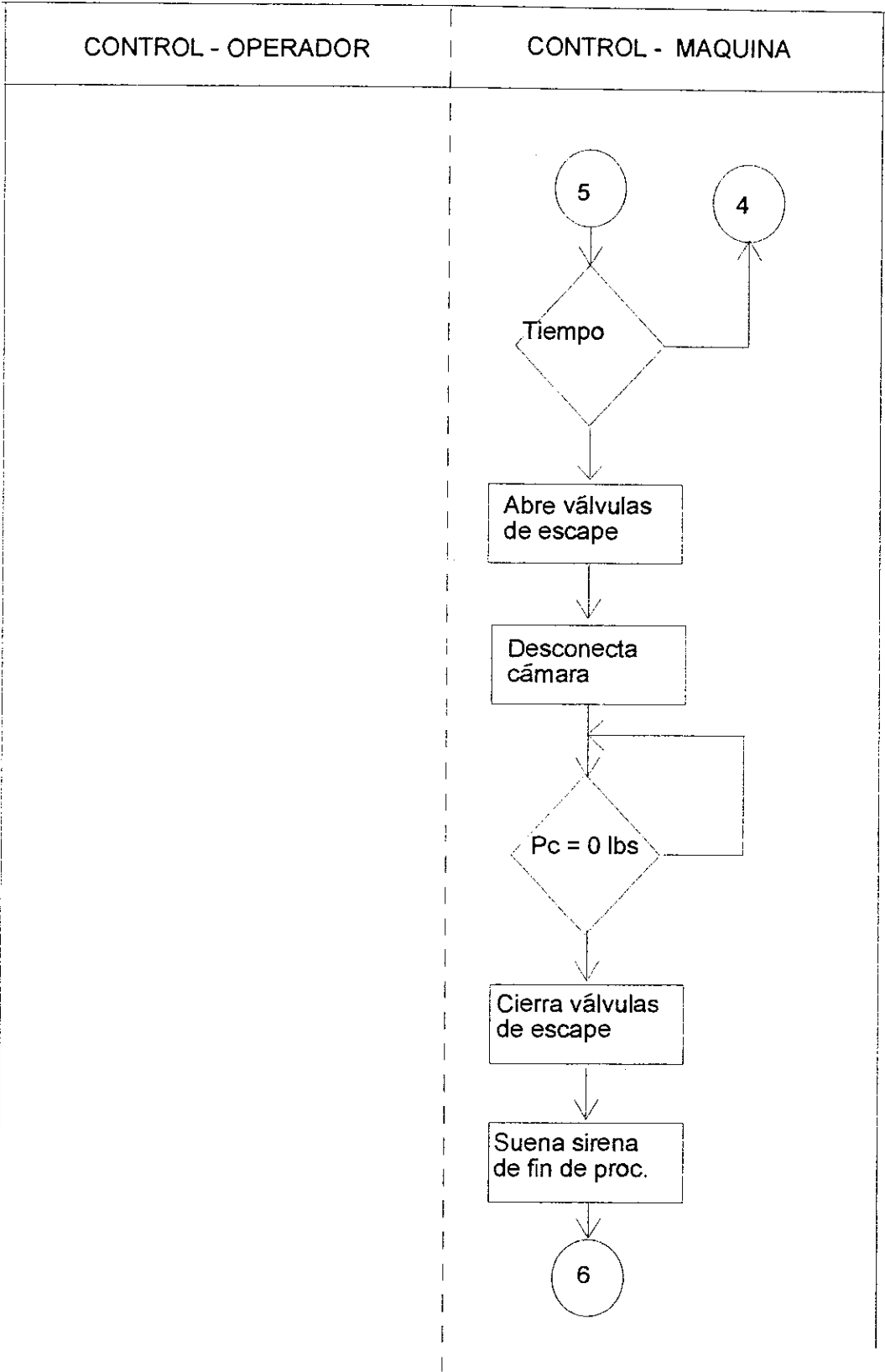
- Beaty, C. A. "Implementing advanced manufacturing technologies: Rules of the road".
1993 IEEE Engineering management review. (EUA); 21 (4): 56-64.
- Berger, H. La automatización con S5-115U. Alemania, Siemens. 1987. 368 pp.
- Berkstresser, G. III y D. Buchanan. Automation and robotics in the textile and apparel
1986 industries. EUA, Noyes Publications. 328 pp.
- Boaden, R. y B. Dale. "Justification of Computer-Integrated Manufacturing: some
1990 insights into the practice". IEEE Transactions on engineering management.
(EUA) 37 (4): 291-295.
- Case, R. y N. Aquilano. Production & operations management. EUA, IRWIN.
1992. 1062 pp.
- Controladores programables industriales. EUA, Energy Concepts Inc. 1990. 378 pp.
- Curso SIM A1, Introducción al Simatic S5. Guatemala, Siemens 1991. 78 pp.
- Deming, W. E. The New economics, for industry, government, education EUA,
1993 Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering
Study. 240 pp.
- Dimitris, Ch. Applying expert systems in business. EUA, McGraw-Hill. 1987. 232 pp.
- Ebel, K. Computer-Integrated Manufacturing: The social dimension. Suiza, Oficina
1990 Internacional del Trabajo. 90 pp.
- Expert Systems : Integration with databases and real-time systems. EUA, IEEE
1990 Videoconferences Seminars Via Satellite. 122pp.
- Farhoomand, A.; D.S. Kira, y J. Williams. "Managers' perception towards automation in
1990 manufacturing". IEEE Transactions on engineering management. (EUA) 37
(3): 228-232.
- Gray, R.D. "PCs - state of the art". Proceedings de la primera conferencia europea sobre
1985 controladores programables. 7-11
- Huang, P. Y. y M. Sakurai. "Factory automation: The Japanese experience". IEEE
1990 Transactions on engineering management. (EUA) 37 (2): 102-108.
- King, B. Expert systems in manufacturing. Reino Unido, School of Computing and
1993 Information Systems, University of Sunderland. 20 pp

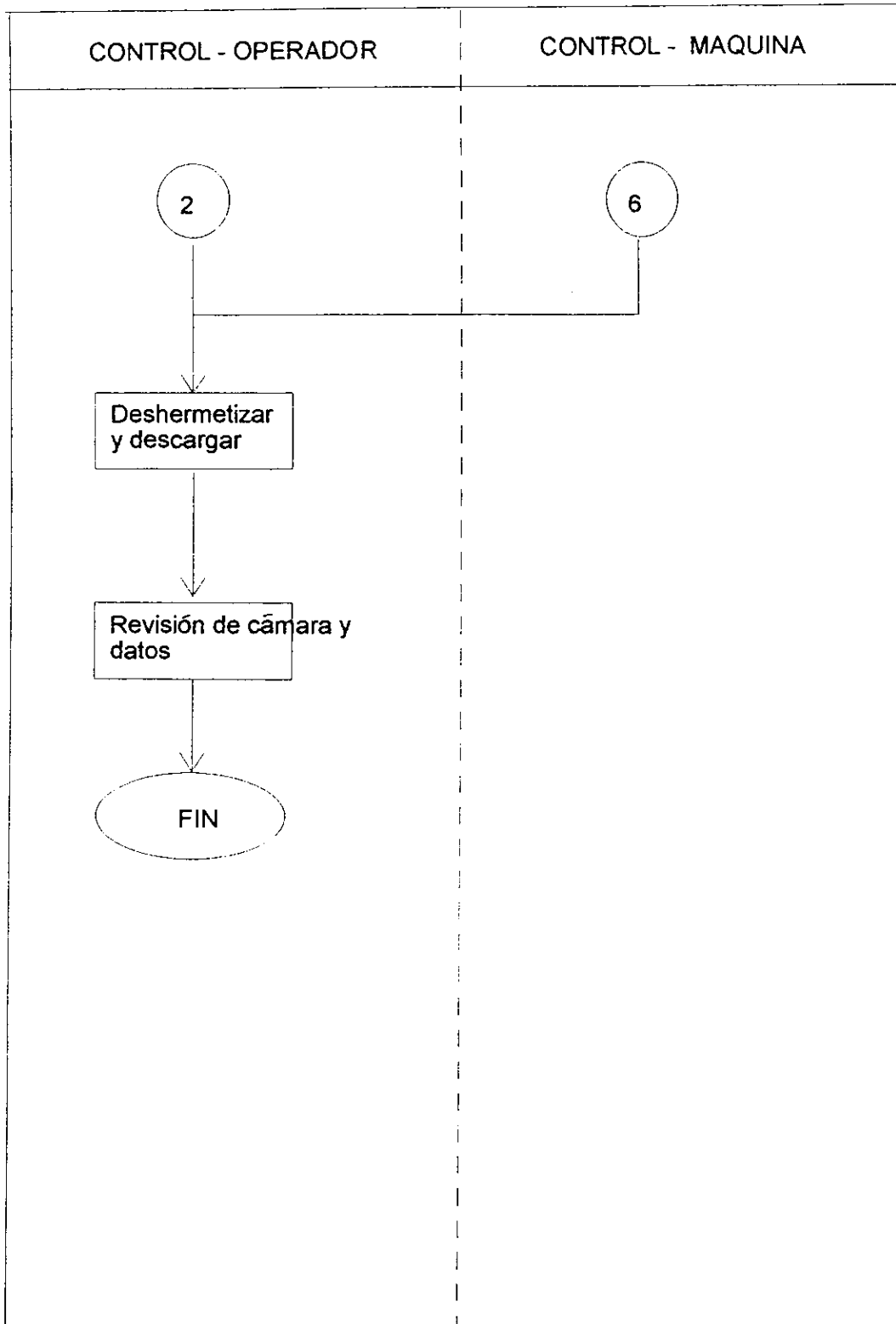
- Jones, C. Programmable Controllers: Concepts and applications EUA, IPC/ASTEC. 1983. 329 pp.
- Mano, M. Lógica digital y diseño de computadores. México, Prentice Hall 1988 Hispanoamericana, S.A. 636 pp.
- Manual de operación del proceso de reencauche. EUA, Bandag Inc. 1988.
- MIKE. Micro Interpreter for Knowledge Engineering. Reino Unido, The Open 1990 University. 87 pp.
- Schuler, Ch. y W. McNamee. Industrial electronics and robotics. EUA, McGraw-Hill. 1986. 474 pp.
- Seadle, M. Automated mainframe management. McGraw-Hill. EUA 1991. 394 pp.
- Sloan, J. "Advance PLC program design". Western Canada first programmable control 1987 systems conference and exhibition - WESCANEX '87. Conference proceedings. IEEE Region 7 & IEEE Northern Canada Section: 44-48.
- Struger, Odo J. "Programmable controllers - past and future". Proceedings de la primera 1985 conferencia europea sobre controladores programables. 1-6.
- Summers, E. ES Expert System. EUA, Eric Summers. 1990. 43 pp.
- Townsend, C. Advanced techniques in turbo prolog. EUA, Sybex 1987. 398 pp.
- _____. Mastering expert systems with turbo prolog. EUA, Howard W. Sams & Co. 1987b. 257 pp.
- Waterman, D. A. A guide to expert systems. EUA, Adison-Wesley Publishing Co. Inc. 1986 419 pp.
- Wilhelm, R. E. Programmable controller handbook. EUA, Hayden Book. 1985. 718 pp.

APENDICE A
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO











APENDICE B
DIAGRAMA DE MANDO Y POTENCIA DEL SISTEMA

DIAGRAMA ACTUAL DE MANDO

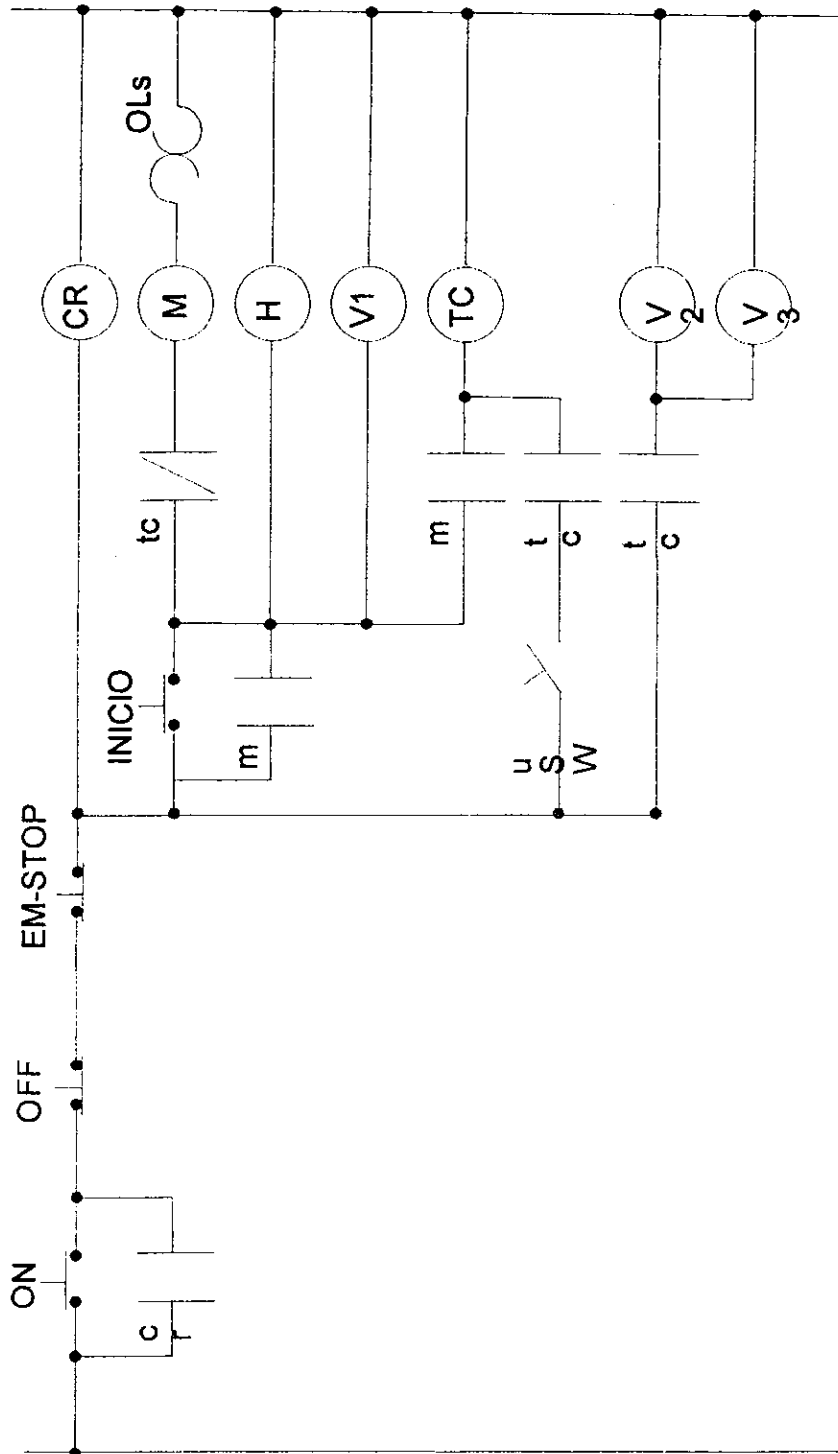
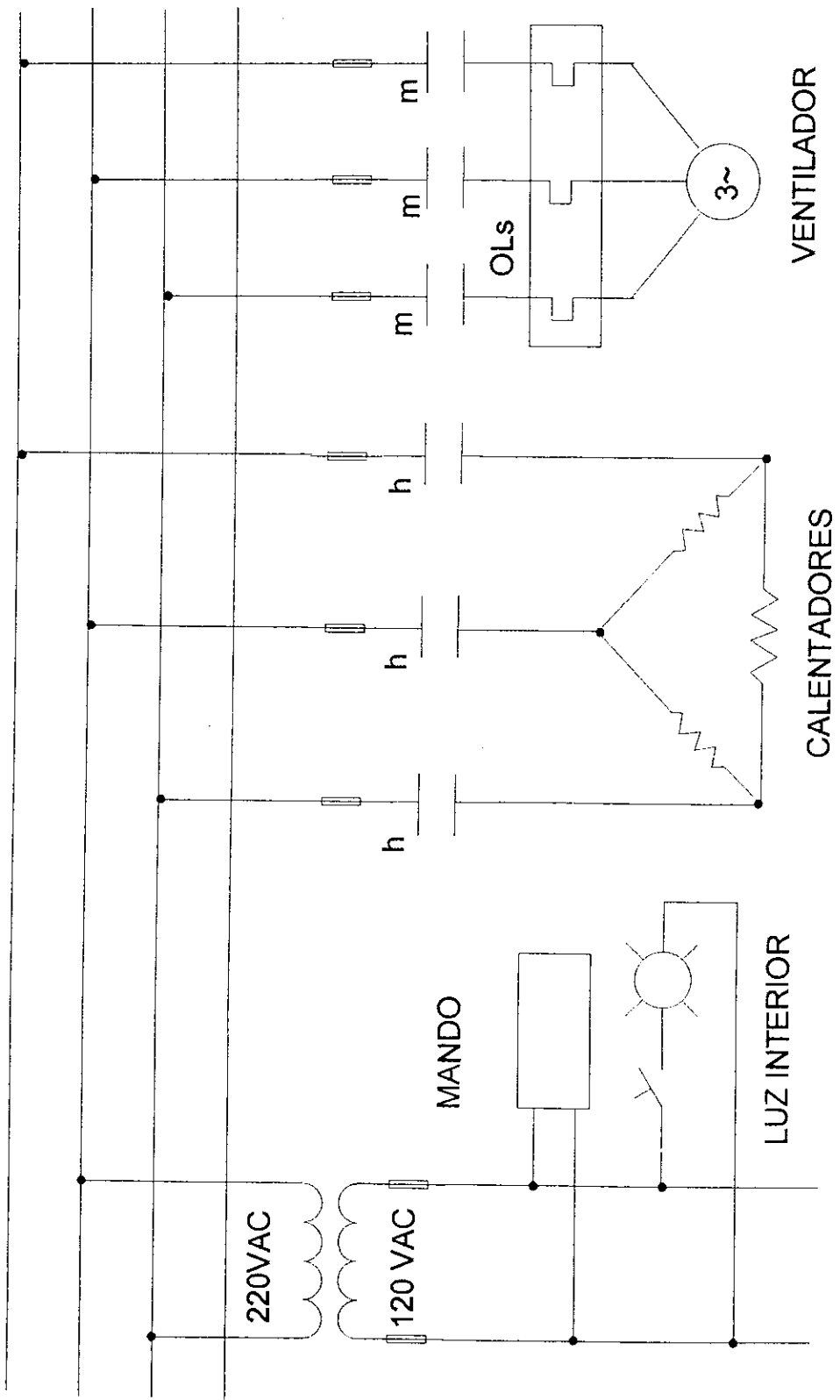
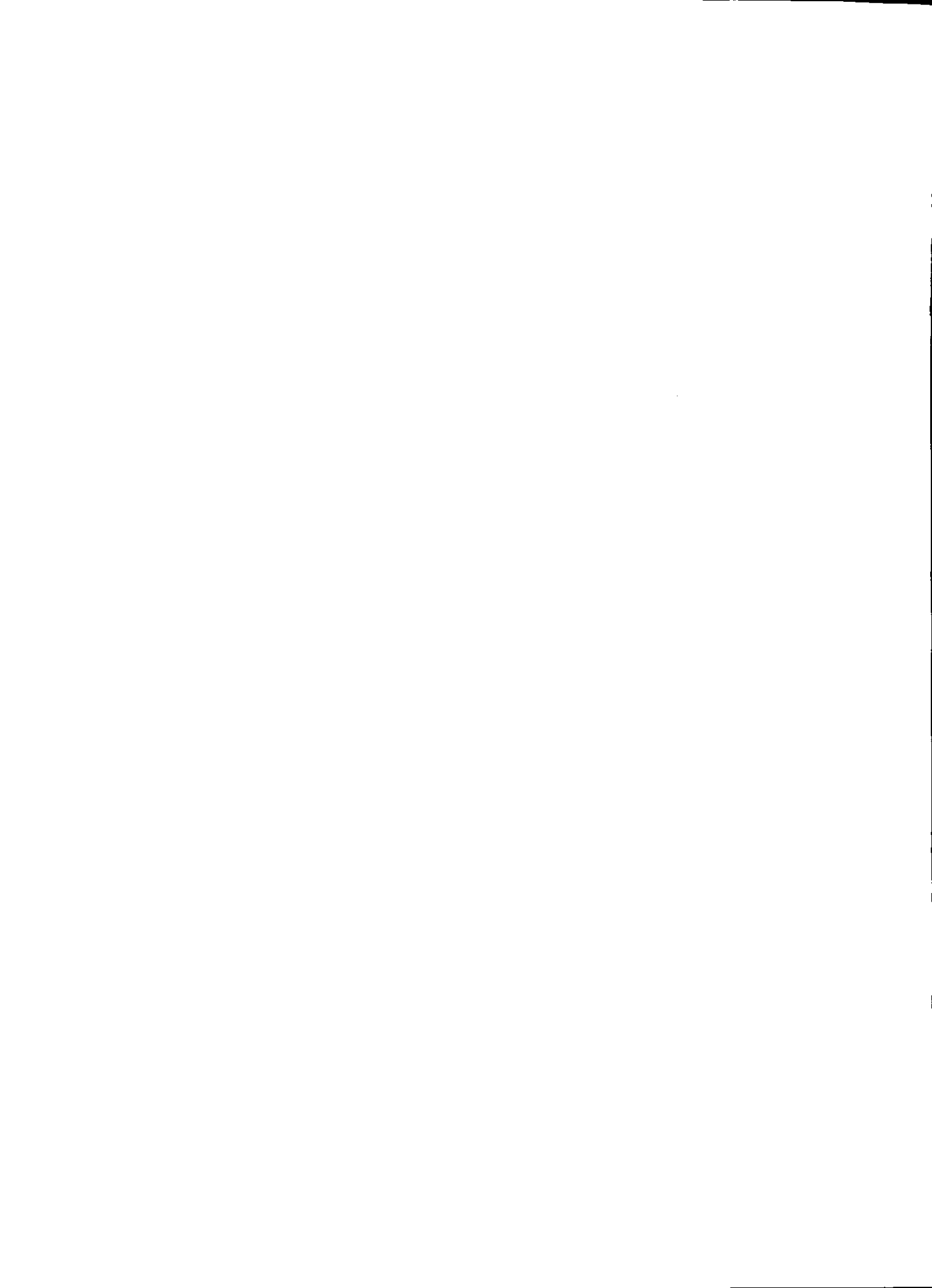


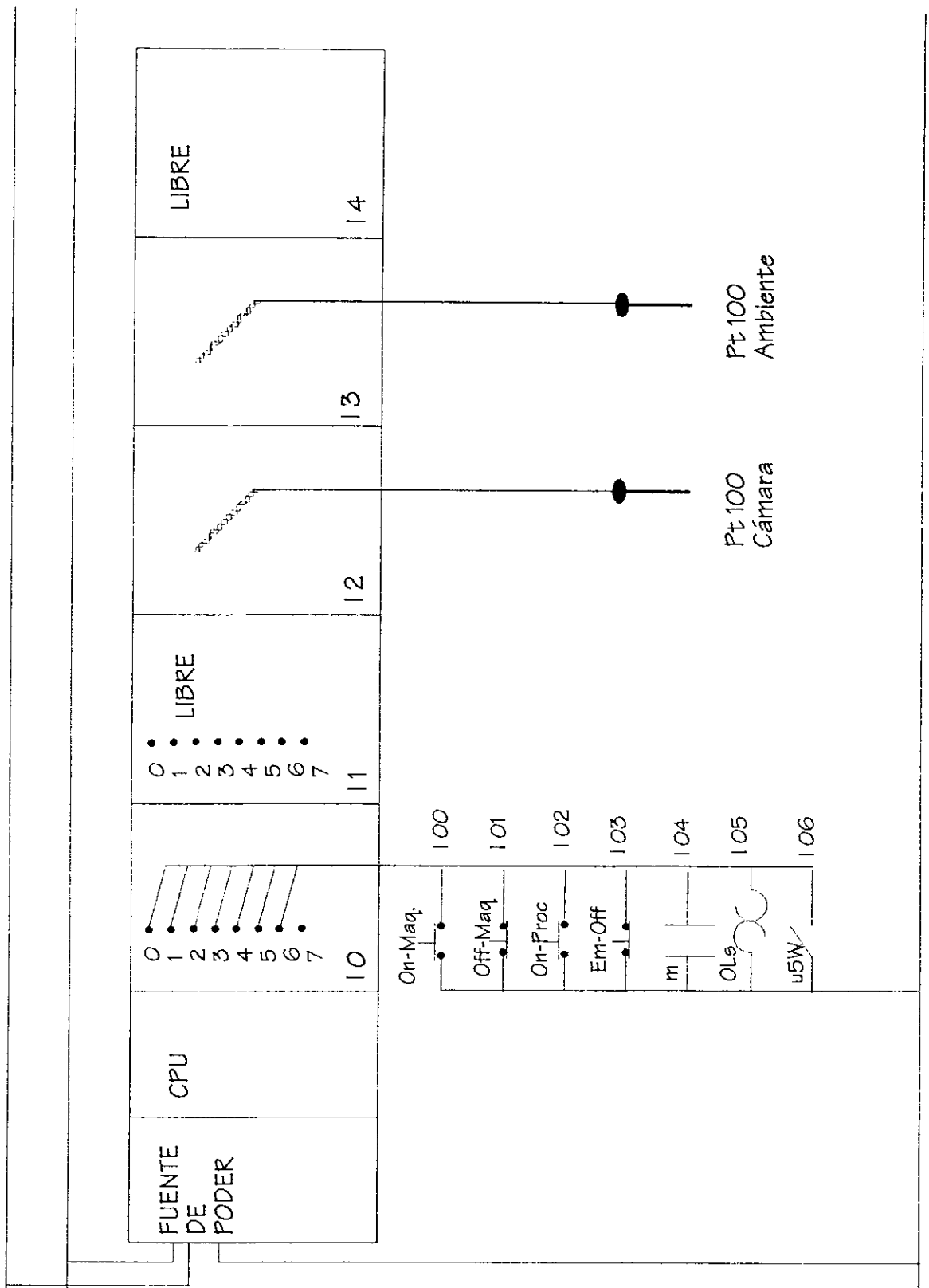
DIAGRAMA ACTUAL DE POTENCIA

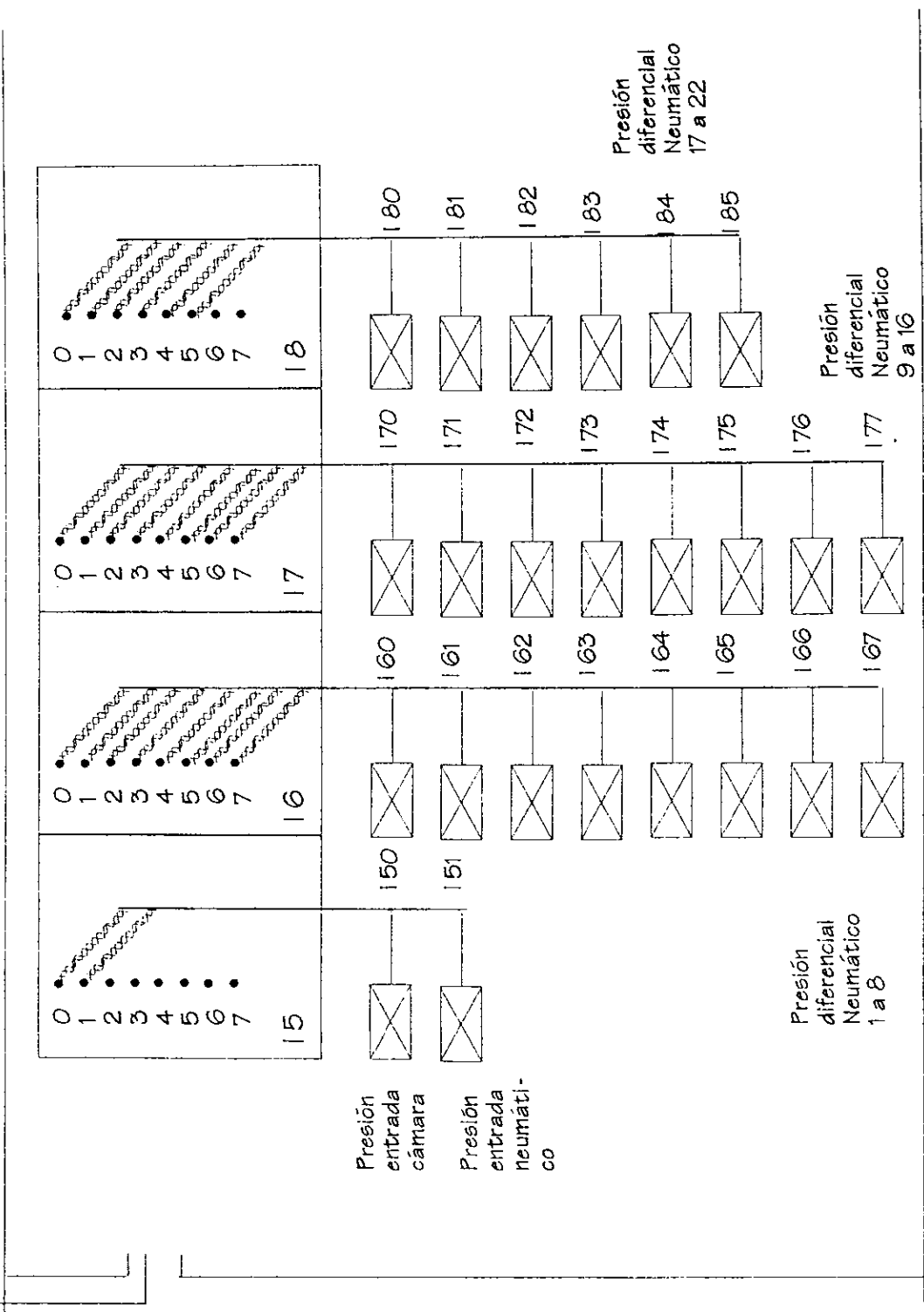


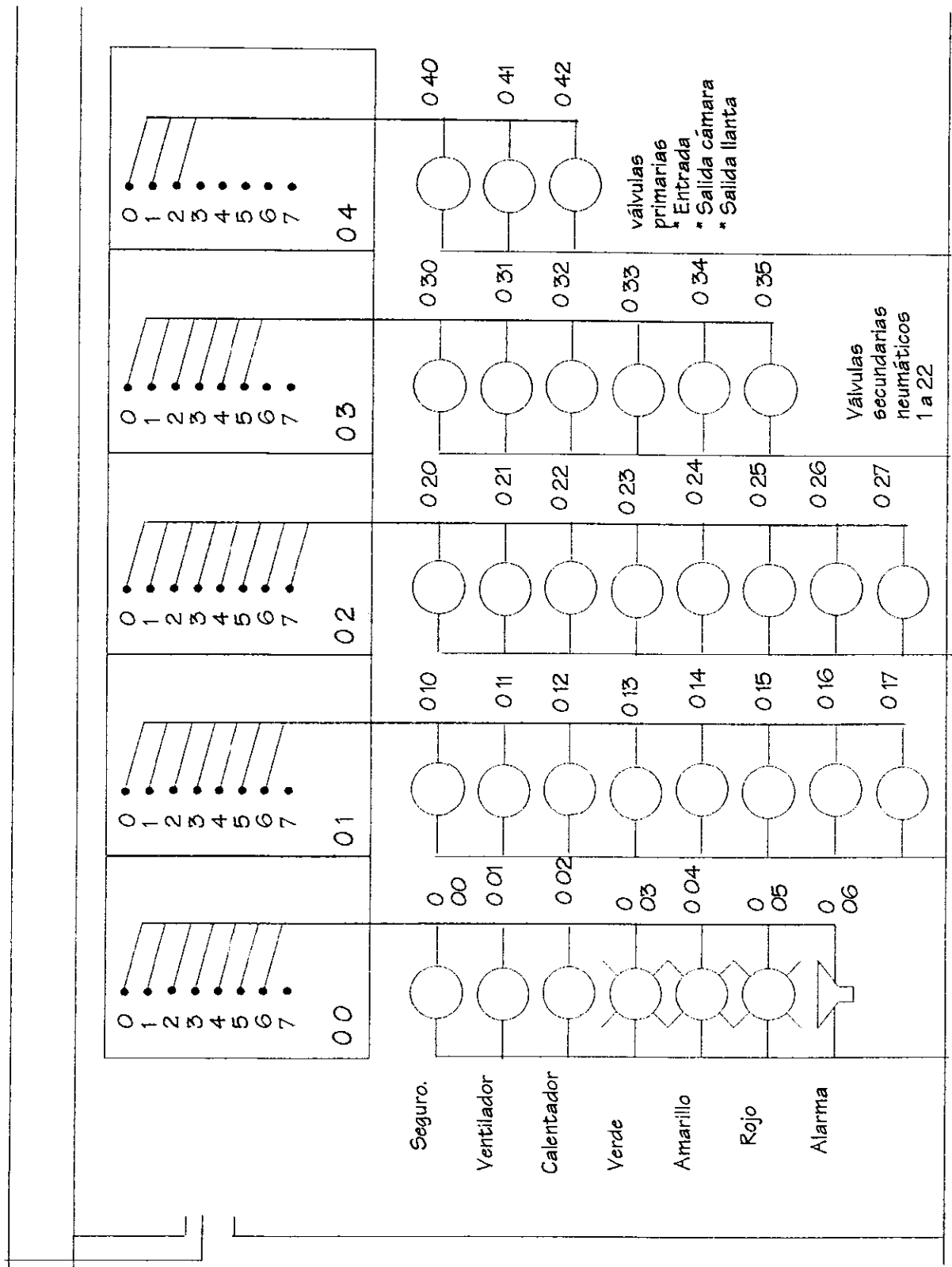


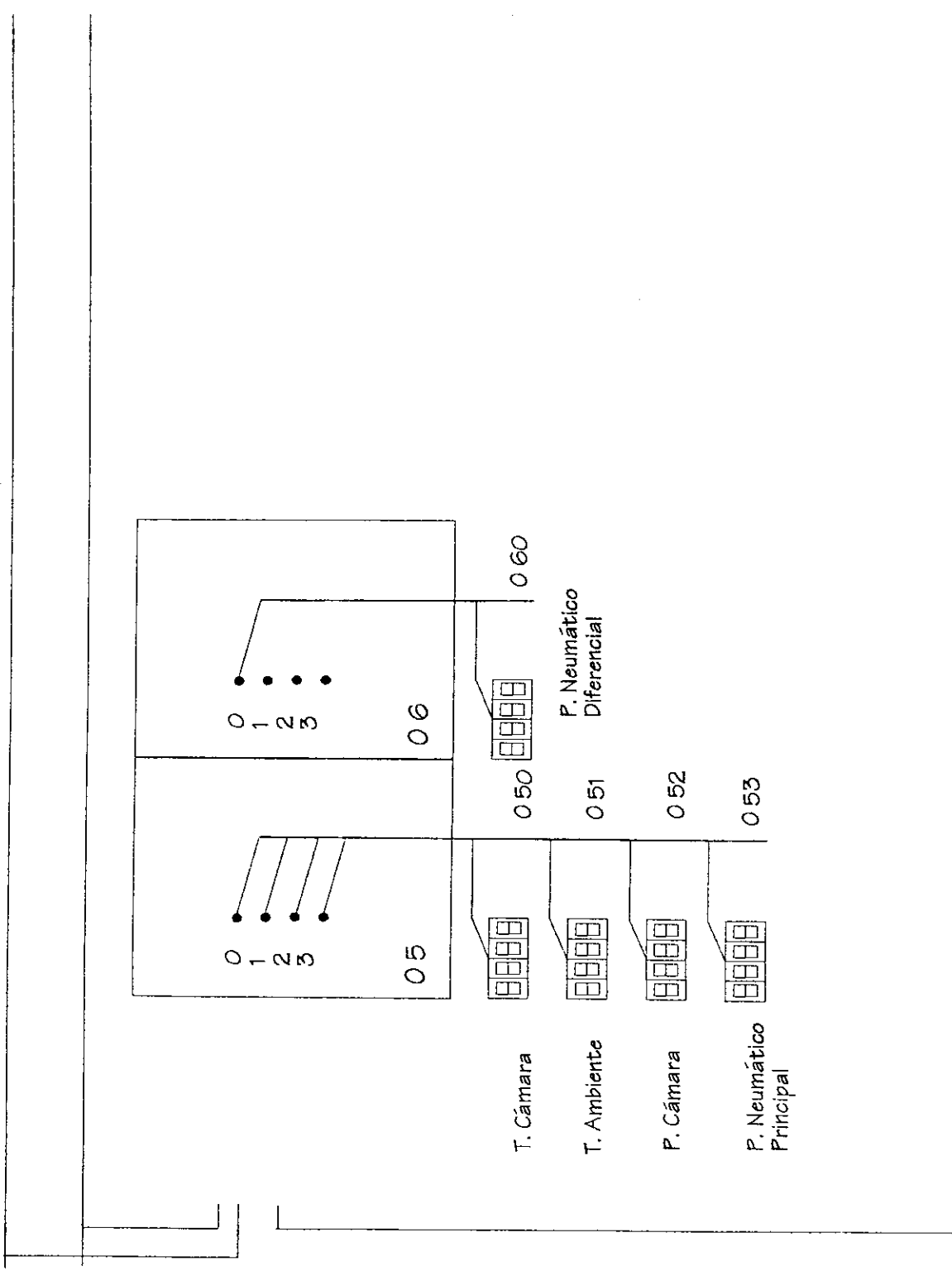
APENDICE C

DIAGRAMA DE MANDO DEL SISTEMA MODIFICADO











APENDICE D

LISTADO DE PROGRAMA PLCXPERT.PRO

code = 4000

/* Sistema experto para la selección de un PLC

Este sistema no pretende ser muy exhaustivo pero si una aproximación a un método fácil y sistemático de selección de equipos a partir de los requerimientos de operación

Una mejora al mismo puede ser la selección de productos específicos disponibles en el mercado, en lugar de familias. Además el uso de archivos de bases de datos dinámicos actualizables a partir de información de catálogos.

Autor: José Antonio López

Universidad del Valle de Guatemala

febrero 1997 Versión 3.2

Desarrollado en Turbo Prolog 1.1 de Borland para ser usados en sistemas IBM compatible */

Domains

plckind = string

specs = symbol

reply = char

pred = dbkinds(plckind,real)

predlist = reference pred*

Database

dbkinds(plckind,real)

dbrequisitos (specs,integer)

xflag(integer)

/* se utiliza el programa de Menú de Borland que es parte de Prolog 1.1 */

Include "menu.pro"

Predicates

run

main_menu

clear_facts

process(specs, integer)

decision(plckind)

conclude(plckind, real)

go_choice(integer)

branch_main(integer)

writelstx

writeout(plckind, real)

setflag0

setflag1

keysort(predlist, predlist, predlist)

split(pred, predlist, predlist, predlist)

mod_plc(pred)

pushlist(predlist)

db_sort

cf_compar(predlist)

retractall

Goal

run.

Clauses

```
/* Este es el procedimiento marco que da inicio al programa */
```

```
run:-
```

```
    makewindow(1,7,7,"Sistema para selección de PLC",0,0,24,80),
```

```
    clear_facts,
```

```
main_menu,
```

```
    cursor(20,5),
```

```
    write("Desea hacer otra consulta (s/n) ?"),
```

```
    readchar(Reply),nl,!,
```

```
    Reply = 's',
```

```
    removewindow,
```

```
    clear_facts,
```

```
    run.
```

```
run.
```

```
/* Menú principal para seleccionar las opciones de consulta */
```

```
main_menu:-
```

```
    clearwindow,
```

```
    cursor(1,0),
```

```
    write("Seleccione su opción: "),nl,
```

```
    menu(5,10,
```

```
    ["Ingresar los requisitos",
```

```
    "Determinar el PLC",
```

```
    "Borrar los datos ingresados",
```

```
    "Salir del programa"],Choice),
```

```
    go_choice(Choice),
```

```

        Choice>0, Choice<5,

main_menu.

main_menu.

/* Menús secundarios para controlar la ejecución de las opciones */

go_choice(0).

go_choice(5).

go_choice(1):-
    clearwindow,
    cursor(1,0),
    write("Seleccione el tipo de requisito:"),nl,
    menu(5,20,
    ["Manejo de señales analógicas y digitales",
    "Capacidad de punto de I/O",
    "Capacidad de operaciones matemáticas",
    "Funciones especializadas",
    "Configuración de uso",
    "Capacidad de comunicación",
    "Modo de programación",
    "Salir"],
    Choice),
    branch_main(Choice),
    Choice>0, Choice<8,
    go_choice(1).

go_choice(1).

go_choice(2):-

```

```

        decision(_),fail.

go_choice(2):-
    setflag0,
    cursor(1,0),
    write("Los equipos más apropiados para su aplicación son :"),nl,
    db_sort,
    writelistx,
    cursor(20,5),
    write ("Oprima cualquier tecla para continuar"),nl,
    readchar(_).

go_choice(3):-
    clear_facts.

```

/* De la opción de ingreso de requisitos se derivan varias clases de requisitos, los siguientes menús presentan las opciones válidas para que sean seleccionadas */

```

branch_main(0).

branch_main(8).

branch_main(1):-
    clearwindow,
    cursor(1,0),
    write("Tipo de señales de I/O que debe controlar:"),nl,
    menu(5,35,
    ["Digitales",
    "Analógicas"],
    Anadigi),
    Specs=anadigi,

```

```

        process(Specs,Anadigi).

branch_main(2):-
    clearwindow,
    cursor(1,0),
    write("Número total de punto de I/O a controlar:"),nl,
    menu(5,35,
        ["Hasta 128 puntos",
        "Hasta 1024 puntos",
        "Hasta 2048 puntos",
        "Hasta 8192 puntos"],
        PtsIO),
    Specs=ptsIO,
    process(Specs,PtsIO).

branch_main(3):-
    clearwindow,
    cursor(1,0),
    write("Qué operaciones matemáticas requiere:"),nl,
    menu(5,35,
        ["Ninguna",
        "Aritméticas",
        "Raíz cuadrada y decimales",
        "Trigonómicas y punto flotante"],
        Math),
    Specs=math,
    process(Specs,Math).

```

```
branch_main(4):-  
    clearwindow,  
    cursor(1,0),  
    write("Qué funciones especializadas requiere:."),nl,  
    menu(5,35,  
        ["Ninguna o contadores",  
        "Temperatura",  
        "Códigos ASCII",  
        "Control PID",  
        "Control de posición"],  
        Specialty),  
    Specs=specialty,  
    process(Specs,Specialty).
```

```
branch_main(5):-  
    clearwindow,  
    cursor(1,0),  
    write("Cuál es la configuración de uso requerida:."),nl,  
    menu(5,35,  
        ["Control local",  
        "Control remoto tipo LAN",  
        "Control remoto tipo WAN"],  
        Network),  
    Specs=network,  
    process(Specs,Network).
```

```
branch_main(6):-
```

```

clearwindow,
cursor(1,0),
write("Qué medio de comunicación requiere:"),nl,
menu(5,35,
["Sin comunicación",
"Puerto serial RS-232",
"Puerto serial RS-486 o IEEE-488",
"Comunicación con redes de computo"],
Communica),
Specs=communica,
process(Specs,Communica).

```

branch_main(7):-

```

clearwindow,
cursor(1,0),
write("Qué tipo de programación desea"),nl,
menu(5,35,
["Básica con unidades manuales",
"Básica con monitores",
"Gráfica con monitores",
"Gráfica con terminales de computadora"],
Programming),
Specs=programming,
process(Specs,Programming).

```

/ Rutina para borrar los datos ingresados */*

```
clear_facts:-
```

```
retract(dbrequisitos(_,_)),fail.
```

```
clear_facts:-
```

```
    retract(dbkinds(_,_)),fail.
```

```
clear_facts.
```

```
/* Rutina para editar la base de datos de requerimientos */
```

```
process(Specs,Choice):-
```

```
    retract(dbrequisitos(Specs,Choice)),
```

```
    assertz(dbrequisitos(Specs,Choice)).
```

```
process(Specs,Choice):-
```

```
    assertz(dbrequisitos(Specs,Choice)).
```

```
/* Los siguientes segmentos definen las características de cada una de las familias de PLC, además de  
asignar un factor de conformidad (CF) */
```

```
/* MUY GRANDE */
```

```
decision(muygrande):-
```

```
    dbrequisitos(anadigi,1),
```

```
    conclude("Muy Grande",0.1).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
    dbrequisitos(anadigi,2),
```

```
    conclude("Muy Grande",0.1).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
    dbrequisitos(ptsIO,4),
```

```
    conclude("Muy Grande",0.6).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
    dbrequisitos(math,2),
```

```
    conclude("Muy Grande",0.3).
```

```
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(math,3),
        conclude("Muy Grande",0.3).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(math,4),
        conclude("Muy Grande",0.5).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(specialty,1),
        conclude("Muy Grande",0.1).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(specialty,2),
        conclude("Muy Grande",0.1).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(specialty,3),
        conclude("Muy Grande",0.3).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(specialty,4),
        conclude("Muy Grande",0.3).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(specialty,5),
        conclude("Muy Grande",0.3).
decision(muygrande):-
    dbrequisitos(network,3),
        conclude("Muy Grande",0.5).
decision(muygrande):-
```

```
dbrequisitos(communica,2),
    conclude("Muy Grande",0.1).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
dbrequisitos(communica,3),
    conclude("Muy Grande",0.1).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
dbrequisitos(communica,4),
    conclude("Muy Grande",0.3).
```

```
decision(muygrande):-
```

```
dbrequisitos(programming,4),
    conclude("Muy Grande",0.1).
```

```
/* INTER "C" */
```

```
decision(interC):-
```

```
dbrequisitos(anadigi,1),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
```

```
decision(interC):-
```

```
dbrequisitos(anadigi,2),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
```

```
decision(interC):-
```

```
dbrequisitos(ptsIO,3),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.6).
```

```
decision(interC):-
```

```
dbrequisitos(math,2),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
```

```
decision(interC):-
```

```
dbrequisitos(math,3),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
decision(interC):-
dbrequisitos(specialty,1),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
decision(interC):-
dbrequisitos(specialty,2),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
decision(interC):-
dbrequisitos(specialty,3),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
decision(interC):-
dbrequisitos(specialty,4),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
decision(interC):-
dbrequisitos(specialty,5),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
decision(interC):-
dbrequisitos(network,2),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.5).
decision(interC):-
dbrequisitos(communica,2),
    conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
decision(interC):-
dbrequisitos(communica,3),
```

```

        conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
decision(interC):-
    dbrequisitos(communica,4),
        conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.3).
decision(interC):-
    dbrequisitos(programming,3),
        conclude("Intermedio Grande - Muy Grande",0.1).
/* GRANDE */
decision(grande):-
    dbrequisitos(anadigi,1),
        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(anadigi,2),
        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(ptsIO,3),
        conclude("Grande",0.6).
decision(grande):-
    dbrequisitos(math,2),
        conclude("Grande",0.3).
decision(grande):-
    dbrequisitos(math,3),
        conclude("Grande",0.3).
decision(grande):-
    dbrequisitos(specialty,1),

```

```

        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(specialty,2),
        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(specialty,3),
        conclude("Grande",0.3).
decision(grande):-
    dbrequisitos(specialty,4),
        conclude("Grande",0.3).
decision(grande):-
    dbrequisitos(network,2),
        conclude("Grande",0.5).
decision(grande):-
    dbrequisitos(communica,2),
        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(communica,3),
        conclude("Grande",0.1).
decision(grande):-
    dbrequisitos(programming,3),
        conclude("Grande",0.1).
/* INTER "B" */
decision(interB):-
    dbrequisitos(anadigi,1),

```

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).

decision(interB):-

dbrequisitos(anadigi,2),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).

decision(interB):-

dbrequisitos(ptsIO,2),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.6).

decision(interB):-

dbrequisitos(math,2),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.3).

decision(interB):-

dbrequisitos(specialty,1),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).

decision(interB):-

dbrequisitos(specialty,2),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).

decision(interB):-

dbrequisitos(specialty,3),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.3).

decision(interB):-

dbrequisitos(specialty,4),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.3).

decision(interB):-

dbrequisitos(network,1),

conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.3).

```
decision(interB):-  
    dbrequisitos(network,2),  
        conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.3).
```

```
decision(interB):-  
    dbrequisitos(communica,2),  
        conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).
```

```
decision(interB):-  
    dbrequisitos(programming,2),  
        conclude("Intermedio Mediano - Grande",0.1).
```

```
/* MEDIANO */
```

```
decision(mediano):-  
    dbrequisitos(anadigi,1),  
        conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
    dbrequisitos(anadigi,2),  
        conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
    dbrequisitos(ptsIO,2),  
        conclude("Mediano",0.6).
```

```
decision(mediano):-  
    dbrequisitos(math,2),  
        conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
    dbrequisitos(specialty,1),  
        conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(specialty,2),  
  conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(specialty,3),  
  conclude("Mediano",0.3).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(network,1),  
  conclude("Mediano",0.3).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(network,2),  
  conclude("Mediano",0.3).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(communica,2),  
  conclude("Mediano",0.1).
```

```
decision(mediano):-  
  dbrequisitos(programming,2),  
  conclude("Mediano",0.1).
```

```
/* INTER "A" */
```

```
decision(interA):-  
  dbrequisitos(anadigi,1),  
  conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
```

```
decision(interA):-  
  dbrequisitos(anadigi,2),  
  conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
```

```

decision(interA):-
    dbrequisitos(ptsIO,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.6).
decision(interA):-
    dbrequisitos(math,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
decision(interA):-
    dbrequisitos(specialty,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
decision(interA):-
    dbrequisitos(specialty,2),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
decision(interA):-
    dbrequisitos(network,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.5).
decision(interA):-
    dbrequisitos(communica,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
decision(interA):-
    dbrequisitos(programming,1),
        conclude("Intermedio Pequeño - Mediano",0.1).
/* PEQUENO */
decision(pequeno):-
    dbrequisitos(anadigi,1),
        conclude("Pequeño",0.1).

```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(ptsIO,1),  
    conclude("Pequeño",0.6).
```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(math,1),  
    conclude("Pequeño",0.1).
```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(specialty,1),  
    conclude("Pequeño",0.1).
```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(network,1),  
    conclude("Pequeño",0.5).
```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(communica,1),  
    conclude("Pequeño",0.1).
```

```
decision(pequeno):-  
  dbrequisitos(programming,1),  
    conclude("Pequeño",0.1).
```

```
/* Rutina para re-calcular el factor de conformidad */
```

```
conclude(Plckind,CF):-  
  retract(dbkinds(Plckind,N)),  
  NN = N + (1-N)*CF,  
  assertz(dbkinds(Plckind,NN)),!
```

```
conclude(Plckind,CF):-  
  assertz(dbkinds(Plckind,CF)).
```

/* Procedimiento para presentar las conclusiones del análisis */

writelistx :-

dbkinds(Pickind,N),

writeout(Pickind,N),

fail.

writelistx :-

xflag(1),

nl,

write("El factor de conformidad (FC) ayuda a seleccionar "),nl,

write("el equipo que mejor satisface los requisitos"),nl,!.

writelistx :-

xflag(0),

nl,

write("Lo siento no puedo encontrar el equipo adecuado"),nl.

writeout(Pickind,N) :-

N>=0.3,

setflag1,

writef("Familia: %-35 ",Pickind),

writef(" con un FC de: %4.2",N,""),nl.

writeout(,_).

setflag1 :-

retract(xflag(_)),

assertz(xflag(1)),!.

setflag1 :-

assertz(xflag(1)).

```
setflag0 :-
```

```
    retract(xflag(_)),
```

```
    assertz(xflag(0)),!
```

```
setflag0 :-
```

```
    assertz(xflag(0)).
```

```
/* Procedimiento para ordenar de mayor a menor la base de datos de PLCs seleccionados de acuerdo a su factor de conformidad */
```

```
/* Rutina de mando, convierte la base de datos en una lista, que es la que se ordena, para finalmente volver a llenar la base */
```

```
db_sort :-
```

```
    findall(X,mod_plc(X),Unordered_list),
```

```
    keysort(Unordered_list,Ordered_list,_),
```

```
    retractall,
```

```
    pushlist(Ordered_list).
```

```
keysort ([Head|Tail],Outlist,Templist):-
```

```
    split(Head,Tail,X,Y),
```

```
    keysort(X,Outlist,[Head|Z]),
```

```
    keysort(Y,Z,Templist).
```

```
keysort ([],Inlist,Inlist).
```

```
split(Head,[Headx|Listx],[Headx|Listy],Outlist):-
```

```
    cf_compar([Headx,Head]),!,
```

```
    split(Head,Listx,Listy,Outlist).
```

```
split(Head,[Headx|Listx],Listy,[Headx|Listz]):-
```

```
    not(cf_compar([Headx,Head])),!,
```

```
    split(Head,Listx,Listy,Listz).
```

```

split(_,[],[],[]).

/* Hace la comparación de factores de conformidad para ordenar */
cf_compar([dbkinds(_CF1),dbkinds(_CF2)]) :-
    CF1>CF2.

/* Graba la lista en una base de datos */
pushlist([]).

pushlist([Head|Tail]):-
    Head = dbkinds(Plckind,CF),
    assertz(dbkinds(Plckind,CF)),
    pushlist(Tail).

/* Lee la base de datos para ser pasada a la lista */
mod_plc(dbkinds(Plckind,CF)):-
    dbkinds(Plckind,CF).

retractall :-
    retract(dbkinds(_,_)),fail.

retractall.

```

APENDICE E
EJEMPLIFICACION

El ejemplo sobre la industria del mueble no es posible transcribirlo por razones de confidencialidad. En su lugar se desarrollo el caso de los autoclaves que son similares en funcionamiento a hornos, tanques presurizados, etc.