

Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigación en Computación

SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE
DATOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE CÓMPUTO
CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES

P R E S E N T A:

EL ING. JAVIER ABONZA COVARRUBIAS



DIRECTOR DE TESIS: DR. LUÍS PASTOR SÁNCHEZ FERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F.

JUNIO DE 2008



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN
SECCIÓN DE GRADUADOS

TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS:

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y
ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE CÓMPUTO
CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES
PRESENTA:

ING. JAVIER ABONZA COVARRUBIAS

DIRECTOR DE TESIS: Dr. LUÍS PASTOR SÁNCHEZ FERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F. JUNIO DE 2008

Agradecimientos y Dedicatorias

Profesores y Asesores :

El presente trabajo no podría haberse llevado en buen término, sin el apoyo de los docentes y asesores que amablemente compartieron su tiempo y conocimiento, sobre todo a mi asesor de tesis, al Dr. Luís Pastor Sánchez Fernández.

Mi esposa:

Aileen, gracias por hacer de mi una mejor persona cada día, y por todo el apoyo brindado no sólo en esta etapa, sino siempre.

Y muy en especial

Mis bebes:

Isaac y Dante, que han generado en mí nuevas razones de ser mejor, que son la vitalidad que me permite seguir avanzando en las metas trazadas por la vida.

Son el regalo más grande que me ha dado mi amada esposa, los amo y siempre será así.

Índice General

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | XI |
| LISTA DE TABLAS | XIII |
| GLOSARIO DE SIGLAS Y TÉRMINOS | XV |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 5 |
| 1.2.1 Hipótesis | 5 |
| 1.3 OBJETIVOS | 5 |
| 1.3.1 Objetivo General | 5 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 6 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN | 6 |
| 1.5 LÍMITES | 7 |
| 1.6 ALCANCES | 7 |
| 1.7 APORTACIONES | 8 |
| 1.8 VALOR PRÁCTICO DEL TRABAJO | 8 |
| 1.9 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO UTILIZADO | 9 |
| 1.10 ESTRUCTURA DE LA TESIS | 9 |
| CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE | 11 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | 11 |
| 2.2 CONTROL DE LA DEMANDA MÁXIMA | 12 |
| 2.2.1 ¿Qué es la demanda máxima? | 12 |
| 2.2.2 Cálculo de la demanda máxima | 12 |
| 2.2.3 ¿Cómo se controla? | 13 |
| 2.2.4 Estrategias de control | 14 |
| 2.2.5 Clasificación de los sistemas de control de la demanda | 16 |
| 2.2.6 Costos de la energía | 19 |
| 2.2.7 Tarifa H-M | 20 |
| 2.3 SISTEMAS SCADA | 25 |
| 2.3.1 ¿Qué es un SCADA? | 25 |
| 2.3.2 Historia | 27 |
| 2.3.3 Prestaciones | 28 |
| 2.2.4 Requisitos | 28 |
| 2.2.5 Módulos | 28 |
| 2.2.6 Operación | 29 |
| 2.4 BUSES INDUSTRIALES | 29 |
| 2.4.1 Buses de alta velocidad y baja funcionalidad | 31 |
| 2.4.2 Buses de alta velocidad y funcionalidad media | 31 |
| 2.4.3 Buses de altas prestaciones | 31 |
| 2.4.4 Bus universal | 31 |
| 2.5 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN | 32 |
| 2.6 RESUMEN DE CAPÍTULO | 33 |
| CAPÍTULO 3 ESPECIFICACIONES Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA | 35 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN | 35 |
| 3.1.1 Comunicación PLC-SCADA | 35 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS DISPOSITIVOS EMPLEADOS | 37 |
| 3.2.1 PLC XLE | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.2 Módulos remotos..... | 38 |
| 3.2.3 Pantalla táctil..... | 38 |
| 3.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA | 39 |
| 3.3.1 CAN bus y CsCAN..... | 40 |
| 3.3.2 Software Cscape..... | 43 |
| 3.3.3 Del hardware..... | 43 |
| 3.4 OPERACIÓN DEL SISTEMA..... | 44 |
| 3.4.1 Sistema a controlar. | 44 |
| 3.4.2 Contador electrónico..... | 45 |
| 3.4.3 Métodos de medición del consumo energético | 47 |
| 3.4.4 Operación del PLC en el manejo de cargas..... | 48 |
| 3.4.5 Secuencia de desactivación..... | 50 |
| 3.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO..... | 55 |
| CAPÍTULO 4. PROGRAMACIÓN DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS..... | 57 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN | 57 |
| 4.1.1 Funciones operativas de los equipos..... | 57 |
| 4.1.2 Definición de registros | 58 |
| 4.2 CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PLC XLE104..... | 60 |
| 4.2.1 Parámetros de configuración desde hardware..... | 60 |
| 4.2.2 Configuración y programación vía software..... | 61 |
| 4.2.3 Diagramas de la programación del PLC. | 62 |
| 4.3 BLOQUES GENERALES DE LA PROGRAMACIÓN EN LA PANTALLA LX300 | 69 |
| 4.3.1 Configuración desde hardware y software..... | 70 |
| 4.3.2 Programación de la pantalla LX300..... | 70 |
| 4.4 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO SMARTSTIX..... | 73 |
| 4.5 RESUMEN DE CAPÍTULO..... | 75 |
| CAPÍTULO 5. ELABORACIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA. | 77 |
| 5.1 TIPOS DE PANTALLA | 77 |
| 5.2 NAVEGACIÓN ENTRE PANTALLAS..... | 77 |
| 5.2.1 Navegación programada con teclas físicas..... | 78 |
| 5.2.2 Navegación basada en la lógica de escalera programada..... | 78 |
| 5.2.3 Navegación basada en botones en pantalla | 79 |
| 5.2.4 Inicialización del LX300 | 79 |
| 5.2.5 Pantalla de configuración avanzada con validación de clave. | 80 |
| 5.4 ENTRADAS Y SALIDAS GLOBALES | 81 |
| 5.5 ESTRUCTURA DE LAS PANTALLAS | 81 |
| 5.5.1 Pantalla inicial..... | 83 |
| 5.5.2 Menú principal..... | 83 |
| 5.5.3 Tendencias..... | 84 |
| 5.5.4 Históricos. | 85 |
| 5.5.5 Parámetros..... | 85 |
| 5.5.6 Forzado de salidas | 88 |
| 5.5.7 Modificación de fecha y hora..... | 89 |
| 5.6 BIBLIOTECA DE SÍMBOLOS..... | 89 |
| 5.7 RESUMEN DE CAPÍTULO..... | 90 |
| CAPÍTULO 6 ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL Y PRUEBAS DE LABORATORIO..... | 91 |
| 6.1 INTRODUCCIÓN | 91 |
| 6.2 CASO PRÁCTICO | 91 |
| 6.3 MATERIALES A EMPLEADOS | 93 |

| | |
|---|------------|
| 6.3 .1 Gabinete | 93 |
| 6.3.2 Fuente de alimentación, | 94 |
| 6.3.3 Relevadores | 94 |
| 6.3.4 Accesorios | 94 |
| 6,4 PRUEBAS DE LABORATORIO..... | 95 |
| 6.4.1 Simulador de señales de consumo..... | 95 |
| 6.4.2 Simulación de cargas | 96 |
| 6.4.3 Valores de prueba..... | 97 |
| 6.5 RESUMEN DE CAPÍTULO..... | 100 |
| CONCLUSIONES | 101 |
| TRABAJO FUTURO | 103 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 105 |
| ANEXOS..... | 107 |
| ANEXO A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RED C\$SCAN..... | 107 |
| ANEXO B CONEXIONES DEL PLC XLE104..... | 108 |
| ANEXO C CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE EXPANSIÓN SMARTSTIX DMQ602..... | 110 |
| ANEXO D PANTALLA TÁCTIL LX300 | 112 |
| ANEXO E: SEGMENTOS DEL DIAGRAMA DE ESCALERA PROGRAMADO | 118 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1 Consumo eléctrico nacional por las empresas | 2 |
| Fig. 2 Costos de energía en México vs otros países | 2 |
| Fig. 3 Demanda máxima en un periodo de 15 minutos | 12 |
| Fig. 4 Primeros periodos de demanda..... | 13 |
| Fig. 5 Representación gráfica del control de la demanda | 15 |
| Fig. 6 Entorno básico de un SCADA | 27 |
| Fig. 7 Puertos de comunicación del LX300 | 38 |
| Fig. 8 Arquitectura del sistema SCADA..... | 39 |
| Fig. 9 Conexiones de la red CsCAN | 42 |
| Fig. 10 Distribución de energía con control de demanda | 45 |
| Fig. 11 Periodos de integración | 46 |
| Fig. 12 Periodo de integración rápida de 30 segundos | 49 |
| Fig. 13 Desconexión automática accionada por el PLC | 50 |
| Fig. 14 Diagrama de desconexión mediante el método de carga instantánea | 51 |
| Fig. 15 Secuencia de desactivación de cargas activas. | 52 |
| Fig. 16 Diagrama de flujo general del programa en el PLC | 54 |
| Fig. 17 Diagrama de simulación de señales..... | 62 |
| Fig. 18 Diagrama de conteo de pulsos | 63 |
| Fig. 19 Diagrama de control de cargas..... | 64 |
| Fig. 20 Diagrama de determinación del periodo anual..... | 64 |
| Fig. 21 Diagrama de modificación horaria automática | 65 |
| Fig. 22 Diagrama del periodo invierno verano | 66 |
| Fig. 23 Diagrama control de cargas por tiempo..... | 67 |
| Fig. 24 Diagrama de condiciones de desconexión de cargas | 68 |
| Fig. 25 Diagrama de medición del pulso de latencia..... | 71 |
| Fig. 26 Diagrama de la comunicación del la pantalla al PLC | 72 |
| Fig. 27 Diagrama de comunicación del PLC a la pantalla | 73 |
| Fig. 28 Configuración de la dirección de red del SmartStix..... | 73 |
| Fig. 29 Diagrama de manipulación remota de salidas..... | 74 |
| Fig. 30 Activación de pantallas por teclas físicas | 78 |
| Fig. 31 Navegación de pantallas por teclas físicas..... | 78 |
| Fig. 32 Navegación entre pantallas por botones táctiles..... | 79 |
| Fig. 33 Ingreso a modificación de parámetros avanzados | 81 |
| Fig. 34 Estructura programada de navegación entre pantallas | 82 |
| Fig. 35 Pantalla de presentación en el PLC y en la pantalla táctil..... | 83 |
| Fig. 36 Menú principal..... | 84 |

| | |
|---|----|
| Fig. 37 Gráficas de tendencias | 84 |
| Fig. 38 Históricos X-Y, del año en curso..... | 85 |
| Fig. 39 Definición de límites de operación | 86 |
| Fig. 40 Definición de periodos tarifarios en horario de invierno y verano | 87 |
| Fig. 41 Forzado de salidas | 88 |
| Fig. 42 Cscape symbol..... | 89 |
| Fig. 43 Esquema de control de un motor trifásico | 92 |
| Fig. 44 Gabinete metálico empleado | 93 |
| Fig. 45 Obtención de pulsos por parte del medidor electrónico | 95 |
| Fig. 46 Simulación de pulsos con otro PLC | 97 |
| Fig. 47 Demanda máxima sin control..... | 98 |
| Fig. 48 Demanda máxima controlada por el sistema SCADA | 99 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Experiencia internacional en el manejo de demanda..... | 4 |
| Tabla 2 Sistemas de control de la demanda eléctrica..... | 19 |
| Tabla 3 Niveles de tensión en CFE | 20 |
| Tabla 4 Tarifas por kilo watt hora en la región central 2007..... | 20 |
| Tabla 5 Periodos tarifarios de verano e invierno | 21 |
| Tabla 6 Desarrollo de las redes de comunicación industrial | 30 |
| Tabla 7 Terminales del conector de programación del PLC | 36 |
| Tabla 8 Características de entradas y salidas..... | 37 |
| Tabla 9 Terminales de conexión del conector de red CsCAN..... | 42 |
| Tabla 10 Secuencia de desconexión..... | 51 |
| Tabla 11 Registros de sistema de 1 bit | 59 |
| Tabla 12 Registros de sistema de 16 bits..... | 59 |
| Tabla 13 Identificación de registros usados en el PLC | 59 |
| Tabla 14 Consumo en corriente por elemento. | 94 |
| Tabla 15 Valores simulados de consumo en 20 cargas..... | 97 |

Glosario de Siglas y Términos

| | |
|---|--|
| Ampere-hora | Unidad de medición que cuantifica una cantidad de corriente por una cantidad de tiempo. Es una medición de carga y consumo eléctrico. |
| Barrido | <i>Scan- barrido</i> . Es el ciclo que el PLC repite constantemente en sus tareas de control de procesos, este ciclo es vigilado por un reloj de guarda, perro guardián o “watchdog”, de modo que si se supera el tiempo máximo indicado en él se aborta el ciclo en curso y o bien se da un error y se detiene el programa. |
| Broadcast | Es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo. |
| CAN | Controller Area Network es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en ambientes distribuidos. |
| Carga conectada | La carga conectada es la suma de los valores nominales de todas las cargas del consumidor que tienen probabilidad de estar en servicio al mismo tiempo para producir una demanda máxima. |
| Cargo por consumo de energía | Es el producto directo de la energía eléctrica utilizada para la generación de trabajo mecánico o generación de calor (potencia activa) durante un tiempo determinado, multiplicado por la tarifa. |
| Cargo por demanda | El cargo por demanda tiene implicaciones que penalizan el mal uso de la energía eléctrica, ya sea por falta de control de operación de la planta (picos de demanda), o por el uso indebido que se le puede dar a la energía, es decir un bajo factor de potencia. |
| CFE | Comisión Federal de Electricidad. |
| Demanda | La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras tomada en un valor medio a determinado intervalo. |
| Demanda contratada | Es la demanda de referencia contratada por la empresa para ser suministrada, y se considera la demanda máxima incurrida en cualquiera de los meses previos como referencia para su asignación. |
| Demanda máxima | Corresponde a la lectura máxima de consumo en kilowatt registrada durante un periodo de lectura de 15 minutos. |
| Demanda mínima | Corresponde al cargo que se efectúa en aquellos casos en que la demanda leída en el mes, es menor a la demanda mínima de la tarifa y demanda asignada contratada. |
| Driver | Es un programa informático que permite al sistema operativo interactuar con un periférico, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz posiblemente estándar para usarlo. |
| EPR | Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales, sistema de planificación complementada de los recursos de una empresa, incluye todos los aspectos y medios de cómputo para planificar su administración eficiente. |
| Factor de Carga | Relación entre la carga promedio y la carga máxima de una operación, durante un periodo de tiempo establecido, expresado como un porcentaje. |
| Facturación de energía eléctrica | Es la forma de expresar y saber la cantidad de energía eléctrica que se ha consumido en un periodo de un mes y los costos que representa, según las tarifas que se tenga. |
| FIDE | Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. |
| Firmware | Programación en Firme: es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, grabado en una memoria tipo ROM, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. |

| | |
|--------------------------|---|
| H-M | Tarifa horaria para servicio general en media tensión con demanda de 100 KW o más. |
| HMI | Human Machine Interface – Interfaz Hombre Máquina, los instrumentos que ayudan al usuario para activar la aplicación. |
| Horario punta | Horario en que la energía es más costosa, en verano de 20:00 a 22:00 hrs. y de 16:00 a 22:00 hrs. en invierno. |
| Maxímetro | Un máxímetro o medidor de demanda es un instrumento de medición eléctrico cuya finalidad es obtener el valor máximo de la potencia eléctrica demandada durante un periodo de tiempo. Los máxímetros electrónicos, normalmente almacenan el intervalo de quince minutos en un mes en el que se ha producido la demanda máxima. |
| Multicast | Es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente, usando la estrategia más eficiente para el envío de los mensajes sobre cada enlace de la red sólo una vez y creando copias cuando los enlaces en los destinos se dividen. |
| PC | Personal Computer – Computadora Personal, Término genérico utilizado para referirse a microcomputadoras que son compatibles con las especificaciones de IBM. |
| PLC | <i>Programmable Logic Controller</i> – Controlador Lógico Programable, son dispositivos electrónicos de control muy usados en automatización industrial. |
| Potencia activa | Es la razón a la cual se efectúa el trabajo útil en un circuito eléctrico. La unidad que por lo regular se usa es el watt (W). |
| Potencia aparente | Es la potencia suministrada por la fuente de energía y se obtiene como la suma fasorial de la potencia activa y reactiva. El conjunto de ellas forma el llamado triángulo de potencia. |
| Potencia reactiva | Es la potencia que no se traduce en trabajo útil, pero representa la interacción de la energía magnética que hace posible el funcionamiento de las máquinas eléctricas. Se representa en los sistemas de potencia, como una reactancia. |
| RTU | Remote Terminal Unit - Unidad de Transmisión Remota, es un dispositivo que conecta objetos en el mundo físico que un sistema de control distribuido o el sistema de SCADA transmitiendo datos de telemetría al sistema o modificar los estados de actuadores. |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> - Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisorio, comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial. |
| Unicast | Es un envío de información desde un único emisor a un único receptor. |
| Volt | Se define como la unidad de medida de la tensión de alimentación, la cual en el caso de México es de 110/120 volts. |
| Watt | Unidad fundamental de medición de energía 1 watt =1 joule/seg. o también 1 watt = 1 volt x 1 ampere, y se refiere a la potencia necesaria para realizar un trabajo, la potencia consumida por cualquier equipo eléctrico es expresada en watts (W) ó volts-amperes (VA). |

Resumen

En esta tesis se describe el problema del consumo no regulado de energía eléctrica en la industria nacional a causa de la inadecuada planificación u optimización de recursos de acuerdo a un plan maestro de desarrollo. La falta de una estructura integral para monitorear, controlar y optimizar el proceso con una herramienta que permita establecer diferentes niveles de prioridades ha ocasionado una falta de competitividad en los mercados internacionales.

Para ello, en la solución de esta problemática se ha desarrollado un Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisorio “SCADA” encargado de administrar el consumo energético de una empresa, con base en la planificación de cargas por prioridades en los distintos horarios operación; lo anterior con el fin de minimizar costos.

El sistema contribuye a limitar la demanda máxima energética de una planta para los distintos periodos de tarifarios, permite determinar la desconexión de uno o más de los elementos que no contribuyen directamente al proceso de producción inmediato, todo ello en un entorno “amigable” al usuario final.

La tesis está organizada en distintos capítulos donde primeramente se abordan aspectos tales como: las bases que establecen el sentido de realización de este trabajo, los aspectos teóricos sobre los elementos contenidos en éste, para posteriormente llegar a la documentación técnica del sistema, se explica la arquitectura seleccionada que conforma la aplicación, así como la estructura de operación general que caracteriza al sistema, la programación individual que requieren los dispositivos empleados, en los últimos apartados se describen: la operación del sistema a través de las pantallas presentadas al usuario final, la selección de los elementos a emplear en el tablero en que se instala.

Finalmente, se presentan las pruebas de laboratorio, conclusiones, trabajo futuro, ventajas y desventajas de la integración de un sistema SCADA para la optimización del uso de la energía eléctrica a través de prioridades, todo ello basado en el uso de un Controlador Lógico Programable.

Palabras clave: Sistema SCADA, Planificación, Optimización, Sistemas de control

Abstract

This thesis describes the problem an unregulated consumption of electricity power in the national industry, because of the inadequate planning or optimization of resources according to a master plan of development. The lack of an integrated structure for monitoring, control and optimizing it process with a tool that allows to establish different levels of priorities has caused a lack of competitiveness in international markets.

To this end, a Supervisory Control And Data Acquisition System SCADA, ha been developed for being the responsible for managing energy consumption of a company, based in the planning of charges of priorities in the different schedules operation; the above in order to minimize operating costs.

The system helps to limit the peak demand of a plant for the different periods of tariff, it allows to determine the disconnection of one or more elements that do not contribute directly to the immediate production process, all this a friendly environment to the final user.

The thesis is organized into various chapters where first addresses aspects such as: the foundations that set the sense of accomplishment of this work, the theoretical aspects on the elements contained in this work, then arrives to the technical documentation system, explained the selected architecture that forms the application, as well as the general operation structure that characterizes the system, the individual programming that require the devices describes in the last, the operation of the system through the screens submitted to the final user and the selection of the elements used in the board of being installed.

Finally, It present the evidence, conclusions and future work, indicating the advantages and disadvantages of resolving the integration of a SCADA system for optimizing the use of electricity power though priorities, all this basad on the usage of a Programmable Logic Controller.

Keywords: SCADA, Planning, Optimization, Control Systems

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y Antecedentes

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha incrementado a un ritmo superior al crecimiento económico ya que cumple necesidades del aparato productivo al estar íntimamente ligado al alcance de mayores niveles de vida de la sociedad en general [3][6], por lo que es necesario tomar acciones que impidan que aumente el índice físico del consumo energético, se deben identificar y emprender alternativas de eficiencia. Fomentar en las industrias una adecuada planificación de cargas, eliminando todas aquellas que no realizan trabajo útil en horarios de máxima demanda.[1],[2],[3]

Sin embargo, es fácil percibir que algo se está malgastando cuando se observa una llave que derrama agua, combustible, petróleo, etc., pero cuesta percibir que está sucediendo igual cuando se deja encendida una lámpara, se tiene el radio, televisor mientras se está planchando o leyendo el periódico, esta realidad pone de manifiesto que la electricidad no es sólo ese enchufe donde se conectan los equipos, es el final de la inmensa cadena de recursos que se origina en las grandes centrales de generación y para llegar hasta un hogar debe ser generada en grandes y costosas plantas en el mismo instante en que se requiera, transportarse recorriendo kilómetros, utilizando inmensas torres, transformadores y grandes cantidad de cableado, y así distribuirse en menores niveles de voltaje, adicionalmente requiere de personal especializado y alta tecnología en materiales y equipos, entre tantas otras cosas de infraestructura física y humana.

¿Qué sería de todos los adelantos y la tecnología sin electricidad? Nada, en su gran mayoría, tendría el valor que por ello se paga. ¿Qué tiene más valor, aquél televisor supermoderno de 42 pulgadas, la computadora de 2.4 GHz, el útil equipo de resonancia magnética de un hospital, o la electricidad que lo hace funcionar?, todo esto permite reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso ni los equipos que la hacen posible, en vista de ello se emprenden planes, programas económicos y energéticos con la finalidad de aumentar las reservas existentes y disminuir el uso desproporcionado que se tiene de la energía eléctrica. [6],[7],[9]

Un punto esencial en el tema son las empresas quienes representan al mayor porcentaje del consumo nacional [5], Las empresas usan más de la mitad de toda la energía generada en el país, por lo que al realizar acciones que minimicen sus consumos, implica directamente repercusiones importantes en el consumo global.

En la **Fig.1** se aprecia el porcentaje de uso de energía que emplean las empresas. Las acciones en pro del ahorro de electricidad reducen los costos de operación y fabricación de los bienes ofertados, permitiendo aumentar el nivel de competitividad disminuyendo gastos operativos, por tanto el manejo eficiente del recurso es tan importante como la automatización y modernización continua de sus líneas de producción.

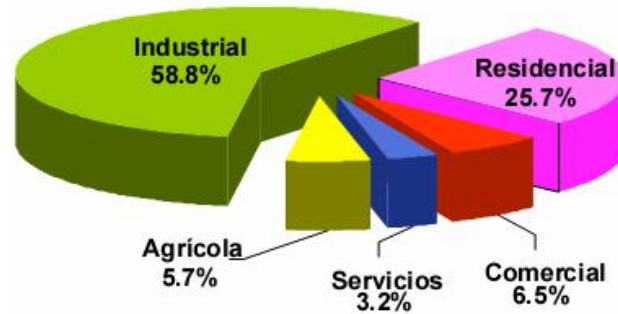


Fig. 1 Consumo eléctrico nacional por las empresas

Así como ha habido incrementos en el consumo de energía eléctrica, también han aumentado sus costos, **Fig. 2**. Existen algunos países que han visto la disminución de los costos de ésta como un punto de atracción hacia las empresas transnacionales, restando competitividad a las empresas mexicanas. Es importante el uso racional de la energía para economizar, pero también para poder seguir contando con tan valioso recurso en un futuro, esto conlleva un sentido ecológico al disminuir el consumo de recursos naturales no renovables empleados en su generación [13],[17],[18]. La energía es un tema que permanentemente se encuentra en polémica nacional, ya sea por cuestiones de suministro, de impacto ambiental, de competitividad, de economía familiar, o de agotamiento de recursos, entre varios aspectos, por lo que se puede decir que es un elemento básico cuando se habla del presente y futuro de una sociedad.[4],[5],[9]

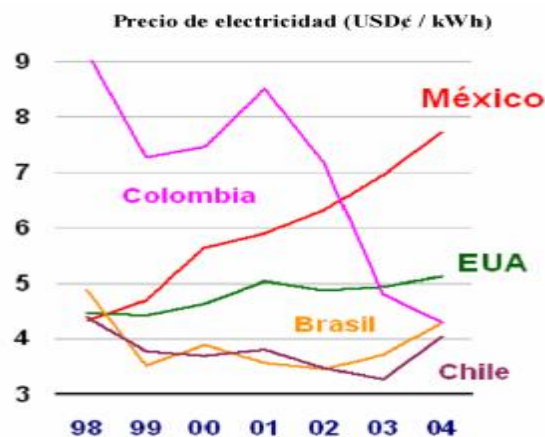


Fig. 2 Costos de energía en México vs otros países

(Fuente Foro Multilateral sobre Políticas Públicas México, D.F., 7 de febrero, 2007)

Una reflexión obligada consiste en ubicar la importancia de la eficiencia energética como una condición que contribuye a lograr su abasto. Los programas de eficiencia y ahorro de energía junto con los de fuentes alternas de energía no son una moda sino que se han convertido en un compromiso de la humanidad para atender serias amenazas en los aspectos económicos, energéticos y ecológicos, han penetrado de tal manera que forma parte de los planes nacionales de desarrollo de los últimos sexenios y del actual [13], [16], [19],[22].

La tecnología de los equipos de control de la demanda eléctrica continúa avanzando en el mundo, sin embargo su penetración en el mercado mexicano no ha sido tan exitosa debido a algunos de los siguientes factores:

- Ø Desconocimiento del concepto de demanda facturable y demanda eléctrica máxima.
- Ø Temor a tener pérdidas en la producción.
- Ø Desconocimiento de los beneficios económicos que pueden lograrse.
- Ø Desconocimiento de los horarios base, intermedio y punta.
- Ø Los equipos provenientes del extranjero están configurados a especificaciones de operación diferentes a las necesarias en México.

Para instalar un equipo que controle la demanda eléctrica en una empresa, es necesario tener amplio conocimiento del proceso productivo en cuestión, para asignar correctamente las prioridades de desconexión y reconexión, así como la duración de cada desconexión de los equipos.

Se han instalado equipos que no han dado los resultados esperados, no por el hecho de que los equipos hayan sido malos en sí, sino por alguna de las siguientes razones:

- Ø Haber sido mal diseñados
- Ø Falta de mantenimiento
- Ø Falta de capacitación al personal operativo
- Ø Errónea asignación de la prioridad de las cargas y del tiempo de desconexión
- Ø No ser los adecuados a las condiciones ambientales en donde se instalaron

Un plan de control de la demanda eléctrica puede aplicarse en aquellos procesos cuya operación tiene fuertes variaciones en la demanda máxima y bajos factores de carga, como son empresas relacionadas con la fundición, minería, automotriz, maquiladora, papeleras, etc.,[11],[26],[27] por otro lado es más difícil aunque no imposible, que un programa de este tipo pueda ser aplicado en industrias tales como la electrónica, tiendas comerciales, edificios de oficinas, industria química etc., en los cuales la demanda es prácticamente constante y el factor de carga alto.

Algunos antecedentes de la implementación de este tipo de sistemas en México han sido promovidos por instituciones como el FIDE, quien promueve ampliamente la aplicación de sistemas de control de demanda, las empresas que lo han hecho reportan una disminución considerable de la facturación eléctrica de acuerdo con las estadísticas publicadas en su página de Internet.

Si bien en México se está abriendo un mercado para la implantación de sistemas de ahorro de energía eléctrica, éstos tienen ya un largo posicionamiento en otros países, como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1 Experiencia internacional en el manejo de demanda

| Experiencia Internacional en el manejo de demanda | |
|--|--|
| EUA | <p>La aceptación es tal que por lo menos en 26 estados se motivan a las empresas a la recuperación de los costos e incentivos financieros de las empresas. Se tienen 300 empresas actualmente aplicando programas de manejo de demanda, al igual que 24 estados utilizan los incentivos financieros.</p> <p>En los Estados Unidos, las compañías eléctricas norteamericanas gastan más de \$4,000,000 de dólares al año en programas de ahorro de energía, En Estados Unidos reportan programas de manejo de demanda, con un ahorro de 61,842 millones de KWh (2 % de las ventas anuales).</p> |
| Comisión Europea | <p>En Europa, los organismos gubernamentales son los encargados de los programas de manejo de demanda, como el NOVEM en Holanda, NUTEK en Suecia, NVE en Noruega y OFFER en Inglaterra (Moen, 1993).</p> <p>Los países de la Comunidad Económica Europea (CEE) no pueden realizar políticas energéticas independientes, por lo que se buscan objetivos comunes de transparencia y eficiencia al incentivar la competencia, desarrollando nuevas técnicas de gestión de la demanda.</p> |
| Japón | <p>Japón es el país más eficiente en cuanto al ahorro de energía (Nagata, 1993), sin embargo no se utilizan los esquemas de manejo de demanda utilizados en América del Norte y Europa Occidental.</p> <p>Los japoneses mencionan que aunque la terminología es nueva, ellos fueron los que primero implementaron los programas de manejo de demanda durante la primera guerra mundial. Los japoneses están más enfocados en la ocupación de espacio, por lo que se aplica más la energía solar en los programas de manejo de demanda.</p> |
| Latinoamérica | <p>Latinoamérica es una región del mundo que cuenta con el 8% de la población mundial, y genera el 8.7% de la actividad económica total. La región consume el 6% de la energía primaria comercial del mundo.</p> <p>En la actualidad se desarrolla con proyectos específicos en Argentina, Brasil, El Salvador y Perú. Al tomarse en cuenta los crecimientos económicos de demanda de electricidad, además de los esfuerzos que se hacen en dichos países para alcanzar un grado mayor de electrificación.</p> |

Erróneamente se piensa que invertir en dispositivos o planes de ahorro de energía provocará más gastos de los que se podrían obtener como beneficio, pero tal pensamiento queda desmentido al conocer los ahorros económicos que han logrado obtener empresas que los implementaron en países industrializados.

1.2 Planteamiento del problema

Derivado de la necesidad de disminuir los costos generados a manera de penalización por las elevaciones de potencia consumida ocurridas durante distintos instantes del día, y el consumo desmedido de energía en planta, se observa lo siguiente:

- ∅ Es necesario establecer una metodología que permita la desconexión y el accionamiento ordenado de cargas, en base a prioridades definidas,
- ∅ Si la administración de cargas es encargado al personal operativo, presentan inconsistencia en su manejo, disminuyendo los beneficios que se buscan.
- ∅ Carencia en el mercado de una solución automática que se adapte de manera específica a los requerimientos de la industria nacional

Lo anterior lleva a la siguiente pregunta:

¿Cómo planificar las cargas eléctricas para minimizar los costos de operación de una empresa utilizando un sistema SCADA?

1.2.1 Hipótesis

Es posible desarrollar un sistema SCADA enfocado al ahorro de energía eléctrica de bajo costo, mediante el empleo de PLC's industriales de nueva generación, con las configuraciones específicas del país, y que mediante pruebas de laboratorio demuestre su capacidad potencial en la disminución de la demanda máxima en los horarios pico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Integrar un Sistema de Adquisición de Datos y Control y Supervisorio (SCADA) encargado de administrar el consumo energético de una empresa, con base en la planificación de cargas, con el fin de minimizar costos de operación.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Ø Proponer la arquitectura y las especificaciones del sistema SCADA.
- Ø Desarrollar un algoritmo para supervisar y controlar el consumo de energía eléctrica.
- Ø Programar el PLC
- Ø Implantar el planificador por prioridades en el PLC.
- Ø Programar la interfaz hombre-máquina y generar la estructura de navegación entre ventanas.
- Ø Almacenar datos de valores importantes para la generación de históricos.
- Ø Armar el tablero de control.
- Ø Realizar pruebas de laboratorio.

1.4 justificación

El sector productivo tiene como principal prioridad el generar bienes en la mayor cantidad posible, lo que en ocasiones conlleva a hacer uso de toda su capacidad instalada, incluso a laborar los tres turnos de producción, ignorando u olvidando que a determinadas horas y días de la semana, el costo de la energía empleada en la producción es de tres a cuatro veces más elevado con respecto a la tarifa base, lo cual merma los beneficios de la producción al aplicar los costos de producción. El sistema debe solucionar los problemas existentes en planta, como son:

- Ø Desconocimiento de los horarios base, intermedio y punta.
- Ø Elevados costos pagados por concepto de consumo desmedido de kilo watt-hora en horario punta.
- Ø Los costos generados por causa de un valor elevado de demanda máxima.
- Ø Falta de control de la demanda máxima en los tres periodos tarifarios existentes a lo largo del día.
- Ø Falta de un plan operativo de cargas en los distintos horarios tarifarios.
- Ø El criterio subjetivo en la asignación de la prioridad de las cargas y del tiempo de conexión y desconexión.
- Ø Los "picos" de corriente debidos al arranque simultaneo de varios equipos al inicio de turno o inicio de líneas de producción.
- Ø Falta de información de los horarios o instantes con mayor demanda, con el fin de realizar acciones preventivas.

El sistema desarrollado pretende resolver este tipo de problemas atribuibles a la operación del equipo pero sobre todo al modo de operarlo por parte del personal de planta. El sistema establece las secuencias de arranque en los equipos controlados por horario, las conexiones o desconexión permitidas en función de la demanda energética presentes, básicamente, el sistema actúa sobre relevadores de potencia, que temporalmente apagan cargas eléctricas predeterminadas, con el propósito de mantener la demanda máxima bajo control.

1.5 Límites

- Ø El uso de un sólo PLC como elemento de control principal.
- Ø Una pantalla de visualización y control por parte del personal operativo,
- Ø Un módulo de extensión de salidas conectado en red CsCAN.
- Ø Manejo de cinco prioridades de desconexión.
- Ø Tres pantallas de alarma y veinte de navegación al usuario.
- Ø Control de hasta treinta y dos salidas.
- Ø Almacenamiento de datos por día y mes, máximo 3 meses de antelación
- Ø No permite tarifar el consumo.
- Ø No puede seleccionar distintos algoritmos para la planificación de cargas en procesos de manufactura flexibles.

1.6 Alcances

El sistema desarrollado contribuye a cubrir algunas prestaciones no proporcionadas por los sistemas comerciales provenientes generalmente del extranjero, por lo que es importante cubrir aspectos como:

- Ø Desarrollar un sistema SCADA enfocado directamente al ahorro de energía eléctrica.
- Ø Administrar el consumo de energía en planta en los distintos periodos del día.
- Ø Diseñar el sistema SCADA con una arquitectura abierta que permite la adición y puesta a punto de módulos adicionales para futuros cambios.
- Ø Permitir el almacenamiento de datos históricos para planeaciones futuras de producción en planta.
- Ø Disminuir los costos facturables por concepto de energía en una empresa.
- Ø Disminuir el valor de demanda máxima facturable.

1.7 Aportaciones

1 Desarrollo de un sistema SCADA enfocado al ahorro de energía eléctrica mediante la manipulación de cargas, con pruebas de sus capacidades a nivel de laboratorio

2.-Diseño flexible del sistema, para las adecuaciones particulares al lugar de su implementación, a diferencia de sistemas similares existentes en el mercado internacional, de alto costo.

3. El trabajo se ha desarrollado considerando su próxima instalación en una empresa, lo que significa, haber tomado en cuenta aspectos normativos y de operación en ambiente industrial. Una vez instalado los resultados reales de su efectividad servirán para realizar los ajustes finales que un sistema de este tipo demanda, a fin de mejorar su desempeño.

1.8 Valor práctico del trabajo

- Ø Aplicación directa en el control de cargas por tiempo, como es el caso de compresores, bombas, iluminación, aire acondicionado, etc.
- Ø Beneficio económico casi inmediato, visualizado en la factura del cobro de energía eléctrica del siguiente mes a su instalación.
- Ø Servir de parámetro para determinar la capacidad de producción.
- Ø Visión ecológica y comprometida con el país al dejar de utilizar excedentes de energía demandada a las centrales eléctricas.
- Ø Hacer eficiente el uso energético actual de la empresa.
- Ø La reducción de la demanda máxima facturable.
- Ø Tiempo relativamente corto de recuperación.

Se puede decir que el trabajo por sí mismo tiene un carácter práctico, al desarrollar el sistema tanto de manera conceptual como física, ya que está planteado para ser instalado y puesto a prueba para validar su funcionamiento y continuar mejorando su operación, si bien el sistema se implantará en una primera etapa en una empresa, al demostrar su funcionalidad será pauta para replicarlo con ligeras adaptaciones a otras pertenecientes al grupo Industrial al que pertenece. Su desarrollo obedece a la necesidad de las empresas de disminuir los costos pagados por consumo de energía eléctrica, pero también a solicitud de una empresa dedicada a la instalación de tierras físicas y de equipos de ahorro de energía, debido a que actualmente los equipos que emplean en estas tareas son de procedencia extranjera y cuentan con poca o nula flexibilidad para adaptarse a los requerimientos en ocasiones específicos de la industria nacional.

El tiempo de recuperación es relativamente corto, amortizándose en un periodo de tiempo que va de los 6 a los 24 meses, ya que un tiempo mayor de recuperación no resulta atrayente para las empresas, por eso la importancia de tener una solución económica.

1.9 Método de investigación y desarrollo utilizado

El método empleado es el Hipotético-Deductivo, ya que todo el desarrollo parte de la hipótesis planteada al identificar el problema que deber resolverse, realizando inferencias lógicas deductivas que se deben comprobar experimentalmente.

Las técnicas empleadas son de tipo documental al recabar la información necesaria sobre los sistemas de control de la demanda eléctrica, los cuales tienen mayor presencia en otros países, sobre todo en Estados Unidos donde se crearon varios de los conceptos, publicaciones sobre economía, energía, página Web de CFE, las políticas adoptadas en materia energética en nuestro país son también fuente importante de información actualizada.

Recabar información sobre lo que un sistema SCADA debe poseer como módulos principales, a través de consultas bibliográficas, manuales, e investigación en Internet, dado el hecho de que los sistemas SCADA están enfocados al ámbito industrial, existe limitada literatura bibliográfica al respecto, por lo cual este tipo de fuente se emplea para aspectos de documentación de la arquitectura y aspectos del diseño de la aplicación.

Por la parte de cubrir los requisitos mínimos, se emplean manuales técnicos como elemento de referencia de los productos existentes en el mercado, finalmente la parte de investigación en Internet resulta adecuada para el apoyo de esta aplicación, debido a la existencia de organismos y organizaciones que tratan de normar los aspectos de los sistemas SCADA, y al hecho de tener que estar al día con los costos publicados mes a mes por parte de CFE a través de su página de Internet.

Como medida de apoyo al desarrollo se realizan actividades de campo, como la consulta a técnicos, ingenieros, y usuarios para cubrir los requerimientos básicos demandados y hacer de este trabajo un sistema útil a la planta industrial en la que se instale.

1.10 Estructura de la tesis

El resultado del presente trabajo se ha organizado en capítulos para su estructuración organizada, adicionalmente se han incluido anexos para consultas técnicas específicas de los equipos utilizados, quedando de la siguiente manera:

Capítulo I Introducción: Se presentan las bases que establecen el sentido de realización de este trabajo como: cuales fueron las motivaciones y antecedentes para definir los objetivos que permitieron comprobar la hipótesis planteada, limitaciones planteadas en el alcance, contribuciones y valor práctico de este trabajo, metodología empleada, y finalmente bosquejo general del contenido global de la tesis,

Capítulo II Estado del Arte: Contiene aspectos teóricos sobre los elementos contenidos en éste trabajo, contiene los conceptos y características que dirigen este trabajo, en base a los parámetros existentes establecidos por CFE, para con ello sustentar la hipótesis planteada, Determina la causa de la selección del uso de un PLC como elemento de control principal y la selección de los dispositivos adicionales con los que interacciona.

Capítulo III Diseño de la arquitectura y especificaciones del sistema: Se explica la arquitectura seleccionada que conforma la aplicación, así como la estructura de operación general que caracteriza al sistema.

Capítulo IV Programación de los elementos de control industrial: Se describe la estructura de programación en el PLC y pantalla táctil, y configuraciones de operación para los elementos que trabajan en red distribuida.

Capítulo V Elaboración de la interfaz Hombre-Máquina: Se describe la operación del sistema a través de las pantallas presentadas al usuario final, en la HMI, estructuración de los menús y anidamiento de los mismos para tener la estructura general de navegación en la aplicación.

Capítulo VI Armado del tablero de control y pruebas de laboratorio: La selección de los elementos a emplear en el tablero de control que se instala en planta, la distribución de los elementos y condiciones de operación, simulación de las condiciones típicas de operación del sistema en campo.

Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajo futuro.



CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

Se describen algunos conceptos y características de los componentes empleados, primeramente se aborda lo relacionado con el control de la demanda eléctrica, para conocer su operación y modo de administrarla, posteriormente las bases en las que se encuentran sustentados los sistemas SCADA de manera general y finalmente realizar la integración de ambos para dar como resultado el presente trabajo.

A través de los tiempos el hombre se ha valido de múltiples servicios que le han proporcionado confort a su subsistencia, tal es el caso de la energía eléctrica que ha tenido un papel preponderante en el desarrollo de la sociedad porque permite el avance de la tecnología en la vida moderna,[6],[9],[12] y a su vez ésta ofrece equipos cada vez más sofisticados que brindan recreación, entretenimiento y comodidades, estos adelantos han hecho que el consumo en los hogares y empresas crezca de manera desmedida: Así como ha crecido la demanda energética también lo han hecho los costos que por esta se pagan en los últimos años [15],[21],[24],

En la mayoría de las facturas eléctricas a empresas, existen tres términos que conforman el costo mensual final:

- Ø Consumo de energía activa (kWh).
- Ø Consumo de energía reactiva para obtener el factor de potencia (kVARh).
- Ø Término de potencia o máxima demanda.

Tradicionalmente, las empresas han centrado sus esfuerzos de ahorro energético en dos factores: [13]

- Ø Reducción de la cantidad de kWh consumidos de manera mensual.
- Ø Mejora del $\cos \varphi$ ó factor de potencia.

Sin embargo, existe un tercer factor para reducir costos, el cual consiste en una buena administración de la potencia utilizada, permitiendo reducir los niveles de operación en horarios claves [24],[25], y evitar penalizaciones por una elevada potencia consumida en ciertos instantes de tiempo, lo anterior es conocido como demanda máxima.

2,2 Control de la demanda máxima

2.2.1 ¿Qué es la demanda máxima?

La demanda máxima es la potencia en kilowatts (kW) acumulada o mantenida durante un determinado período de tiempo, generalmente entre 8 y 30 minutos [25],[31], el período más habitual en la mayoría de países así como en México es de 15 minutos. La potencia es calculada por un máxímetro que registra el mayor valor alcanzado en un mes, sirviendo de parámetro para efectos de facturación.

La demanda registrada por el contador de energía está dada por la una ventana de 15 minutos **Fig. 3**. Del punto A al B, se aprecia, que si bien existe un valor pico, no es registrado como valor máximo, ya que se toma siempre el promedio de los valores presentes en la ventana.

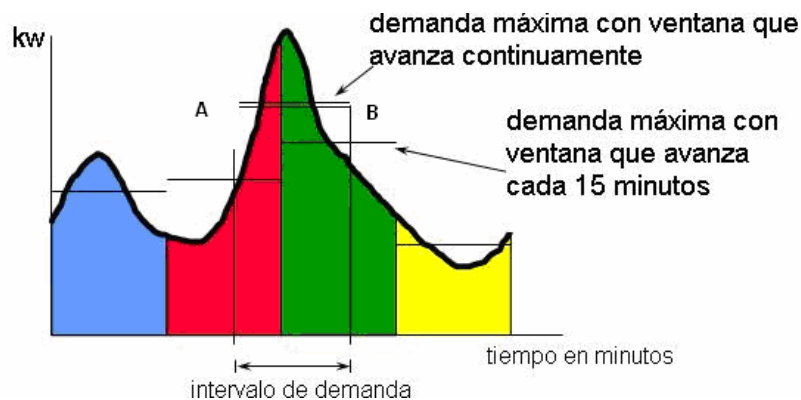


Fig. 1 Demanda máxima en un periodo de 15 minutos

2.2.2 Cálculo de la demanda máxima

Hay distintas formas para calcular la demanda máxima, el común radica en la medición promediada de una ventana con un ancho de tiempo de 15 minutos, pero la parte variable está en los instantes de tiempo en el cual la ventana inicia, para lo cual existen tres variantes que son:

- Ø **Ventana Fija:** La empresa suministradora de energía proporciona cada período un impulso para sincronizar el inicio del período de la máxima demanda.
- Ø **Ventana deslizante:** No hay un pulso de sincronización, por eso se toman siempre los últimos 15 min. Cada segundo se actualiza el valor con los últimos 15 min.
- Ø **Ventana sincronización de tiempo:** Es una variante de la ventana fija. La empresa proporciona un impulso de sincronización al inicio del día que indica el inicio del primer período. A continuación, y el resto del día, las sincronizaciones de cada período las da el propio reloj del equipo.

Para efectos de este trabajo se considera que la medición de la demanda máxima se realiza por ventana fija promediada cada 5 minutos, con periodos de integración total de 15 minutos, es decir se promedia el valor obtenido en los 5 minutos actuales con los registrados en los instantes n-1 y n-2 y de esa manera tener los 15 necesarios que marcan los estándares internacionales para la medición de consumo máximo, esta lógica de operación se aprecia en la **Fig. 4**, donde después de los primeros 15 minutos, cada 5 minutos adicionales, se toma una muestra promediada del consumo, lo cual no debe interpretarse erróneamente como mediciones de ventanas de 5 minutos.

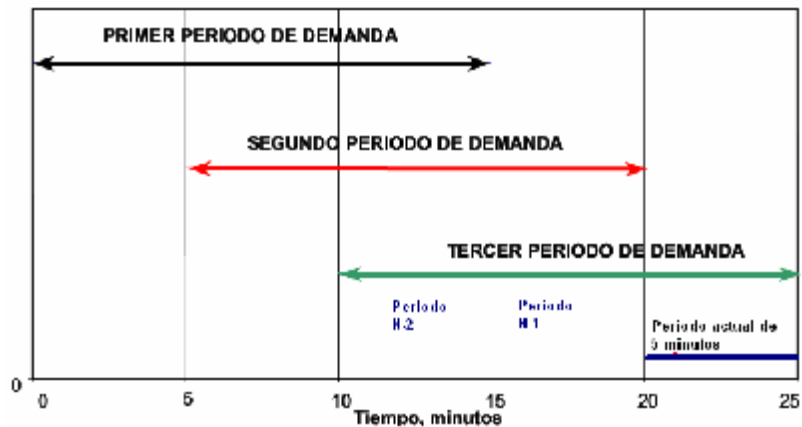


Fig. 2 Primeros periodos de demanda

2.2.3 ¿Cómo se controla?

Un controlador de demanda es básicamente un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, con el propósito de mantener la demanda máxima bajo control [27],[32], el equipo apaga o establece ciclos de trabajo a las cargas cuando la demanda alcanza un valor o crece a una tasa preseleccionada, las más comunes a manipular de manera general suelen ser:

- Ø Iluminación
- Ø Compresores
- Ø Aires acondicionados
- Ø Bombas
- Ø Ventiladores y extractores
- Ø Embaladoras
- Ø Trituradoras
- Ø Otras...

Se actúa sobre aquellas cargas que no intervienen de manera directa con el proceso productivo, se pueden disminuir, eliminar o diferir de los horarios punta donde CFE impacta los costos más elevados [31].

Los controladores de demanda en general deben tener algunos de siguientes componentes principales:

- Ø Transformadores de corriente, para proveer una señal de entrada desde el suministro de CFE al controlador de demanda.
- Ø Transductores, para convertir la señal de entrada de watts a una señal en milivolts.
- Ø Controlador de demanda, para monitorear los niveles de potencia a la entrada y actuar cuando éstos se aproximen al nivel pico de la demanda preseleccionada.
- Ø Panel de relevadores, para mandar señales de control a las cargas.

Algunas unidades más sofisticadas añaden varios parámetros comunes, para ofrecer un equipo más avanzado y versátil.

- Ø Controles de reloj, que son usados para rotar la selección de varias cargas sobre una base de tiempo, y también para controlar el tiempo máximo que una carga está apagada.
- Ø Programador de ciclos de trabajo, para determinar los tiempos y períodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación.
- Ø Programador de la hora del día, que añade la posibilidad de apagar equipos independientemente de la demanda.
- Ø Equipos diversos como son: sensores, analizadores, fuente externa de alimentación, memorias de estado sólido, etc.

En éste trabajo, la señal empleada para realizar el control de cargas proviene de un contador de energía electrónico marca ABB provisto por CFE, el cual sólo es instalado en aquellas empresas que bajo solicitud lo establezcan, debido a no está permitido que los usuarios coloquen elementos de medición adicionales. La señal consiste en una serie de pulsos que varía su frecuencia en proporción directa con la energía consumida.

2.2.4 Estrategias de control

Para establecer programas que limiten la demanda máxima es necesario identificar las cargas que generan picos de demanda y sean factibles de desconectar sin afectar elementos esenciales de la producción, determinar el tiempo y el horario en que ocurren los picos de demanda [26],[28].

El siguiente paso es determinar la magnitud de la carga para poder tomar la decisión de restringir o diferir la operación de las cargas y contribuir así con la reducción de la demanda pico y la facturación eléctrica. Por tanto entre las principales estrategias que se deben considerar para llevar a cabo un control de los equipos son las siguientes:

- Ø Tiempos y horarios de operación y desconexión
- Ø Desconexión parcial de sistemas
- Ø Horario de verano y fuera de verano
- Ø Días festivos
- Ø Monitoreo de la demanda
- Ø Trasladar cargas del horario punta al intermedio, siempre y cuando el proceso lo permita.

La acción de encendido y apagado de los equipos puede realizarse desde mecanismos muy simples como un temporizador conectado al interruptor de la carga, o por medio señales enviadas por un sistema de control automático. Un sistema de control de la demanda eléctrica permite manejar equipos de manera que se utilice la menor cantidad de energía posible en el periodo punta ó en su caso, mover cargas que operan en horas pico de demanda a los horarios intermedios [26] ,[28], y así reducir la facturación.

La **Fig. 5** muestra un ejemplo gráfico del comportamiento de demanda controlada. En la línea con marcas circulares se presenta el comportamiento de la demanda desde las 0:00 a las 23:59 horas en una cierta empresa, donde se puede apreciar la existencias de niveles indeseables, en contra parte se muestra otra línea con marcas en rombo que representan el comportamiento con una adecuada administración de demanda máxima, evitando exceder por ejemplo la barrera de los 400 kW. La gráfica en sí no muestra el comportamiento específico de un controlador de demanda, si no la forma en que debe operar, ya sea con manipulación manual por el personal o de manera automática con un equipo dedicado.

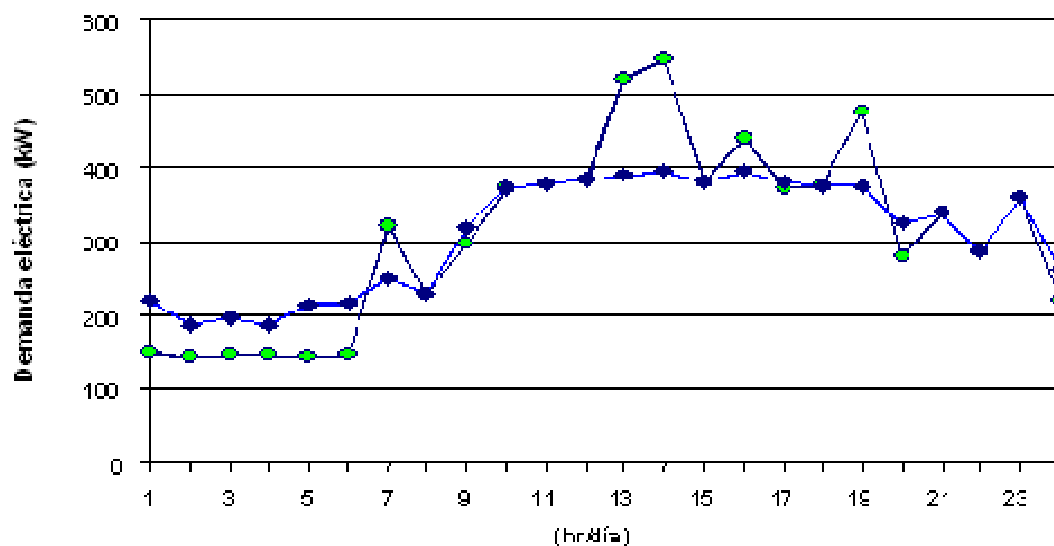


Fig. 3 Representación gráfica del control de la demanda

2.2.5 Clasificación de los sistemas de control de la demanda.

Actualmente son varias las alternativas que pueden encontrarse para resolver la administración de la demanda máxima en una empresa, cada una de ellas con sus ventajas y desventajas que permiten determinar la opción adecuada, siendo importante conocerlas para determinar los requisitos necesarios que debe cubrir la solución planteada en este trabajo.

2.2.5.1 Controles manuales y semiautomáticos

Los sistemas de control manual presentan beneficios si se supervisan las cargas que contribuyen de manera representativa en la demanda máxima a través de instrumentos de medición, con el objeto de tener bases para poder establecer programas de operación y desconexión de dichas cargas.

Una variedad de dispositivos simples y de bajo costo son empleados para auxiliar al operador encargado en el manejo de cargas, usualmente éstos controlan sólo una carga, y entre los más usuales se tienen:

- Ø Controles de tiempo: de tipos mecánico y electrónicos, controlan el encendido y apagado de equipo a tiempos preestablecidos.
- Ø Relevadores: pueden conectarse al cableado del equipo auxiliar de un equipo primario, de manera que por ejemplo, cuando se apaga una máquina de proceso, su ventilador, iluminación o flujo de agua se suspende automáticamente.
- Ø Relevadores de fotocelda: empleados especialmente para sistemas de iluminación para encender en la oscuridad y apagar cuando la iluminación natural sea adecuada.
- Ø Equipo termostático: que puede tener diferentes puntos de referencia para ciertos períodos del día o de la noche, y pueden reducir el empleo de los equipos de calefacción o refrigeración.

Ventajas:

- Ø El control de los equipos, puede realizarse con los propios sistemas de arranque/paro,
- Ø No se requiere hacer una inversión económica puesto que los equipos cuentan ya con este tipo de controles.
- Ø Sólo es necesario planificar una adecuada secuencia de arranque y paro por parte del personal encargado.

Desventajas:

- Ø La incertidumbre de los beneficios que se obtienen, ya que
- Ø No se cuenta con monitoreo

-
- ∅ Depende totalmente de la correcta operación por parte del personal,
 - ∅ Las acciones del usuario no suele ser constante y confiable en su proceder.

Por lo anterior aun cuando es la opción más económica, no logra satisfacer los requerimientos que este trabajo busca por tanto se descarta su implantación,

2.2.5.2 Opción con controlador automático

Se pueden programar para la operación y desconexión de las cargas cuando sea necesaria, se tiene la seguridad de que los equipos serán desconectados o puestos en operación de manera automática según la programación preestablecida y no es necesaria la supervisión puntual del personal operativo a cargo, quienes tienden a olvidar o menospreciar la importancia de ejercer acciones de paro en los momentos en que es detectado un aumento del consumo energético. Los controladores programables e inteligentes a su vez pueden tener 3 vertientes distintas.

Equipos específicos para el control de la demanda: fabricados desde su concepción para tal fin, tienen la ventaja de ser sistemas dedicados a tal operación y por tanto confiables en su operación,

Ventajas

- ∅ Equipos fabricados directamente para el control de la demanda
- ∅ Confiables
- ∅ Dedicados.

Desventajas

- ∅ Tienen una arquitectura cerrada
- ∅ Poca flexibilidad, ya que toda la operación está limitada o lo que el fabricante brinda
- ∅ No siempre puede cubrir todas las necesidades que las distintas industrias plantean.

Controladores de demanda basados en PLC:, son sistemas de control industrial de uso general y tienen la ventaja de ser programados acorde a las necesidades particulares de la empresa. Se emplean principalmente en equipos que tienen cargas de operación cíclica, sustituyen a los relevadores electromecánicos, de manera general son dispositivos con entradas de información de un proceso, y sus salidas son activadas de acuerdo a la programación basada en diagrama de escalera (metodología de control eléctrico).

Ventajas:

- Ø Relativamente fáciles de programar una vez conocida la metodología de la lógica de diagramas de escalera.
- Ø Son reprogramables para ajustarse a los posibles cambios o mejoras a la programación inicial.
- Ø Tienen un sistema de operación altamente confiable y probado durante años en el sector industrial.

Desventajas:

- Ø Su programación si bien no es compleja, suele ser específica a cada marca y modelo.
- Ø Resulta necesario realizar varias pruebas de operación de sus bloques de programación antes de realizar un programa elaborado.
- Ø Suelen ser equipos con costos considerables.
- Ø Son equipos más especializados por lo que el operador puede no tener idea de su forma de operar.
- Ø Los programas suelen tener un gran número de líneas de programación, en comparación con lenguajes de programación textual.

Finalmente los denominados *sistemas de control inteligentes*, los cuales están conformados por todo un sistema estructurado para brindar mayor potencial de configuración al usuario final, conocidos también como sistemas de administración de energía; básicamente combinan las funciones de un PLC, un controlador de demanda dedicado y un conjunto de equipos o módulos específicos adicionales para manejar, iluminación, controles térmicos, monitoreo, sensores a distancia, etc., son en si mismo una solución comercial ya elaborada para la administración de energía.

Los sistemas Inteligentes incluyen aspectos de un sistema de control distribuido, pueden usar las señales de los sensores para optimizar las decisiones energéticas relacionadas con la operación de los equipos, especialmente en ventilación, calefacción y refrigeración, la información entre los elementos del sistema generalmente fluye a través de protocolos de red industrial para la disminución del cableado.

Ventajas:

- Ø Puede incluir la interacción con otros sistemas ya instalados dentro de la empresa como puede ser el área de seguridad, monitoreo, alarmas contra incendio, etc.
- Ø Gran variedad de tipos de sistemas, software, tamaños, interfaces y distribución, que lo mantienen un desarrollo dinámico continuo con la tecnología.

Desventajas:

- ∅ Son sistemas altamente costosos
- ∅ Su integración de módulos obliga a la empresa a depender de una marca o proveedor
- ∅ No son sistemas totalmente abiertos,
- ∅ los costos que implicarlo son elevados
- ∅ El largo tiempo de recuperación que puede ser incluso de varios años.

En la **Tabla 2** se resume de manera general las opciones existentes para realizar una comparativa, y tomar los puntos de ventaja para tratar de incorporarlos en el trabajo desarrollado.

Tabla 1 Sistemas de control de la demanda eléctrica

| Sistemas de control de la demanda máxima | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|---|
| Tipo | Medio | Operación | Ventajas | Desventajas |
| Control manual. | Controles de encendido y apagado. | La secuencia de paro la realiza el propio personal (acciones momentáneas). | Se realiza con los propios equipos de arranque/paro (inversión cero). | No se cuenta con monitoreo de la demanda (incertidumbre de beneficios) |
| Control automático | Controles programables. | Sistema modular que actúa sobre una señal, que temporalmente desconecta cargas eléctricas predeterminadas. | Manejan niveles de prioridad para distintos horarios y fechas | Aun cuando es automático está limitado a un sólo programa y funciones básicas específicas. |
| | Sistemas de control inteligente. | Sistema que integra a un conjunto de módulos | Provee el control sobre procesos para que sean seguros, confiables, precisos y eficientes, lo cual es posible monitoreando y controlando los sistemas mecánicos y eléctricos. Pueden incorporarse otras opciones, como señales de falla de equipos, niveles de confort por horario y clima exterior, etc. | Costos altos en sistemas comerciales. Necesidad de personal calificado en integración de sistemas. |

2.2.6 Costos de la energía

Como se ha especificado, las tarifas industriales son sumamente importantes dentro del sector eléctrico debido al volumen de la energía que consumen; el número de clientes industriales es menos del 1% del total, pero sus consumos representan casi el 60% de la energía vendida [8]. Por esta razón existen nueve estructuras tarifarias aplicables a las empresas en función de la ubicación geográfica en el país, del voltaje de suministro, de la demanda contratada, del horario de uso y si el suministro es continuo o con interrupciones.

El voltaje suministrado depende del nivel de tensión contratado, en la **Tabla 3** se hace referencia a los valores correspondientes a baja, media y alta tensión en México.

Tabla 2 Niveles de tensión en CFE

| Tensión de suministro | Voltaje | Observaciones |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Baja tensión | tensión <= 1000 volts | |
| Media tensión | 1 kV < tensión < 35 kV | |
| Alta tensión | 35 kV < tensión < 220 kV | Nivel subtransmisión |
| Alta tensión | tensión >= 220 kV | Nivel transmisión |

Los 152 mil clientes servidos en media tensión consumen 33% más energía eléctrica que los 20 millones de usuarios domésticos atendidos por la CFE y los 592 servicios suministrados en alta tensión consumen lo mismo que todos los domésticos. Las cuotas de las tarifas se modifican cada mes con los “Factores de ajuste a las tarifas de baja, media y alta tensión por variaciones en los precios de combustibles y la inflación, el incremento de los años recientes obedece exclusivamente a los costos de los energéticos primarios utilizados en su producción

2.2.7 Tarifa H-M

El presente trabajo está enfocado a las empresas que se encuentran catalogadas en tarifa H-M que es una tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más, se describe a continuación algunas de sus características:

Esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda mensual de 100 kW o más. Los esquemas tarifarios tienen el cobro de distintos conceptos en función a cada kW consumido durante el mes facturado, así pues se tiene:

:

Tabla 3 Tarifas por kilo watt hora en la región central 2007

| Concepto | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| C x Dem Fact | 127.34 | 122.98 | 122.68 | 122.85 | 124.02 | 126.15 | 129.57 | 132.67 | 134.86 | 136.06 | 137.12 | 138.78 |
| C x kWh Punta | 2.4062 | 2.3239 | 2.3183 | 2.3215 | 2.3436 | 2.3839 | 2.4485 | 2.5070 | 2.5484 | 2.5711 | 2.59.12 | 2.6226 |
| C x kWh Intermedio | 0.7696 | 0.7433 | 0.7415 | 0.7425 | 0.7496 | 0.7625 | 0.7832 | 0.8019 | 0.8151 | 0.8224 | 0.8288 | 0.8388 |
| C x kWh Base | 0.6430 | 0.6210 | 0.6195 | 0.6204 | 0.6263 | 0.6371 | 0.6544 | 0.6700 | 0.6811 | 0.6872 | 0.6926 | 0.7010 |

En la **Tabla 4**, se tienen los costos generados por cada kWh consumido de acuerdo al periodo tarifario que este corriendo, el cual depende directamente del día de la semana y del horario en curso, lo que se destaca es la variación significativa de los costos, sobre todo el de base comparado con el de punta.

Del horario punta se cobran al menos 40 horas mensuales en horario de verano y alrededor de 88 horas en invierno, por lo que se aprecia la importancia de tener un adecuado control del consumo de energía, ya que las facturas de invierno suelen ser más elevadas.

La proporción de los costos mes a mes guardan aproximadamente la siguiente relación:

| | | | |
|----------------------|-----|--------------|----------|
| ∅ horario intermedio | > | horario base | 20% más |
| ∅ horario punta | > > | horario base | 375% más |

Algunos conceptos o definiciones que son empleados en la administración de la demanda máxima son descritos a continuación.

Demanda contratada

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kW o de la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario

Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX, así como los que se establezcan por acuerdo Presidencial.

Periodo Punta, Intermedio y Base.

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para las distintas temporadas del año, **Tabla 5**.

Tabla 4 Periodos tarifarios de verano e invierno

| Región central, noreste, norte y sur | Horario de verano | | | Horario de invierno | | |
|---|---|--------------------------------|---------------|---|--------------------------------|---------------|
| | Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre | | | Del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril | | |
| Día de la Semana | Base | Intermedio | Punta | Base | Intermedio | Punta |
| Lunes a viernes | 00:00 - 06:00 | 06:00 - 20:00 22:00 - 24:00 | 20:00 - 22:00 | 00:00 - 06:00 | 06:00 - 18:00 22:00 - 24:00 | 18:00 - 22:00 |
| Sábado | 00:00 - 07:00 | 07:00 - 24:00 | | 00:00 - 08:00 | 08:00 - 19:00 21:00 - 24:00 | 19:00 - 21:00 |
| Domingo y festivo | 00:00 - 19:00 | 19:00 - 24:00 | | 00:00 - 18:00 | 18:00 - 24:00 | |

Cada periodo de acuerdo al mes puede tener diferente número de horas acumuladas durante el mes, como ejemplo en un mes con 30 días se tiene que en promedio se acumulan las siguientes horas por periodo tarifario:

Para verano se toma el mes de junio 2007:

| Lunes a Viernes | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Por día | 6 | 16 | 2 |
| Por semana | 6*5 = 30 | 16*5 = 80 | 2*5 = 10 |
| Por mes 4 semanas | 30*4 = 120 | 80*4 = 320 | 10*4 = 40 |
| Se agrega 1 día | 120 + 6 = 126 | 320 + 16 = 336 | 40 + 2 = 42 |
| Sábado | | | |
| | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
| Por semana | 7 | 17 | 0 |
| Por mes 4 semanas | 7*4 = 28 | 17*4 = 68 | 0 |
| Se agrega 1 sábado | 28 + 7 = 35 | 68 + 17 = 85 | 0 |
| Domingo | | | |
| | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
| Por semana | 19 | 5 | 0 |
| Por mes 4 semanas | 19*4 = 76 | 5*4 = 20 | 0 |
| Total mes base | Total mes intermedia | Total mes punta | |
| 126 + 35 + 76 = 237 | 336 + 85 + 20 = 441 | 42 | |

Ahora multiplicando el consumo de kWh de cada periodo por su correspondiente costo, se tiene:

| Periodo | Consumo en kWh | Costo por kWh(junio 2007) | Total en pesos |
|----------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Base | 471000 | \$ 0.6371 | \$300,074.10 |
| Intermedio | 306000 | \$ 0.7625 | \$233,325.00 |
| Punta | 27000 | \$ 2.3839 | \$ 64,365.30 |
| | | Total | \$597,764.40 |

Los valores de consumo son reales, tomados de una empresa que por razones de confidencialidad no se indica.

Al costo obtenido es parcial ya que aún faltan cargos relacionados al factor de potencia, la demanda máxima facturable e IVA.

Ahora los costos generados por consumo en el periodo de invierno, de la misma empresa en un mes con 30 días, ejemplo marzo 2007:

| Lunes a Viernes | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Por día | 6 | 14 | 4 |
| Por semana | 6*5 = 30 | 14*5 = 70 | 4*5 = 20 |
| Por mes 4 semanas | 30*4 = 120 | 70*4 = 280 | 20*4 = 80 |
| Se agregan 2 días | 120 + 12 = 132 | 280 + 28 = 308 | 80 + 8 = 88 |
| sábado | | | |
| | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
| Por semana | 8 | 14 | 2 |
| Por mes 4 semanas | 8*4 = 32 | 14*4 = 56 | 2*4 = 8 |
| domingo | | | |
| | Horas base | Horas intermedio | Horas en punta |
| Por semana | 18 | 6 | 0 |
| Por mes 4 semanas | 18*4 = 72 | 6*4 = 24 | 0 |

| | | |
|--|--|------------------------------|
| Total mes base 132 + 32 + 72 = 236 | Total mes intermedia 308 + 56 + 24 = 388 | Total mes punta 96 |
|--|--|------------------------------|

Multiplicando el consumo de kWh de cada periodo por el consumo generado.

| Periodo | Consumo en kWh | Costo por kWh(junio 2007) | Total en pesos |
|------------|----------------|---------------------------|---------------------|
| Base | 702000.00 | \$0.6195 | \$434,889.00 |
| Intermedio | 369000.00 | \$0.7415 | \$273,613.50 |
| Punta | 114000.00 | \$2.3183 | \$264,286.20 |
| | | Total | \$972,788.70 |

De la información obtenida se puede apreciar que en los meses de invierno los cargos suelen ser mayores debido al aumento de horas intermedias y punta.

Demanda Facturable

Es el concepto de cobro más elevado y depende en su mayor parte de la demanda máxima registrada a lo largo de mes, en realidad se toman 3 demandas máximas, cada una correspondiente a cada periodo tarifario, la más significativa en la ecuación la representa la del periodo punta, el cálculo se define por la siguiente fórmula:

$$DF = DP + FRI * \max(DI-DP,0) + FRB * \max(DB-DPI,0)$$

Donde:

| | |
|-----------|--|
| DP | es la demanda máxima Medida en el Periodo de Punta. |
| DI | Demanda máxima Medida en el Periodo Intermedio. |
| DB | Demanda máxima Medida en el Periodo de Base. |
| DPI | Demanda máxima Medida entre los Periodos Punta e Intermedio, es decir se toma el mayor valor de entre las dos. |
| FRI y FRB | son factores de reducción asignados a cada región geográfica del país, para la zona central se tienen los siguientes valores |
| FRI | 0.3 región central |
| FRB, | 0.15 región central |

En las fórmulas que definen las demandas facturables DF, el símbolo "max" significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero, en el caso cuando la demanda máxima del periodo punta es mayor a las otras, la formula ser reduce a:

$$DF = DP$$

Dado que los dos sumandos posteriores son multiplicados respectivamente por 0 al obtenerse un valor negativo dentro del paréntesis, quedando nuevamente de manifiesto la relevancia que tiene la demanda en punta para efectos de facturación

Si se agregan los costos de DF a los meses calculados con anterioridad se tiene:

| Mes | Dem. Max. base | Dem. Max. int. | Dem. Max. Pun. | Demanda facturable | Costo DF por kW | Costo en pesos |
|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| marzo | 1448 | 1479 | 1461 | 1466.4 | 122.68 | \$179,897.95 |
| junio | 1527 | 1671 | 1458 | 1521.9 | 126.15 | \$191,987.69 |

Sumando el costo del consumo y la demanda facturable:

| Mes | Costo en pesos | Costo por consumo | Costo sin IVA | Costo despues de IVA |
|-------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| marzo | \$179,897.95 | \$972,788.70 | \$1,152,686.65 | \$1,325,589.65 |
| junio | \$191,987.69 | \$597,764.40 | \$789,752.09 | \$908,214.90 |

Es importante considerar que falta agregar el porcentaje de penalización o bonificación de acuerdo al factor de potencia, el cual para efectos de comparación no se contempla debido a que no es significativo en los costos finales, ahora bien en esta empresa ya se cuenta con un sistema de ahorro de energía básico, el cual ahorra alrededor del 7% de acuerdo a datos de consumo. El sistema que se desea desarrollar está pensado para alcanzar de 7 al 15% al optimizar puntos adicionales no considerados en el sistema instalado en esta planta.

Considerando que los consumos mensuales y demanda facturable se reducen un 10%, se tiene como comparación de los mismos meses:

| Mes de marzo | | | | Mes de junio | | |
|--------------|------------|---------------|---------------------|--------------|---------------|---------------------|
| Periodo | Consumo KW | Costo por KW | Total por periodo | Consumo kW | Costo pokW | Total por periodo |
| base | 631800 | \$0.6195 | \$391,400.10 | 423900 | \$0.6195 | \$262,606.05 |
| intermedio | 332100 | \$0.7415 | \$246,252.15 | 275400 | \$0.7415 | \$204,209.10 |
| punta | 102600 | \$2.3183 | \$237,857.58 | 24300 | \$2.3183 | \$56,334.69 |
| | | Total: | \$875,509.83 | | Total: | \$523,149.84 |

Si el sistema se configura para tener una demanda máxima controlada de 1380 kW para los tres periodos del día, los costos por concepto de DF son:

| Mes | Dem. Max. Base | Dem. Max. Int. | Dem. Max. Pun. | Demanda Facturable | Costo DF por kW | Costo en pesos |
|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| marzo | 1380 | 1380 | 1380 | 1380 | 122.68 | \$169,298.40 |
| junio | 1380 | 1380 | 1380 | 1380 | 126.15 | \$174,087.00 |

Al sumar los costos por consumo y DF se tiene.

| Mes | Costo en pesos | Costo por consumo | Costo sin IVA | Costo despues de IVA |
|-------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| marzo | \$169,298.40 | \$875,509.83 | \$1,044,808.23 | \$1,201,529.46 |
| junio | \$174,087.00 | \$523,149.84 | \$697,236.84 | \$801,822.37 |

Finalmente en comparación de un consumo desmedido a uno con control de la demanda se tienen los siguientes ahorros.

| Mes comparado | Costo sin control de la demanda | Costo con control de la demanda | Utilidad obtenida |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| marzo | \$1,325,589.65 | \$1,201,529.46 | \$124,060.19 |
| junio | \$908,214.90 | \$801,822.37 | \$106,392.53 |

Lo anterior es considerando una reducción inicial del 10%, sin embargo una vez en operación el sistema, es posible ir agregando cargas a controlar, lo cual puede incrementar el porcentaje de reducción y por ende los ahorros generados

En este punto se observa que el tiempo de recuperación va desde uno a dos años, ya que si bien el costo del sistema en si no es elevado deben considerarse costos adicionales, como son las modificaciones a los sistemas de arranque de las cargas, tendido del cableado, obtención de permisos y medidor electrónico de CFE, etc.

2.3 Sistemas SCADA

La solución más adecuada para el control de la demanda máxima como se ha especificado está en los sistemas automáticos llamados “inteligentes”, los cuales tienen como una de sus ventajas la posibilidad del monitoreo constante de la demanda y el almacenamiento de datos para su interpretación posterior. La información es desplegada en gráficas que son presentadas en una pantalla industrial o monitor, adicionalmente pueden mostrar también la operación del proceso o el estado presente de las entradas y salidas, la cual se muestra mediante la representación de imágenes, incluso si la pantalla es de tipo táctil (*Touch Screen*) sirven para el acceso o ingreso de datos por parte del operador, cuando se presenta un sistema con este grado de prestaciones se suele identificar como un sistema SCADA.

2.3.1 ¿Qué es un SCADA?

SCADA es un acrónimo *Supervisory Control And Data Acquisition* en ocasiones algunos autores tratando de respetar el orden de sus siglas en ingles, lo describen como un Sistema de Supervisión, de Control y Adquisición de Datos [41], el orden en el cual se interpreta al español no significa propiamente el orden en el cual el sistema opera, si no más bien es sólo un ordenamiento de las prestaciones que ofrece con el fin de tener mayor semejanza el orden original de sus siglas en ingles, otra forma de llamarlo más aceptado es como: Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisorio, sin embargo para evitar diversas interpretaciones dadas al traducirlo al español, simplemente es empleado el termino SCADA en el ámbito de la automatización industrial.

Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre computadoras preferentemente industriales, basado en el desarrollo de pantallas que representan mediante gráficos los procesos de producción de una planta automatizada [34],[35], los cuales son controlados por dispositivos industriales tales como PLC, tarjetas de control, variadores de frecuencia, unidades de transmisión remota sistemas de control distribuidos, pirómetros, etc. [36]

La supervisión es realizada en una o más computadoras, desde las cuales se lleva acabo la gestión de alarmas, el manejo de los datos producidos y el control que debe ser proporcionado al usuario para adecuaciones al proceso cuando se requieran. La comunicación con los dispositivos de control industrial se realiza mediante protocolos de comunicación industrial.

Los sistemas SCADA, están diseñados para proporcionar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar procesos al beneficiarse de sus prestaciones tales como:

- Ø Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador):
- Ø Estado actual del proceso. Valores instantáneos;
- Ø Desviación o deriva del proceso. Evolución histórica y acumulada;
- Ø Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador):
- Ø Generación de alarmas;
- Ø HMI Human Machine Interface (Interfaces hombre-máquina);
- Ø Toma de decisiones:
 - Mediante operación o intervención humana;
 - Automática

Dentro de los niveles de automatización existentes, los sistemas SCADA están situados en la parte alta, después de los sistemas de control industrial y bajo los sistemas de gestión de la información gerencial en redes Ethernet, su ubicación dentro de un proceso puede observarse en la **Fig. 6**.

Si bien los sistemas SCADA fueron concebidos para aplicaciones de control de procesos en planta, mediante la adquisición de variables físicas de proceso como temperatura, voltaje, presión, nivel, etc., su flexibilidad permite que pueda ser empleado para el manejo de las variables que intervienen en el control de la demanda.

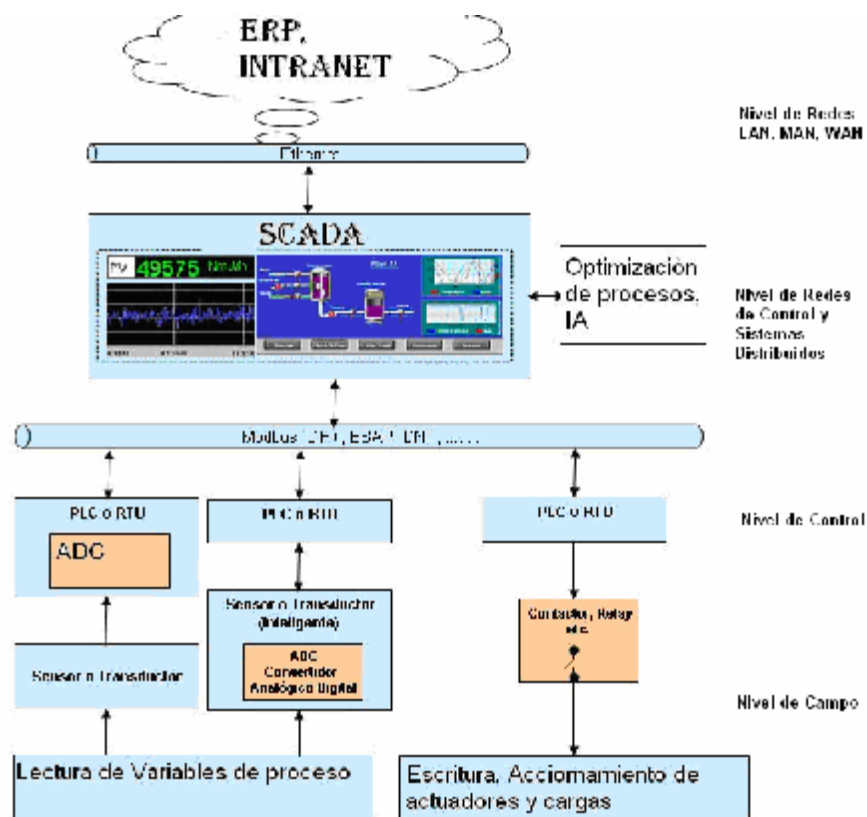


Fig. 4 Entorno básico de un SCADA

2.3.2 Historia

Los primeros SCADA eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo, vigilando con medidores de carátula y lámparas que representaban a valores o condiciones del estado de las variables más importantes, se registraba la información en hojas continuas para llevar un histórico de eventos que ocurrían en el proceso [38],[39].

Al desarrollarse la tecnología, las computadoras asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo de comandos de control y una nueva función de presentación de la información sobre una pantalla monocromática. Muchas empresas viendo la necesidad y lo rápido que avanzaba el desarrollo de las computadoras, fueron realizando programas de aplicación específicos para atender requisitos de algún proyecto particular, así nacieron los pequeños SCADA's creados por empresas desarrolladoras de software y una nueva experiencia para muchas de ellas.[37]

Actualmente son parte integral de la estructura gerencial de la información corporativa [34],[35], ya no son sólo herramientas operacionales, sino un recurso importante de información, sirviendo como centro de responsabilidad operacional, también proporcionan datos a otros sistemas y usuarios que dependen de la información oportuna para basar sus decisiones cotidianas.

2.3.3 Prestaciones

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Ø Posibilidad de crear paneles de alarma, alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos).
- Ø Generación de históricos de señal de planta que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ø Modifican la ley de control o la anulan, actuando sobre las tareas asociadas al dispositivo de control, bajo ciertas condiciones controles iniciados por operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- Ø Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre el CPU de la computadora.
- Ø Adquisición de datos. recolección de datos. en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.

2.2.4 Requisitos.

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea adecuadamente aprovechada:

- Ø Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Ø Poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Ø Ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces simples para el usuario.

2.2.5 Módulos

Los módulos o bloques del software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Ø **Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Ø **Interfaz gráfico del operador:** proporciona las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante gráficos almacenados en la computadora de proceso.

- ∅ **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- ∅ **Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- ∅ **Comunicaciones:** se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA. [34],[38],[40]

2.2.6 Operación.

El flujo de la información parte de la medición de una o más variables, sin embargo debido a que la naturaleza del fenómeno es muy diversa, presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, pH, densidad, etc., deben convertirse a una variable que sea procesada por el sistema, en una de tipo eléctrico, las más utilizadas son: voltaje y corriente.[34],[35],[40]

Sin embargo, la variedad de valores y tipos de señales eléctricas debe ser transformada para ser manipulada por la computadora, para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje, además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de ruidos originados en el campo. [36]

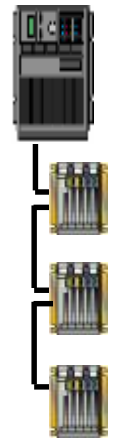
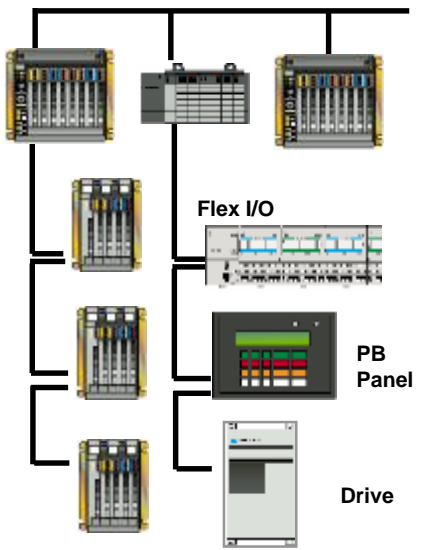
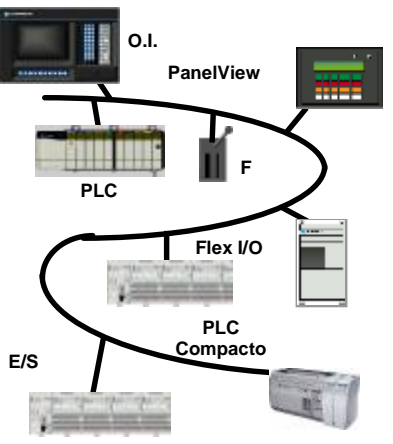
Una vez acondicionada la señal, se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos, generalmente esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso o permitir continuar la lógica de control programada. Cuando el operador manipula a la computadora, debe ahora hacerse el proceso inverso, convertir la información digital a una señal eléctrica, que “sale” en alguna de las salidas digitales o analógicas del PLC, activando un relevador o una tarjeta que provea una salida de 4 a 20 mA, etc.

2.4 Buses Industriales.

La comunicación entre equipos de control industrial como los PLC con módulos de entrada/salida o de aplicación específica, han ido evolucionando hasta adoptar arquitecturas de comunicación semejantes a las redes de equipos de cómputo. Al medio y a las reglas de comunicación de los elementos de la red se le conoce como bus de campo. En la **Tabla 6** se aprecia la evolución que han tenido las comunicaciones entre los PLC y módulos adicionales.

Tabla 5 Desarrollo de las redes de comunicación industrial

| EVOLUCIÓN DEL CONTROL Y DE LAS COMUNICACIONES ENTRE DISPOSITIVOS | | |
|--|---|--|
| Control Centralizado | Descentralización E/S y Procesado | Control Distribuido |
| AÑO DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA | | |
| 80'as | 90'as | 2000 |
| ESQUEMA DE CONEXIÓN | | |
|  |  |  |
| CARACTERÍSTICAS | | |
| Lógica en el controlador Barrido - Adquisición E/S Vía única de datos Comunicaciones Intensivas Punto de fallo único | Barrido - Adquisición E/S Comunicaciones Intensivas Múltiples vías de datos Fallo se mantiene en el PLC E/S cercanas a los dispositivos | Adquisición E/S por evento Menos Comunicaciones Intensivas Vías de datos concentrados Fallo aislado en el dispositivo |

Los buses de campo se utilizan principalmente como un sistema de comunicación entre los sistemas de automatización y los dispositivos de campo, reducen considerablemente el costo por cableado, configuración y mantenimiento, son necesarios sólo dos cables para transmitir toda la información relevante en un proceso automatizado, la información no sólo consta de los datos provistos por los elementos de entrada y salida representados de manera general por sensores y actuadores, si no que adicionalmente pueden llevar datos de parametrización, diagnóstico del equipo, etc.

En la actualidad existen en el mercado una gran cantidad de buses, pero los más posicionados son en general PROFIBUS y DEVICE NET debido al respaldo de las dos más grandes empresas en automatización, Siemens para el primero y Allen Bradley para el segundo. Debido a la falta de estándares globales, algunas compañías han desarrollado soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación, algunos de los agrupamientos dados son:

2.4.1 Buses de alta velocidad y baja funcionalidad.

Están diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotoceldas, relés, etc. funcionando en aplicaciones de tiempo real, básicamente comprenden las capas física y de enlace del modelo OSI.

- Ø CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- Ø SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN.
- Ø ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

2.4.2 Buses de alta velocidad y funcionalidad media.

Se basan el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio, los mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Algunos son:

- Ø DEVICE NET: utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- Ø BitBus: bus de red desarrollado por INTEL.
- Ø CsCAN: Bus desarrollado por Horner, está basado en CAN con algunas mejoras.
- Ø PROFIBUS DP: Bus propuesto por Siemens

2.4.3 Buses de altas prestaciones.

Son capaces de soportar comunicaciones a nivel de todos los niveles de producción, aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobre carga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación tiene un gran número de servicios a la capa de usuario como son:

- Ø Redes multi-maestro con redundancia.
- Ø Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Ø Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo.
- Ø Capacidad de direccionamiento *unicast*, *multicast* y *broadcast*.
- Ø Petición de servicios basados en eventos.
- Ø Etc.

2.4.4 Bus universal

Ante la variedad de opciones existentes, parece razonable pensar que fabricantes y usuarios hicieran un esfuerzo en la búsqueda de normativas comunes para la interconexión de sistemas industriales.

Lo que se ha llamado “la guerra de los buses” tiene que ver con la permanente confusión reinante en los entornos normalizadores en los que se debate la especificación del supuesto “bus de campo universal”. Desde mediados de los 80’s la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-CEI) y la Sociedad de Instrumentación Americana (ISA) han sido escenario para lograr una estandarización, en 1992 surgieron dos grupos ISP (Interoperable System Project) y WorldFTP cada uno promoviendo su propia versión de bus de campo. En el primero estaban fabricantes como Siemens, Fisher-Rosemount, Foxboro y Yokogawa, en el segundo Allen Bradley, Honey Well, Square D y diversas empresas francesas. Fue hasta 1994 cuando ambos grupos se unieron en la Fieldbus Foundation, sin embargo los años pasan y la norma del supuesto bus universal no se acaba de generar, y en la actualidad reaparecen nuevas opciones basadas en CAN y Ethernet.

Son precisamente los buses basados en CAN quienes han estado teniendo nuevamente un auge en las redes de control de dispositivos industriales, en gran parte debido a los bajos costos que implica incorporar ésta comunicación en los equipos, basta mencionar que circuitos integrados como los PIC, incluyen herramientas de programación que permiten realizar redes entre elementos empleando protocolos de comunicación CAN, en Europa actualmente los buses del tipo CAN están desplazando a varios equipos de medición y control simple que hasta ahora usaban PROFIBUS.

2.5 Software de Programación

La selección del software a emplear en la aplicación final, tiene como principal parámetro de su decisión, los aspectos relacionados con sus prestaciones y la parte económica, por lo cual se seleccionó a Cscape 8.5 (*Control Station Central Application Programming Environment*), de la empresa Horner, el cual tiene la enorme ventaja de tener licencia gratuita y permite tanto la programación de distintas gamas de PLC’s, de pantallas gráficas, pantallas táctiles y módulos adicionales, evitando los costos generados por la adquisición de software específico para la programación de cada elemento del sistema y del ambiente gráfico HMI del sistema SCADA.

Cabe destacar que de haber tomado la decisión por otro software comercial de empresas más posicionadas en este ámbito, los costos de licenciamiento incluso sobrepasan a los de la adquisición del hardware necesario para implantar el sistema, repercutiendo enormemente en los costos finales.

Un PLC brinda considerables ventajas sobre otros equipos de control, son equipo muy confiables y ampliamente probados en el sector industrial, con el paso del tiempo han ido evolucionando para incorporar de manera integrada, prestaciones de visualización y comunicación en red entre otras, La aplicación desarrollada toma como elemento de control principal a un PLC que tiene incorporado el módulo de comunicación en red, visualización en minipantalla, e incluso almacenamiento de datos.

2.6 Resumen de capítulo

Como medio de recapitulación rápida de los puntos más relevantes del capítulo, se realiza un resumen del mismo.

El ahorro de energía eléctrica beneficia a todos y contribuye a formar conciencia ecológica y de compromiso en el desarrollo de la economía, el sector industrial representa un elemento sumamente importante en éste rubro. Ha quedado claro el hecho de los altos costos que implica trabajar las cargas sin control en horario punta, donde el costo aplicado es cuatro veces mayor comparado al base. Resulta importante la disminución del costo facturable mensual, realizando acciones de control de la demanda.

Aun cuando en el mercado existen algunas soluciones desarrolladas para el control de la demanda eléctrica, están limitadas a funciones específicas y a un número determinado de control de cargas, además de ser costosos, presentan el inconveniente que al ser de procedencia extranjera, las configuraciones originales no siempre se adaptan a la perfección a los requerimientos de nuestro país, sobre todo por la gran variedad de zonas y clasificaciones tarifarias en las que están segmentados los usuarios de CFE.

Los sistemas SCADA contribuyen enormemente a tener un mayor control de una producción al permitir una supervisión constante de los aspectos más relevantes, además de emplearse para el almacenamiento de datos, a partir de los cuales se pueden realizar acciones de control estadístico, planeaciones, etc. de tal forma que una solución que incluyera sus beneficios, sería muy útil enfocándolo específicamente a atacar el problema del consumo energético desmedido y sin control.

La búsqueda de una solución económica propicia mayor grado de aceptación por parte del sector industrial, al poder amortizar los gastos que implica, en periodos de tiempo de seis meses a poco más de un año. Los costos relacionados con el licenciamiento de software de tipo industrial suele ser tan elevado que en ocasiones supera a los costos de adquisición de hardware empleado en una solución de automatización, de ahí la importancia de emplear programas de licenciamiento gratuito y disminuir considerablemente los costos finales de la aplicación realizada.

CAPÍTULO 3 ESPECIFICACIONES Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA

3.1 Introducción

En la actualidad resulta importante el uso de redes en los equipos de automatización industrial por los beneficios que aportan a un sistema de control, sin embargo, la comunicación base de un sistema SCADA ha sido entre un equipo de computo y un PLC empleando una conexión directa que ha ido evolucionando desde la interfaz RS-232 con protocolo serial hasta redes basadas en TCP/IP con paradigma Cliente/Servidor

Los niveles de comunicación que se da entre distintos elementos, puede ser cambiante, en ciertos momentos, una entidad puede comportarse como cliente y en otro servidor, debido básicamente a los esquemas de comunicación establecidos:

- Ø Entre la aplicación SCADA y PLC,
- Ø Entre PLC's,
- Ø Entre aplicaciones o componentes de aplicación SCADA.
- Ø Entre la aplicación SCADA y otras aplicaciones generales.

3.1.1 Comunicación PLC-SCADA

El PLC suele programarse o intercambiar datos con un sistema SCADA a través de una conexión física, los escenarios tradicionales a nivel de transmisión de datos son básicamente a través de una interfaz serial RS-232 y distintos protocolos de red asociados

- Ø Red con protocolo propietario
- Ø Red con protocolo abierto.
- Ø Red con protocolo TPC/IP

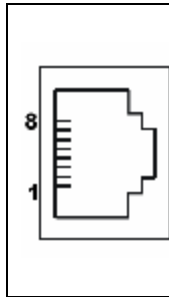
3.1.1.1 Interfaz serial RS-232

Ha sido la forma más común de comunicación de un sistema SCADA con un PLC o dispositivos de control y adquisición; teniendo un protocolo implantado por el fabricante que muchas veces trata de adaptarse a un estándar. Sin embargo, esta forma de comunicación se caracteriza por ser una conexión primitiva punto a punto, sin flexibilidad de comunicarse con otros equipos.

Varios fabricantes emplean conectores especiales para obligar al usuario a adquirir el cable de conexión con ellos, caso que no aplica en el equipo empleado en este trabajo, el cable necesario para programar el PLC utiliza un conector de red RJ45 para conectarse al equipo y del lado de la PC un conector DB9 hembra, es importante hacer notar que el empleo de un conector RJ no implica que la transmisión se lleva con protocolo TCP/IP, sólo es diseño del fabricante para su fácil conexión, se realizó con la identificación de terminales dada en la **Tabla 7**.

Tabla 1 Terminales del conector de programación del PLC

| Terminal | Señal | Descripción | Dirección |
|----------|-------|------------------------------------|----------------|
| 8 | RD | RS-232 Recepción de Datos | Salida |
| 7 | TD | RS-232 Transmisión de Datos | Entrada |
| 6 | OV | Tierra | |
| 5 | +5 | +5 Vcd 60 mA máximos | Salida |
| 4 | RTS | RS-232 Requerimiento de Envío | Entrada |
| 3 | CTS | RS-232 Limpiar para enviar | Salida |
| 2 | RX/TX | RS-485 Recibir/Transmitir Positivo | Entrada/salida |
| 1 | RX/TX | RS-485 Recibir/Transmitir Negativo | Entrada/salida |



3.1.1.2 Comunicación en red con protocolo propietario

Dada la necesidad de conexiones multipunto entre los equipos de control, los fabricantes de PLC`s desarrollaron protocolos de comunicación enfocados a tal fin, permitiendo con ello el poder tener a más de un equipo de control comunicado con una PC, de ésta forma una aplicación SCADA se podía comunicar con más de un PLC en red; y un PLC con más de una aplicación SCADA.

El PLC empleado usa un protocolo de red propietario CsCAN, pero también tiene la posibilidad de trabajar con protocolos abiertos de red industrial como es el caso de Modbus. El puerto MJ1 puede ser configurado para operar con RS-232 o RS-485, adicionalmente, se tiene un segundo puerto RJ45 que funciona sólo en RS-485.

3.1.1.3 Comunicación en red con protocolo TCP/IP

La creciente utilización de estándares abiertos de comunicación basados en el modelo de referencia OSI de bajo costo ha llevado al diseño de redes de computadoras y PLC's basadas en el protocolo TCP/IP, su utilización como esquema de comunicación entre equipos con aplicaciones SCADA y PLC's amplió una gama de posibilidades de transmisión de datos hacia otro tipo de equipos y esquemas.

Si bien el PLC que seleccionado, no cuenta con un puerto de comunicación Ethernet TCP/IP, en caso de ser necesario, se tiene la posibilidad de anexar un módulo de comunicación para este fin,

3.2 Características principales de los dispositivos empleados

Los elementos empleados se eligieron, con el fin de cubrir los requerimientos de operación que permitan integrar un sistema SCADA enfocado al ahorro de energía eléctrica, considerando de manera importante que los costos a cubrir sean económicos para poder ser un sistema rentable y prontamente amortizable.

3.2.1 PLC XLE

Es un PLC de nueva generación denominado todo en uno (*All In One*), ya que además del las acciones del control que comúnmente realiza, integra algunos elementos que antiguamente debían ser adquiridos como módulos adicionales, como son: interfaz de usuario, módulo de entradas y salidas local, puertos de comunicación en red y almacenamiento de datos local. Algunas de sus características destacables y que son punto de partida del por qué de su selección son:

- ∅ Beneficios en la reducción de espacio al no tener por separado los módulos de visualización, entradas-salidas, comunicación de red y almacenamiento.
- ∅ Pantalla de visualización gráfica programable.
- ∅ Tiene incorporado un módulo de comunicación en red CsCAN.
- ∅ Posibilidades amplias de expansión como módulos de Ethernet, comunicación inalámbrica a través de un MODEM telefónico, para futuras mejoras del proyecto.
- ∅ Permite la actualización de programas sin necesidad de equipo de cómputo, basta con insertar una memoria Micro SD con la versión actualizada.
- ∅ Soporte para memoria superior a 1 Gb de almacenamiento, para programas, almacenamiento de datos, capturas de pantallas, etc.
- ∅ Puerto serial configurable para comunicación con otros PLC o periféricos seriales.

En la **Tabla 8** se dan las características más relevantes de las entradas y salidas locales que contiene el PLC, con el fin de tener conocimiento de de voltaje a los que opera.

Tabla 2 Características de entradas y salidas

| Entradas Digitales de DC | 24 incluyendo 4 de alta frecuencia configurables, | Entradas Analógicas | 2 | Salidas Digitales de DC | 16 incluyendo 2 configurables para PWM |
|--|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Comunes por modulo | 1 | Rango de entradas | 0 a 10 VCD 4 a 20 mA | Comunes por módulo | 1 |
| Voltaje de entrada | De 12 a 24 VCD | Resolución | 10 bits, 32000 val. | Voltaje de salida | 24 VCD |
| Tiempo de respuesta On /Off y viceversa. | 1 ms | Velocidad de conversión | Tiempo de barrido | Máxima corriente de salida por punto | 0.5 A |
| Vel Max de lectura entradas de alta frecuencia | 10 KHz | | | Corriente total máxima | 4 A continuos |
| | | | | Tiempo de respuesta on/off | 1 ms |
| | | | | Tipo de salida | Digital con lógica positiva |

3.2.2 Módulos remotos

El PLC XLE seleccionado no está limitado a las entradas y salida incorporadas, éstas se pueden ampliar con el empleo de módulos denominados SmartStix I/O, los cuales pueden ser colocados de manera local o distribuidos, existiendo una amplia variedad para aplicaciones específicas. En el desarrollo del sistema de control de la demanda sólo se emplea un módulo de salida remoto con 16 salidas y 16 entradas digitales.

Del módulo DM602 en específico, se tiene:

- Ø Módulos de 16 elementos de salida.
- Ø Comunicación remota en una red CsCAN
- Ø Protección contra corto
- Ø Distancias máxima de operación de 2000 m empleando repetidores.
- Ø Tiempo de respuesta de 10 a 12 milisegundos como máximo
- Ø Salidas a relevador.
- Ø No debe excederse los 5 amperes en todo el bloque.
- Ø Un carga por salida promedio de 320 mA

3.2.3 Pantalla táctil

A diferencia de las pantallas de visualización comunes, las seleccionada tiene entre una de sus ventajas poseer una pantalla sensible al tacto y con posibilidad de ejecutar programas de control elaborados en diagrama de escalera, es decir, en el caso de ser necesario puede suprimirse el uso de un PLC como elemento de control, ya que puede usar la mayoría de las instrucciones de éste.

Si la programación necesaria es simple, en alguna aplicación particular, bastaría con la pantalla y un módulo de entradas y salidas local o remoto, puesto que la pantalla no cuenta con entradas o salidas integradas.

El modelo que se emplea en esta aplicación es el LX300 con 16 colores de definición **Fig. 7**, y las siguientes especificaciones generales:

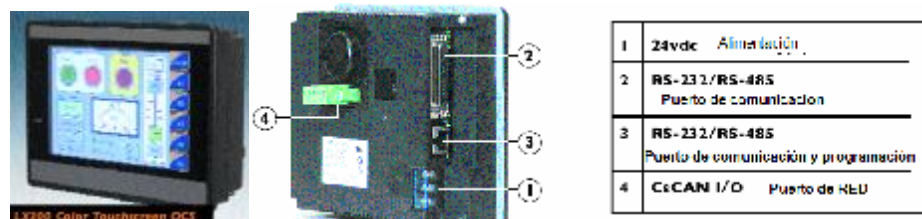


Fig. 1 Puertos de comunicación del LX300

- Ø Tamaño de pantalla de 5.7 pulgadas con una resolución en píxeles de 320 x 240
- Ø Tiempo de barrido inferior a 1 milisegundo
- Ø Soporta entradas y salidas remotas
- Ø Se programa en lenguaje de diagrama de escalera.
- Ø Cuenta con 2 puertos de comunicación serial configurables a RS-232 o RS-485
- Ø Un puerto de comunicación en red CsCAN.
- Ø Interfaz operador (pantalla y teclado)
- Ø Acepta programación de gráficos para el diseño de la HMI.

3.3. Arquitectura del sistema

La estructura general que presenta la arquitectura y la solución planteada al control de la demanda, tiene una distribución como la que aparece en la **Fig. 8**.

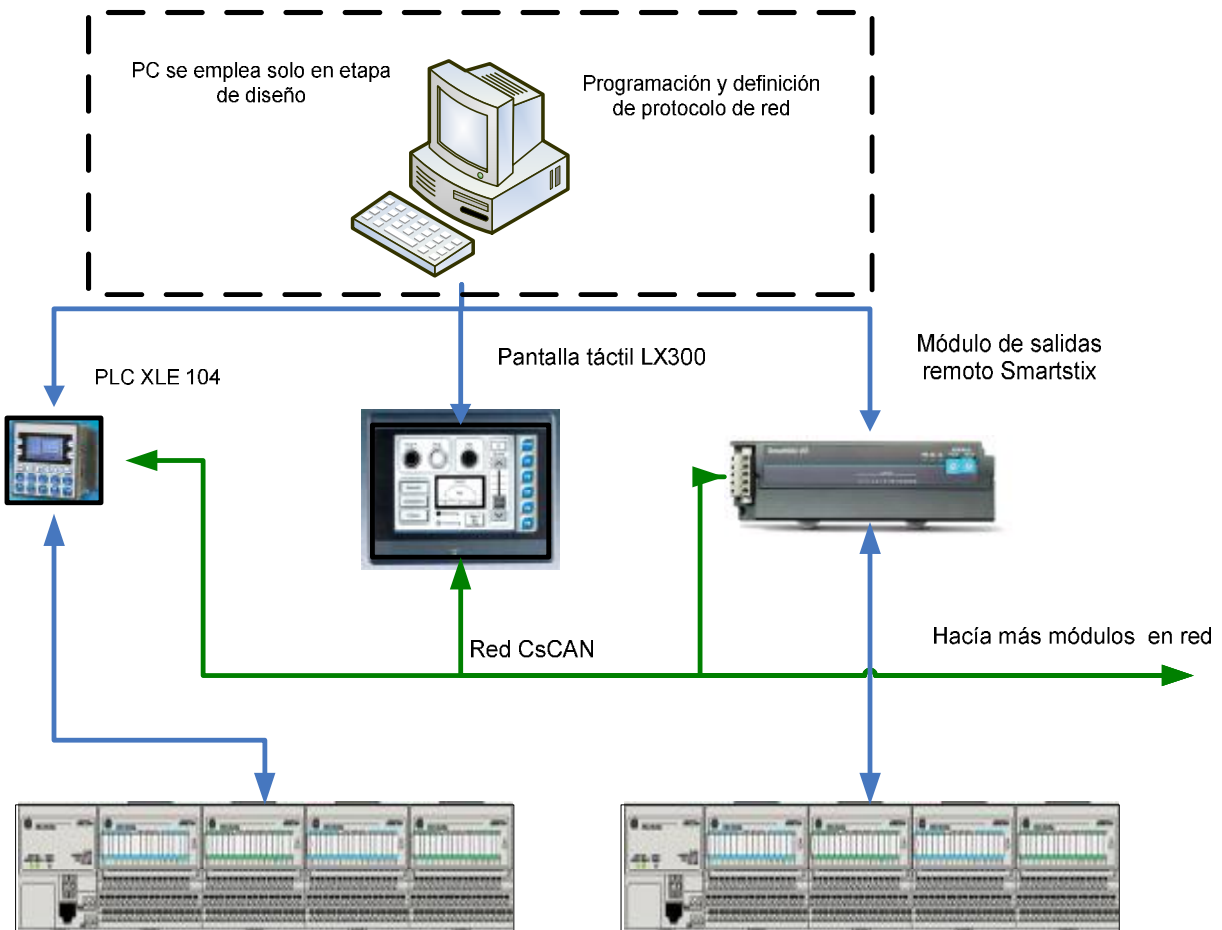


Fig. 2 Arquitectura del sistema SCADA

El sistema tiene como elemento principal de control a un PLC, y como elemento de interfaz gráfica a una pantalla sensible al tacto que sustituye el empleo de una computadora personal para la función de monitoreo del SCADA una vez instalado en campo, se emplea para el ingreso de datos, monitoreo de variables, despliegue de pantallas de visualización de: datos, indicadores, registros, e incluso acceso a registros del PLC. Se emplea un módulo de salidas remoto con comunicación en res CsCAN, de ser necesario, puede incorporarse otras pantallas, PLC y módulos de salidas para cubrir mayor número de cargas.

El PLC soporta, al menos tres protocolos, Ethernet, Modbus y CsCAN, el primero requiere la adquisición de un módulo adicional, además que está destinada a comunicación entre PLC's y computadoras, dejando a un lado la posibilidad de comunicarse con la pantalla seleccionada y los módulos de I/O. El Modbus permite la comunicación entre PLC, computadoras y periféricos remotos, incluso con los pertenecientes a otras marcas, sin embargo, el intercambio y flujo de información entre todos los elementos se realiza a través de un protocolo de red distribuido llamado CsCAN, el cual es común a todos los elementos seleccionados se selecciona el protocolo CsCAN, debido a cubre los mismos aspectos que el Modbus a costos más económicos al ser el protocolo de red nativo de los equipos utilizados.

3.3.1 CAN bus y CsCAN

El protocolo de red empleado es parte importante de la solución del trabajo, al brindar una configuración de la arquitectura sumamente flexible, permitiendo de manera simple la ampliación o mejora del sistema, por lo cual se describe la forma de operar de este tipo de red que tiene sus bases en el protocolo CAN.

3.3.1.1 Protocolo de comunicaciones CAN

CAN es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en ambientes distribuidos, gestión de la comunicación entre múltiples unidades centrales de proceso, es un protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus.

CAN se basa en el modelo productor/consumidor, que describe una relación entre un productor y uno o más consumidores, está orientado a mensajes, es decir; la información que se va a intercambiar se descompone en mensajes, a los cuales se les asigna un identificador y se encapsulan en tramas para su transmisión. Cada mensaje tiene un identificador único dentro de la red, con el cual los nodos deciden aceptar o no dicho mensaje, dentro de sus principales características se encuentran:

- Ø Prioridad de mensajes.
- Ø Garantía de tiempos de latencia.
- Ø Flexibilidad en la configuración.
- Ø Recepción por multidifusión con sincronización de tiempos.
- Ø Sistema robusto en cuanto a consistencia de datos.
- Ø Sistema multimaestro.
- Ø Detección y señalización de errores.
- Ø Retransmisión automática de tramas erróneas
- Ø Distinción entre errores temporales y fallas permanentes de los nodos de la red, y desconexión autónoma de nodos defectuosos.

CAN es un protocolo de comunicaciones serie que soporta control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad y multiplexación [36]. De acuerdo al modelo de referencia OSI, la arquitectura de protocolos CAN incluye tres capas:

Capa física: define los aspectos del medio físico para la transmisión de datos entre nodos de una red CAN, los más importantes son niveles de señal, representación, sincronización y tiempos en los que los bits se transfieren al bus.

Capa de enlace de datos: define las tareas independientes del método de acceso al medio, el utilizado es el de Acceso Múltiple por Detección de Portadora, con Detección de Colisiones y Arbitraje por Prioridad de Mensaje (CSMA/CD+AMP).

- Ø Los nodos en la red que necesitan transmitir información deben esperar a que el bus esté libre (detección de portadora);
- Ø Sí se cumple ésta condición, dichos nodos transmiten un bit de inicio, acceso múltiple.
- Ø Cada nodo lee el bus bit a bit durante la transmisión de la trama y comparan el valor transmitido con el valor recibido; mientras los valores sean idénticos, el nodo continúa con la transmisión;
- Ø Sí se detecta una diferencia en los valores de los bits, se lleva a cabo el mecanismo de arbitraje.

Capa de supervisor: La sustitución del cableado convencional por un sistema de bus serie presenta el problema de que un nodo defectuoso puede bloquear el funcionamiento del sistema. Por lo que se define un mecanismo autónomo para detectar y desconectar un nodo defectuoso del bus, dicho mecanismo se conoce como aislamiento de fallos.

Capa de aplicación: Existen diferentes estándares que definen la capa de aplicación; algunos son muy específicos y están relacionados con sus campos de aplicación. Entre las capas de aplicación más utilizadas cabe mencionar: CANopen, DeviceNet, SDS (Smart Distributed System), OSEK, CANKingdom, CsCAN.

Existen varias adaptaciones o mejoras al protocolo CAN, en función del área operativa a emplearse, una de ellas y que se emplea en el desarrollo del sistema es la modificada por la empresa de artículos de control industrial, Horner, denominada CsCAN

3.3.1.2 Protocolo de red CsCAN

CsCAN es una red desarrollada en 1993 por Honer Electric, está basada en CAN pero con ventajas de robustez y mayor simplicidad en su configuración. La red CsCan emplea una alimentación de 24 VCD con 16A como máximo, la cual debe estar colocada preferentemente al centro de la red, cada nodo consume 75 mA. Puede emplearse más de una fuente de energía en caso de ser necesario de acuerdo a la longitud de la red y el número de módulos adicionales, basta conectar sólo la terminal V- de manera común a todas ellas, como punto de referencia, las terminales se indican en la **Tabla 9**.

Tabla 3 Terminales de conexión del conector de red CsCAN

| Terminal | Señal | Descripción |
|----------|-------|------------------------------|
| 1 | V- | Alimentación – (0 VCD) |
| 2 | CN_L | referencia de señal negativa |
| 3 | NC | No conectado |
| 4 | CN_H | Referencia de señal positiva |
| 5 | V+ | Alimentación + (24 VCD) |

La red CsCAN requiere de cuatro terminales de conexión, de las cuales dos son alimentación proveniente de la fuente, con un voltaje entre 23 a 25 volts de corriente directa (V+, V-), y dos para la comunicación en red. (CN_L, CN_H)

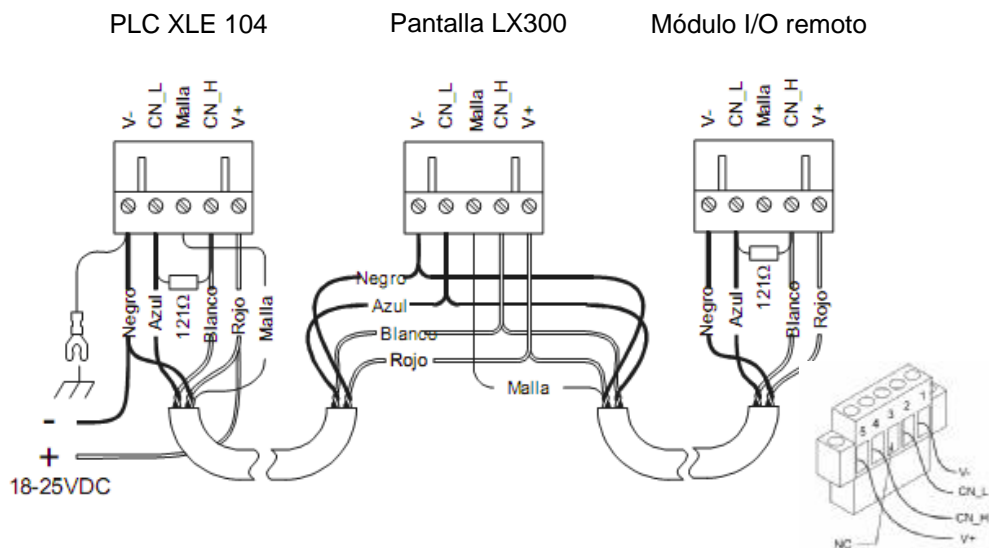


Fig. 3 Conexiones de la red CsCAN

En la **Fig. 9**, se aprecia como se llevó acabo la conexión de red de los dispositivos empleados en el sistema, tanto el primero como el último de los elementos tienen una resistencia de 121 ohms para marcar los límites de la red, adicionalmente la malla del cable que une a dos elementos de la red, sólo se conecta de un sólo lado, es decir no existe continuidad directa de la malla de aislamiento de ruido en todo el cableado de red.

3.3.2 Software Cscape

El software usado Cscape (*Control Station Central Application Programming Enviroment*) tiene la principal ventaja de un licenciamiento libre para la programación de toda su gama de dispositivos de control y accesorios Horner. Permite la programación en diagrama de escalera para estructurar la lógica de control del PLC, la generación de pantallas, menús, gráficas, mensajes, simbologías, etc., que se presentan al usuario final a través de la pantalla táctil, generando una aplicación SCADA.

La arquitectura del software empleado, consiste en un conjunto integrado de módulos de programación y configuración agrupados en tres tareas principales, la primera está enfocada al desarrollo del algoritmo de control en base a la programación en lenguaje de escalera, para dispositivos como PLC o pantallas con acciones de control, la segunda está dirigida a la creación de pantallas de visualización HMI. Finalmente la tercera sección se encarga de la configuración de red de los elementos, configurando los parámetros de dirección, protocolo, velocidad etc,odo con la finalidad de disponer de un entorno de programación que permite generar el desarrollo de sistemas SCADA.

3.3.3 Del hardware

La arquitectura del hardware del sistema de control distribuido, está basado en una comunicación en red entre los elementos de operación final y del PLC, quien es el controlador principal de la red, la pantalla táctil y módulo remoto son los nodos, todos ellos cuentan con un puerto de comunicación CsCAN.

- Ø La arquitectura es flexible a la incorporación de más nodos a la red
- Ø Se pueden incorporar equipo de otras marcas o que ya exista en planta, con protocolo Modbus
- Ø Puede colocarse módulos remotos a cientos de metros de distancias, mediante el uso de repetidores.
- Ø El empleo de una pantalla táctil que sustituya a una PC, permite la ubicar al sistema en casi cualquier punto de la planta, al ser equipo más robusto.
- Ø Los relevadores de operación pueden estar agrupados en paneles o bien ubicarse cada uno de ellos lo más próximo al equipo a controlar.
- Ø La incorporación de paneles de relevadores, permite el manejo de cargas de mayor consumo de corriente, evitando dañar a las salidas físicas de PLC.

3.4 Operación del sistema

Una vez descritos los elementos participantes en la arquitectura de este trabajo, se presenta ahora el modo en que el sistema opera, usando para las descripciones más relevantes una ejemplificación mediante diagramas de flujo.

En este apartado se realiza una explicación general de cómo se lleva a cabo el control de la demanda a partir de la manipulación de cargas por parte del PLC.

3.4.1 Sistema a controlar.

Todo inicia con el suministro de energía por parte de CFE o LyFC, con un voltaje de 1kV a 35 kV de corriente alterna, acto seguido a través de transformadores de acoplamiento se disminuye el voltaje a nivel operativo de planta de 220 VCA o 440 VCA trifásicos, a partir de esta salida, se distribuye la energía a toda la planta,.

Es precisamente en el punto de llegada al transformador, donde se realiza la medición, mediante acoplamientos por inducción, ello con el fin de tener un voltaje en del orden de kW pero con pequeños valores de corrientes. Originalmente y debido a los años del contrato de suministro de energía, el contador que se encuentra en la mayoría de las industrias es de tipo electromecánico similar a los usados para medir el consumo doméstico, ello trae como desventaja la imposibilidad de obtener información para usarse en el PLC. Se debe considerar que no está permitido manipular, abrir o realizarle cambios, incluso incorporar nuevos equipos, de hacerlo ocasionaría multas y penalizaciones considerables.

Lo anterior obliga a la empresa o a quien provee la solución de administración de energía, a realizar los trámites correspondientes para informar de la instalación del sistema SCADA de ahorro de energía y solicitar el cambio de medidor por uno electrónico. En la **Fig. 10** se aprecia a manera muy general los bloques de todo el sistema.

El medidor provee tres señales a manera de pulsos: el consumo energético de kW, kVAR y el pulso de integración para el cálculo de la demanda máxima. El PLC, determina si han de realizarse acciones de desconexión de cargas para disminuir la demanda, el apagado se realiza con contactos normalmente cerrados que generalmente se colocan en serie con el circuito de accionamiento original de cada carga, de esta manera al abrirse el contacto, provocará el apagado de la carga durante un tiempo de cinco minutos o más.

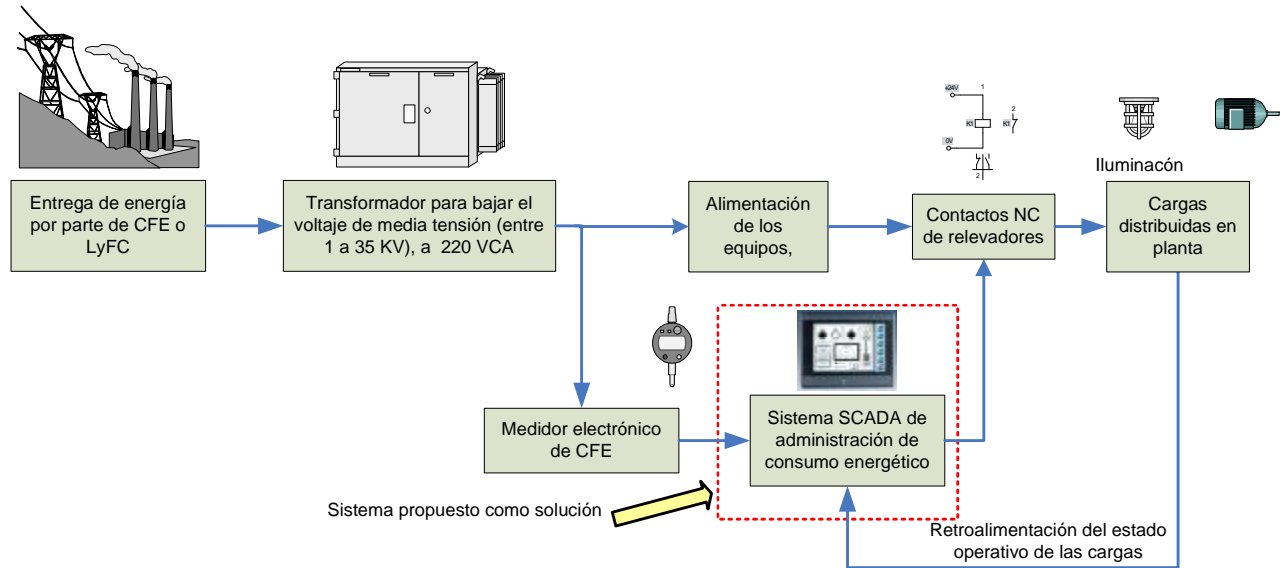


Fig. 4 Distribución de energía con control de demanda

El número de salidas a controlar es de 10 a 32, que cada una puede desconectar a más de un equipo que realice funciones similares, es decir; una sola salida puede simultáneamente apagar a tres, cuatro o más ventiladores, logrando con ello que cada salida manipulada tenga una cantidad significativa de potencia liberada.

El orden en que se desconectan las cargas es secuencial, de la salida 0 a la 9, por tanto es importante conectar en las primeras salidas aquellas cargas menos relevantes en el proceso ya que son las primeras que se apagan para reducir la demanda.

Las salidas 10 a 15 suelen ser controladas directamente por tiempo, por lo cual no están consideradas para ser desconectadas por aumento de demanda, las más características suelen ser las relacionadas con la iluminación.

3.4.2 Contador electrónico.

El contador electrónico es el elemento principal de suministro de información acerca del estado de consumo de energía, en su pantalla se puede consultar el consumo instantáneo y acumulado, de kW

El consumo energético de una empresa, puede conocerse a través de una señal de pulsos cuya frecuencia de salida está en relación directa con el consumo. Al igual que en un contador de energía electromecánico un disco gira a una velocidad proporcional a los kW que se consumen, la diferencia estriba en que no se acciona un sistema de engranajes para hacer girar una aguja de lectura, sino que este disco tiene un funcionamiento similar a un encoder; es decir; en su circunferencia de manera equidistante se encuentran distribuidos entre 20 a 36 "huecos", los cuales envían pulsos al pasar por un lector óptico de herradura.

Cada pulso generado equivale a un porcentaje en grados de rotación del disco y por consiguiente de una porción de energía consumida, así por ejemplo se puede tener un disco que en datos de placa indica 1.8 kW con 24 pasos por revolución, por lo tanto:

$$\text{Valor del pulso en kW} = \frac{\text{kW} * \text{revolución}}{\text{Pasos} * \text{revolución}} = \frac{1800W}{24} = 75W$$

Cada que el contador envía un pulso, equivale a 75W consumidos, estos pulsos son contabilizados y totalizados por la señal de integración, la cual es producida cada 5 minutos, si se tiene como ejemplo un conteo de 600 pulsos en 5 minutos,

$$\text{Consumo acumulado} = \text{número de pulsos} * \text{valor del pulso} = (600) * (75W) = 45,000W$$

Lo cual se promedia como si fuera el mismo consumo durante una hora, por lo que se multiplica por 12 para que (5 minutos)*(12)= 1 hora

$$\text{Demanda Instantánea} = (45000w) * (12) = 540kWh$$

El valor de 540 kWh es determinado como la demanda del periodo de 5 minutos y se promedia con dos muestras anteriores para dar como resultado la demanda máxima del periodo total de 15 minutos, si es mayor, sustituye a la registrada previamente, quedando como la demanda máxima facturable del mes en curso, para el horario tarifario en la cual fue tomada; en caso contrario, se almacena como referencia histórica y se gráfica.

La generación del valor de la demanda registrada se toma de la integración de pulsos, contándolos cada 5 minutos y multiplicando por el valor de kW asignado, el valor obtenido se promedia con dos valores anteriores, dando así un intervalo total de medición de 15 minutos. En la **Fig.11**, se aprecia la forma en que opera el periodo parcial de 5 minutos y el total de 15 minutos.



Fig. 5 Periodos de integración

Ahora es necesario determinar como el valor obtenido se emplea con el sistema de control de cargas, para ello generalmente sólo basta compararlo con un límite de referencia establecido, y realizar las acciones correctivas, sin embargo para tener un tiempo de reacción más inmediato, el sistema desarrollado realiza integraciones rápidas de la llamada carga instantánea, para no tener que esperar los 5 minutos y tomar las acciones cuando ya fueran inútiles.

3.4.3 Métodos de medición del consumo energético

3.4.3.1 Método de la carga instantánea

En este método el nivel de la potencia demanda se mide continuamente y se compara con el punto de referencia preseleccionado, provee un control estrecho de la potencia demanda actual.

Es recomendable en instalaciones con régimen de operación continuo y cargas de operación aleatorias lo largo de la jornada de trabajo, en estos casos el nivel de operación normal está muy cercano al punto de referencia superior preseleccionado, cada vez que entra en operación alguna carga, el controlador actúa poniendo fuera alguna otra carga según la programación del controlador.

Una variante consiste en no sólo comparar el valor para tener un valor discreto a la salida de la comparación, adicionalmente se puede calcular el porcentaje de aproximación o rebase al punto de referencia, teniendo con ello la opción de discriminar 1, 2, 4, 8 y hasta 12 cargas cuando existe el módulo de ampliación.

3.4.3.2 Método de proyección de la curva de demanda

Este método busca el valor de la demanda en el tiempo $t+1$ el valor esperado en la siguiente muestra de manera tal que las acciones del controlador se anticipen al momento en que se rebase la referencia preseleccionada, es otro de los métodos para controlar la demanda máxima ya que al tomar acciones anticipadas, se asegura que en ningún momento se rebase el límite superior de referencia seleccionado.

Existen básicamente dos técnicas para predecir el valor futuro de la demanda que son:

Técnica de la pendiente de la curva.

Determina el valor de la derivada de la curva en los tiempos t , $t-1$ y $t-2$ y con éstos proyectar el valor de la demanda en el tiempo $t+1$ $D_{m,t+1}$ con el promedio de la proyecciones obtenidas con ambas pendientes se observa también que $t-1$ y $t-2$ se refiere a la demanda medida en los intervalos anteriores de muestreo y D_m en $t+1$ la esperada en el siguiente intervalo.

Técnica cuadrática.

Consiste en encontrar una ecuación cuadrática del tipo: $D_m = at^2 + bt + c$ que pase por los últimos tres puntos t , $t-1$ y $t-2$; y emplear esta ecuación para estimar el valor de la demanda en el tiempo $t+1$ $D_{m,t+1}$.

Estas técnicas para prevenir el futuro de la demanda en el tiempo $t+1$, tiene sus desviaciones con respecto al valor futuro real ya que con el comportamiento de la demanda obedece a factores relacionados con las necesidades del proceso y éstas normalmente no se comportan únicamente en función de los valores pasados de la demanda.

Debido que las condiciones de operación de cada empresa son muy variantes, resulta inadecuado considerar que los aumentos de carga obedecen a un sistema de primer orden o a una ecuación cuadrática, ya que suele ser sumamente aleatorias, aunque guardan cierta repetibilidad con respecto a días de la semana y horarios específicos, se emplea el método de la carga instantánea dadas las condiciones aleatorias de operación.

Una opción adecuada sería que el sistema con base a la información obtenida de la operación de una planta en particular, reconozca el comportamiento de los cambios en la demanda, sin embargo para ello se necesita una amplia información almacenada por lo que el sistema debe de haber funcionado al menos 3 meses, para tener la información específica del comportamiento de la demanda acorde a los distintos horarios, días de la semana, días festivos, etc., y con ellos hacer predicciones con la información histórica, opción que no pertenece a los alcances planteados en esta etapa del proyecto, quedando sólo como referencia a futuras mejoras.

3.4.4 Operación del PLC en el manejo de cargas

El contador electrónico de energía toma la demanda promedio en periodos acumulados de 15 minutos cada 5 minutos, lo cual para fines de este proyecto ofrece la ventaja de disponer del tiempo necesario para realizar acciones correctivas, operando de la siguiente manera:

- Ø El PLC realiza conteos rápidos en periodos que van de los 15 a los 45 segundos, lo que se llamará tiempo de integración "rápido",
- Ø Se selecciona el tiempo de a cuerdo a la frecuencia de pulsos promedio de la planta donde se instale el sistema, con el fin de tener al menos 1.5 veces los pulsos generados por una rotación del contador de energía.
- Ø Los tiempos de integración rápido se seleccionan valores que sean factor de 3600 segundos (1 hora), y así poder establecer un valor de consumo instantáneo.

- ∅ Se toma como valor por defecto un tiempo de 30 segundos.
- ∅ En sólo 30 segundos en promedio (dato por defecto en la programación), se obtiene la carga instantánea, cuyo valor obtenido se compara con los límites preestablecidos, y se realizan acciones de desconexión de cargas, de ser necesario.

La velocidad angular del disco generador de pulsos depende directamente de la cantidad de energía consumida de cada planta, por lo que es necesario determinar el periodo de integración rápida en segundos adecuado para que la cantidad de pulsos sea significativa, sin embargo, se emplea de manera general 30 segundos debido a que el valor asignado a cada revolución completada del encoder no es fijo, existe la posibilidad de modificar un parámetro llamado "K" por parte del personal de CFE para evitar que sea demasiado lenta o rápida. El parámetro K en realidad es un factor multiplicativo que va de 0.5 a 5, lo que en conclusión permite que el encoder tenga revoluciones con valores representativos de 900w a 9000w por revolución, permitiendo medir valores de carga instantánea entre 150kW a 4000kW, lo anterior considerando un valor de placa de 1.8kW/rev, algunos de los sistemas comerciales que han sido diseñados con PLC toman comparaciones cada minuto, el sistema propuesto lo hace al cada 30 segundos para reaccionar más prontamente **Fig.12**

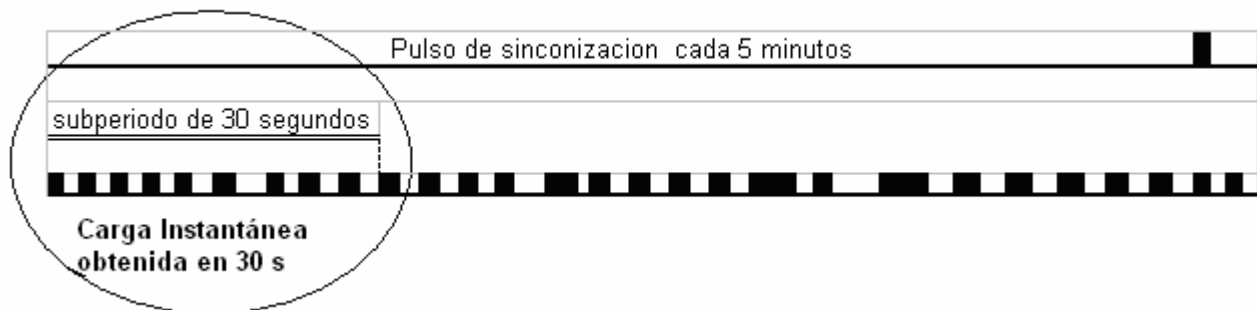


Fig. 6 Periodo de integración rápida de 30 segundos

En los registros de memoria del PLC se almacenan los valores límite de la demanda máxima permitida para cada periodo tarifario, con el valor dado adicionalmente se toma un porcentaje de seguridad del 10% para acciones de alarma y desconexiones con inhibición de re-arranques por periodos de tiempo definidos en conjunto con el usuario final.

Sí se encontraba operando al 80% del límite y por la acción de arranques de equipos la demanda alcanza el 98% o más, el sistema procede a realizar desconexiones de las cargas menos críticas, tales acciones son realizadas de forma automática, **Fig. 13**. Al desconectar "n" cargas, el consumo disminuirá por ejemplo al 88%, el cual al ser un valor permitido, hará que las cargas con restablecimiento propio que recién de desconectaron, estén en posibilidad de volver a activarse, provocando con ello una constante oscilación.

Para evitarlo, las desconexiones se realizan adicionalmente con un tiempo de inhabilitación de la carga desconectada que va de los 5 a los 15 minutos; es decir; aún cuando la carga recién desconectada quisiera volverse a activar no le sería posible, ya que existe un contacto en serie en la programación normalmente cerrado, con cada carga, el cual se “abre” por una cantidad de tiempo, lo que evita que vuelva a entrar en funcionamiento de manera inmediata.

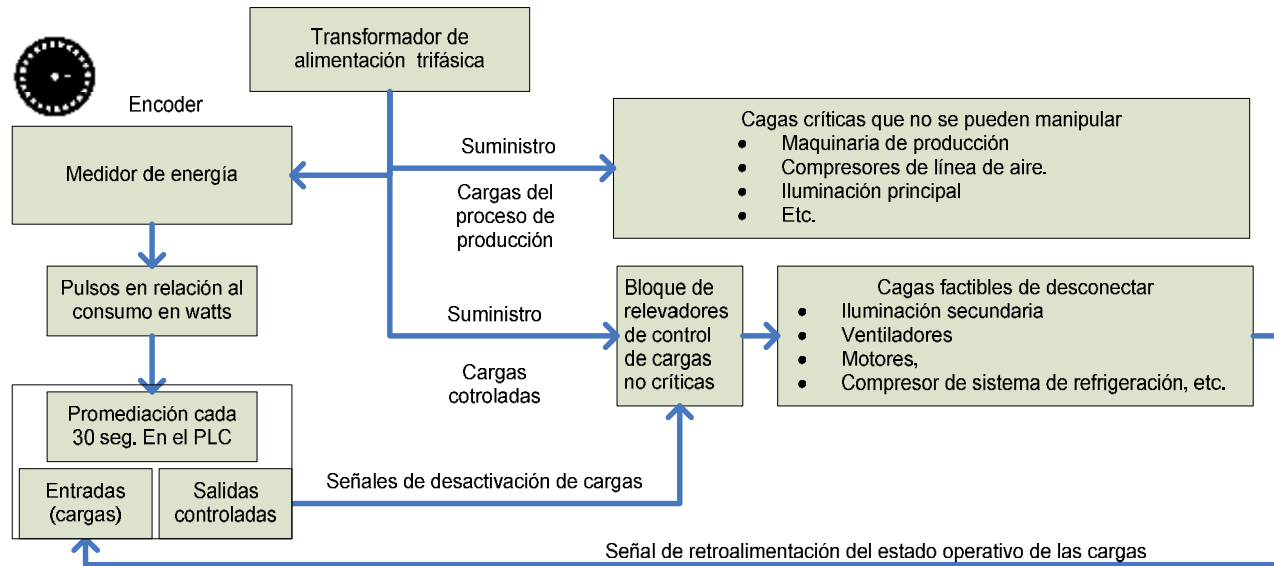


Fig. 7 Desconexión automática accionada por el PLC

3.4.5 Secuencia de desactivación

El número de cargas a administrar es de 16 locales y 16 distribuidas en red mediante un módulo remoto de salidas, la desactivación es secuencial y en orden progresivo, siendo la menos prioritaria la .0, después la 1, la 2 y así consecutivamente, la desactivación no se realiza de manera individual, se toma en cuenta el porcentaje de aproximación o rebase del punto de ajuste “Set Point”.

De manera que sí el incremento es significativo puede mandarse a desconexión 1, 2, 4 o “n” cargas para garantizar una disminución de la demanda más rápida, evitando con ello el esperar el siguiente periodo de evaluación de 30 segundos para desactivar otra carga, esto se aprecia en el diagrama de flujo de la Fig. 14.

Si bien en su versión mínima, sólo cuenta con 16 salidas, por lo general 6 a 8 de ellas no se programan para operar por demanda, lo hacen por periodos de horario definidos como es el caso de iluminación en áreas específicas, el mismo criterio se toma cuando se tienen 32, una tercera parte o la mitad puede estar destinada a manejo de cargas por horario.

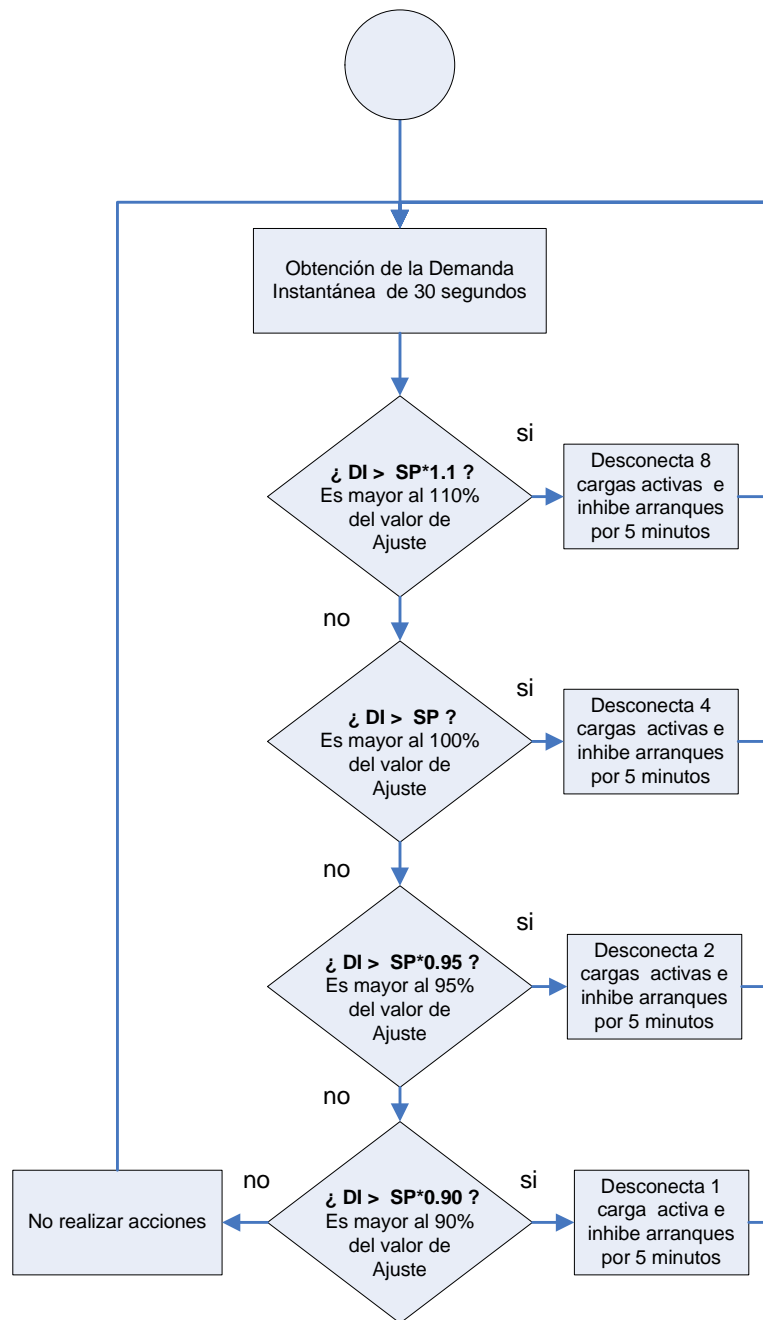


Fig. 8 Diagrama de desconexión mediante el método de carga instantánea

La desconexión se realiza de la primera en adelante, sin embargo no necesariamente significa apagar la carga conectada a la salida del relevador 0, ya que ésta puede estar de hecho apagada, se refiere a la primera carga activa detectada de menor prioridad, por ejemplo teniendo en cuenta la **Tabla 10**.

Tabla 4 Secuencia de desconexión

| Tipo de administración | Cargas por demanda | | | | | | | | | Cargas por tiempo | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| Salida | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Estado (1= on, 0 = off) | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

↑ Primera carga que se desconectaría

Sí existe una elevación de la demanda máxima permitida, la lógica indicaría apagar primeramente la carga 0 y con ello esperar que en el siguiente tiempo de lectura la demanda haya bajado, y en caso de no ser así, apagar la salida 1, y así consecutivamente hasta lograr la disminución de la demanda, ésta lógica tiene la desventaja de no considerar el estado operativo actual de la salida, es decir, para que mandar a apagar una salida que puede no está activa, lo único que conllevaría sería el desperdicio de ciclos de operación, provocando que el tiempo en que la demanda máxima se encuentra excedida sea mayor y por consiguiente dejando poco margen de tiempo a su corrección.

La solución planteada tiene como aportación el hecho de considerar el estado de operación de las cargas y procede a su desconexión en el orden de menor prioridad, al igual que el algoritmo anterior la primera carga que tiende a desconectar es la salida 0, pero antes de ejecutar la acción verifica su estado, en caso de que tal carga no este activa, se omite la acción y se verifica la siguiente (salida 1), si el caso es similar continua hasta apagar aquella que realmente esté conectada y generando consumo, para el caso de este ejemplo sería en la carga conectada a la salida 2. **Tabla 11.**

En la **Fig. 15** se aprecia la forma en que se realiza la desconexión de cargas considerando si primeramente éstas se encuentran activas, lo cual se verifica con sensores de confirmación acorde a cada carga.

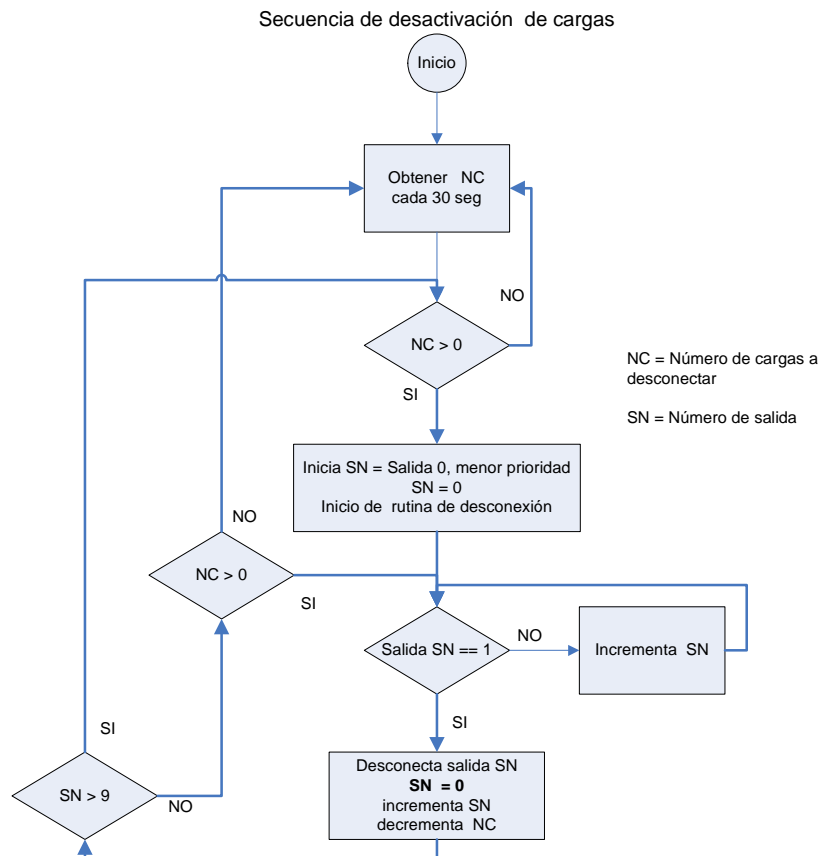


Fig. 9 Secuencia de desactivación de cargas activas.

Se parte del punto en el cual se tiene el resultado de comparación entre la carga Instantánea de 30 segundos calculada y el valor del punto de ajuste, se determina en que porcentaje es mayor y en función de ello se carga un registro con el número de cargas activas a desconectar, en caso de que los valores de operación sean normales, se carga el valor de cero en el registro, el cual no produce modificaciones al proceso.

Otra innovación radica en el punto que se puede seleccionar una secuencia de desconexión “de anillo”, es una variante que algunos ingenieros solicitaron al realizar encuestas de prestaciones deseadas, consiste en no reiniciar el contador de cargas, esto es: cuando el nivel de prioridad de desconexión es muy similar y no se desea que se desactive siempre a la misma, en éste caso las desactivaciones son secuenciales, pero a partir de la siguiente a la última desconectada en el periodo de actuación pasado.

Finalmente, en una estructura general del modo de operación del sistema respecto a la determinación de acciones a realizar lista a continuación:

- Ø Se emplean tres contadores que almacenan los pulsos en tiempos específicos,
- Ø El primero se emplea para el cálculo de la carga instantánea a partir de la señal de pulsos de kW, trabajando de manera conjunta con un temporizador de 30 segundos.
- Ø Se mueve el valor de conteo a un registro “RI” y se reinicia al contador para la medición de la siguiente carga instantánea.
- Ø El valor obtenido se multiplica por el valor en kW de cada pulso y por el factor “K” de ajuste multiplicativo.
- Ø Se procede a realizar las comparaciones del resultado con los límites acorde al periodo tarifario en curso, y en caso de requerirse, hacer acciones de desconexión de cargas.
- Ø Dos contadores son incrementados por la señal de pulsos de kW y de kVA., respectivamente, sin embargo, el tiempo que determina la acción de almacenaje del valor alcanzado y reinicio de los mismos, proviene directamente de la señal de sincronización que se genera cada 5 minutos
- Ø El valor es almacenando en cada caso, en una localidad de memoria “R” y promediado con dos valores anteriores R1 y R2.
- Ø El valor promediado se almacena y gráfica, en caso de ser superior al valor anterior, queda establecido como demanda máxima del periodo activo en un registro específico para esta función.
- Ø La forma de operar del PLC con respecto al manejo de las señales de pulsos se describe en el diagrama de flujo que se presenta en la **Fig. 16**.

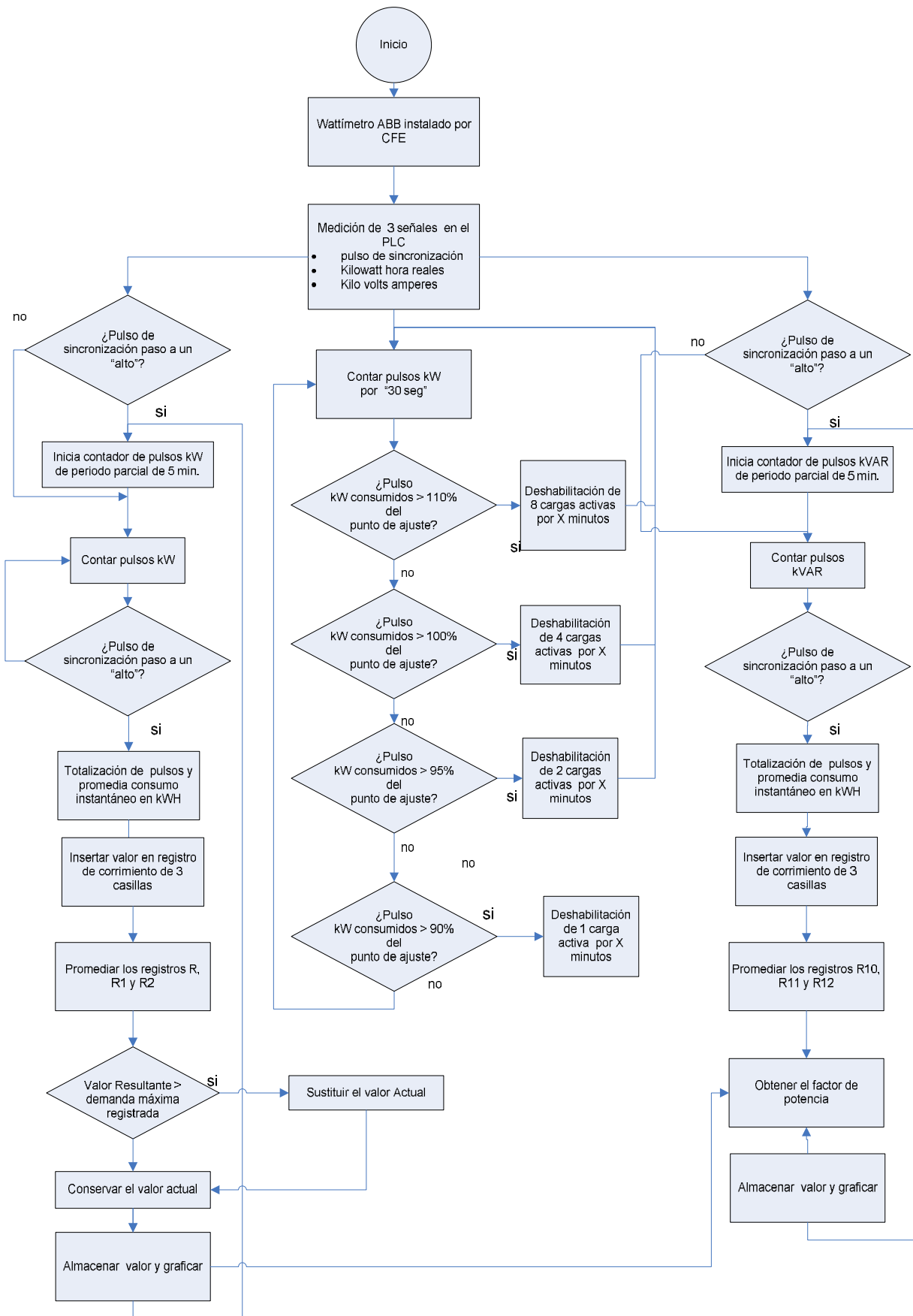


Fig. 10 Diagrama de flujo general del programa en el PLC

3.6 Resumen del capítulo

De acuerdo a las tendencias actuales y futuras de los sistemas de comunicación, la mejor arquitectura a elegir es la de tipo distribuida, con el fin de permitir flexibilidad a adaptaciones o mejoras inmediatas y futuras, si bien el campo de los protocolos empleados es diverso, se ha elegido una modificación mejorada del CAN por las ventajas que ofrece y por ser un protocolo de red que en la actualidad ha retomado fuerza entre los fabricantes de sensores y actuadores industriales.

Los equipos de control industrial PLC, han evolucionado al grado de convertirse en estaciones de control más avanzadas pero con un especial enfoque a brindar una interfaz de simple interpretación al operador común, a través de interfaces gráficas.

Un aspecto importante en la determinación de la arquitectura es innegablemente el factor relacionado a costos de adquisición de hardware y software, por tanto, debido a la enorme competencia existente entre los distintos fabricantes de equipo de control industrial, algunos de ellos como es el caso de la empresa Horner han optado por liberar los costos relacionados con el licenciamiento de software, lo que reduce enormemente los costos de implantación de los desarrollos generados, permitiendo hacer más accesible la automatización de sus procesos a las pequeñas y medianas empresas, sobre todo en aquellos países en desarrollo, donde los empresarios no invierten como se debiera en tecnología, simplemente basta para ellos con el funcionamiento al día de la planta o empresa, dejando a un lado los beneficios futuros que con ello se lograría.

Originalmente la solución fue planteada con el software de programación gráfica LabVIEW y tarjetas electrónicas de adquisición de datos, pero al indagar los costos de del hardware y de licenciamiento, tal solución cubría costos de cuatro o más del capital que se empleó en la solución elegida, adicionalmente, en esta primera etapa sólo se efectúa el control de la demanda eléctrica, lo que no implica procesamientos avanzados de la información. En trabajos futuros se puede plantear acciones de mantenimiento y análisis de fallas en función de los cambios de consumo energético en las máquinas con respecto al tiempo.

CAPÍTULO 4. PROGRAMACIÓN DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS.

4.1 Introducción

La solución dada cuenta con tres elementos principales: PLC, pantalla táctil y módulo de salidas en red, dado que el PLC realiza propiamente el control principal del sistema, bastaría con éste para proveer una solución funcional cuando existe la limitante económica. En empresas que deseen mayores prestaciones, como una interfaz HMI, se adiciona la pantalla y en aquellas que adicionalmente requieran de mayor número de elementos a controlar, se incorpora uno o más módulos de salidas en red. La solución planteada hace referencia a éste último caso, cubriendo con ello las dos opciones básicas,

4.1.1 Funciones operativas de los equipos.

Algunas de las funciones de control realizadas por el PLC XLE104 son:

- Ø Lectura de la señal de pulsos que representan los kW consumidos.
- Ø Almacenar los tres periodos tarifarios de la región centro en registros.
- Ø Habilitar "banderas" que especifique que periodo de facturación está en curso, de acuerdo al horario y día de la semana actual.
- Ø Determinar el periodo del horario de verano e invierno, de acuerdo a la fecha actual, así como realizar de manera automática el ajuste de horario cuando se cambia de un periodo a otro.
- Ø Establecer los puntos de ajuste máximo de cada tarifa horaria
- Ø Almacenar las fechas definidas como días de descanso oficial de acuerdo a la Secretaria del Trabajo y Prevención Social. (estos días se cobran como domingo)
- Ø Controlar el orden secuencial de la alimentación de cargas que operan por horario y son dependientes del sistema.
- Ø Controlar la conexión y desconexión de cargas de acuerdo al consumo de energía.
- Ø Determinar el orden de desconexión por niveles de prioridad.
- Ø Almacenar en una memoria, los valores máximos de demanda energética por día y determinar la máxima del mes.
- Ø Realizar control directo sobre las salidas en red
- Ø etc.

Funciones realizadas por la pantalla táctil LX300:

- Ø Despliegue de pantallas de bienvenida, operación y ayuda.
- Ø Generación de la interfaz HMI.
- Ø Visualización de valores en formatos de: valores numéricos, indicadores de escala y gráficas continuas.
- Ø Visualización de datos históricos, tomados de los registros del PLC
- Ø Ingreso o modificación de valores para el cambio de parámetros por parte de personal capacitado.
- Ø Despliegue de pantallas de alarma que pueden o no ser reconocidas para almacenarlas y hacer análisis posteriores.
- Ø Almacenar capturas de pantallas en BMP.
- Ø Monitoreo constante de los valores obtenidos por el PLC
- Ø etc.

Funciones realizadas por el módulo remoto SmartStix:

- Ø Ampliar el número de salidas disponibles a controlar.
- Ø Disminuir la cantidad de cableado, al recibir la información de activación o desactivación de varias cargas empleando un protocolo de red.
- Ø Recibir la información de control sus salidas, proveniente del PLC
- Ø etc.

Básicamente, los únicos elementos que requieren programación son el PLC y la pantalla táctil LX300, si bien la pantalla no cuenta con módulos de entradas y salidas incorporados, su programación también permite controlar a módulos SmartStix, sin embargo para no tener duplicidad de funciones, esta acción es programada exclusivamente en el PLC.

4.1.2 Definición de registros

Cuando se programa el PLC XLE o la pantalla LX300, los datos son colocados en distintos segmentos de memoria de acuerdo a la función que realizan, tales localidades son identificadas como registros, existen en longitudes de 1, 16 y 32 bits (agrupando dos de 16), la funcionalidad de los registros es igual en ambos equipos de control, la diferencia radica en cantidad disponible con que cuenta cada uno de ellos y funciones específicas que pueden realizar.

Los registros que se emplean en este proyecto, sobre todo los relacionados al PLC son descritos de acuerdo a su forma de operar y empleo dentro de la programación desarrollada, **Tabla 11**.

Tabla 1 Registros de sistema de 1 bit

| Registro | Descripción | Uso principal que se utilizó en la programación del PLC |
|----------------------|--|---|
| %S1 | Es un contacto que se activa sólo 1 vez durante el primer arranque del sistema | Inicialización del guardado de los valores por defecto de los horarios de operación, determinación del periodo de año, en general para precargar datos que serán usados más adelante en el programa del PLC |
| %S2 | Indica que el funcionamiento de la red es adecuado | Determinar el correcto funcionamiento de la red |
| %S3, %S4 y %S5 | Son contactos que generan pulsos simétricos en periodos de tiempo de 10, 100 y 1000 milisegundos correspondientemente. | Empleados para generar temporizadores |
| %S7 | Contacto siempre activo | Habilita las líneas de código |

Otros registros empleados en la programación del PLC son los registros del sistema los cuales tienen una longitud de 16 bits, se describen los utilizados en la programación de los varios existentes **Tabla 12**.

Tabla 2 Registros de sistema de 16 bits

| Registro | Descripción | Uso principal en la programación del PLC |
|----------------------------|---|---|
| %SR44, %SR45, %SR46 | Despliegan el valor de segundos, minutos y horas del reloj de tiempo real del PLC | Indicación del horario en pantalla, se emplean en combinación para determinar los horarios de arranque y paro de equipos, y determinación de cambio de sistema tarifario. |
| %SR47, %SR48, %SR49, | Proporcionan el día, el mes y el año, grabado en el reloj de tiempo real. | Determinar inicio y término de mes de facturación, empleado para determinar periodo de invierno y verano. |
| %SR50 | Indica el día de la semana actual (1= domingo y 7 = sábado) | Sirve para saber el tipo de tarifa a aplicar (lunes a viernes, sabatina o dominical). |
| %SR181, %SR182 | Estos registros es un mapa de memoria que indica el número de alarmas que se han activado y las alarmas que no han sido reconocidas por el operador | Se emplea para almacenar eventos de situaciones de alarma, es decir cuando se aproxima demasiado la demanda máxima al límite establecido. |

Finalmente, las direcciones de los registros que tienen que ver directamente con la programación del usuario, como son: las direcciones de las salidas y entradas digitales. Las analógicas no se abordan al no ser empleadas en la programación **Tabla 13**.

Tabla 3 Identificación de registros usados en el PLC

| Registro | Descripción | Uso principal en la programación del PLC |
|---------------|------------------------------|---|
| %I1 a %I24 | Entradas digitales | Se emplean tres para las mediciones de pulsos del wattímetro y 16 para activación manual forzada de las cargas controladas. |
| %Q1 a %Q16 | Salidas digitales | 16 salidas para controlar las cargas, dentro de la programación se establece el control de cargas por horario o por demanda, o bien una combinación de ellos. |
| %T | Bit auxiliar momentáneo | Se emplea como bandera de paso para dar secuencia al programa del PLC |
| %M | Bit auxiliar sostenido | Se emplea en aquellas condiciones que es necesario mantener el estado del bit auxiliar, aun cuando existan fallos en el suministro de energía. |
| %R | Registro auxiliar de 16 bits | Se emplearon para el almacenamiento de datos numéricos, para almacenar miento del acumulado de temporizadores y contadores, así como localidades de memoria para resultados totales o parciales de las operaciones realizada, |

4.2 Configuración y programación del PLC XLE104

Antes de realizar la programación se realizó la configuración de parámetros que permite la identificación específica del PLC con el software y para con los elementos con quien comparte información en la red CsCAN.

4.2.1 Parámetros de configuración desde hardware

Aun cuando son varios los parámetros que existen en el menú de configuración, la mayoría son sólo de consulta del estado operativo del PLC, de los modificables se manipulo a registros que determinan el modo de operar e identificación del dispositivo dentro de la red.

Los parámetros relevantes modificados en este caso son:

- Ø **Network** : Se activa la opción OK, para indicar al PLC que debe operar en modo red
- Ø **Network ID**: identificación dada en la red, en este caso es 5, dejando intencionalmente los números de nodos 1 al 4 libres para futuras ampliaciones que pudieran necesitarse.
- Ø **Network Baud**: se elige 125kbps, aun cuando la distancia no es grande, se elige la velocidad más baja para garantizar la fiabilidad de los datos,
- Ø **Dflt Pgm Port**: De los 3 posibles valores a elegir, se tomo al de MJ1 RS-232 , con este parámetro se indicó que el puerto realiza la programación, descarga y monitoreo del PLC desde una computadora.
- Ø **Set Time/Date**: En este parámetro se ajusta la fecha, tiempo y día actual para el reloj interno de tiempo real, y así poder realizar acciones de control en base a fechas y horarios del día

El menú principal al que se hacer referencia, se despliega presionando simultáneamente las teclas de flecha “arriba” y “abajo”, se emplean las mismas teclas del cursor y se presiona “enter” para acceder a un submenú o bien la tecla “escape” para salir, se mantienen los términos originales en inglés ya que de esa manera aparecen en la pantalla de configuración.

4.2.1.1 Consideraciones para la memoria Micro SD

Se formatea en FAT16, y con nombres de archivos de no más de 8 caracteres, al igual que los directorios. Algunas de las funciones que el PLC puede realizar con la memoria una vez instalado el equipo en campo, son:

- Ø Explorar el contenido de directorios
- Ø Borrar programas y directorios
- Ø Dar formato a la memoria
- Ø Cargar o salvar programas a la memoria
- Ø Observar capturas de pantalla realizadas
- Ø Almacenamiento de datos (sumamente importante para almacenar históricos)

Los datos almacenados están separados por una “coma”, los cuales al salvarse tienen la extensión *.CSV, que es compatible con la mayor parte de bases de datos y hojas de cálculo

Carga de programas del PLC: Los archivos con extensión .PGM, son empleados para almacenar los programas del PLC en la micro SD, basta con acceder al menú del administrador de memoria removible y seleccionar el archivo .PGM que se desea ejecutar presionando la tecla intro.

Para salvar una aplicación desde el PLC, se accede al menú y se presiona la tecla F4, esto hará que la aplicación actual sea salvada en un archivo llamado “DEFAULT.PGM”, ubicado en el directorio raíz de la memoria.

Captura de pantallas: El sistema permite la captura de pantallas en .BMP, para futuras referencias, o evidencia de una situación anormal, para visualizar las pantallas ya almacenadas, se debe acceder al administrador de memoria, encontrar el archivo, seleccionarlo y presionar intro.

4.2.2 Configuración y programación vía software.

4.2.2.1 Configuración básica vía software

En el software Cscape se debe configurar el modelo específico de PLC, esto se realiza en el la ruta **controller- I/O configure**, de la barra de menú principal, adicionalmente se indica en este apartado los módulos de red que trabajan con el PLC y se definen los rangos de direcciones asignados.

La configuración de parámetros del PLC en el software es mínima, la parte más importante en sí, la representa la programación en diagrama de escalera y de su minipantalla.

4.2.3 Diagramas de la programación del PLC.

La programación del PLC es realizada en lenguaje de escalera, pero el programa se encuentra segmentado en bloques por función específica, lo anterior considerando los ajustes necesarios a realizar una vez que ha de instalarse, bajo los requerimientos de cada planta.

Por tanto se describen de manera general, los más importantes y recurrentes a lo largo de la programación en diagrama de escalera. Sin embargo dado que la programación es particular al hardware, para su comprensión se parte de la descripción a través de diagramas de flujo que ejemplifiquen el funcionamiento y de una parte del diagrama de escalera programado cuando se considera relevante..

4.2.3.1 Bloques relevantes programados en el PLC

Simulación de señales: Para realizar las pruebas y ajustes previos al montaje en campo, se simulan las tres señales de monitoreo, para verificar la correcta desactivación de cargas y demostración del sistema al usuario final. **Fig. 17**

Simulación de pulsos en ausencia del medidor de energía electrónico de CFE

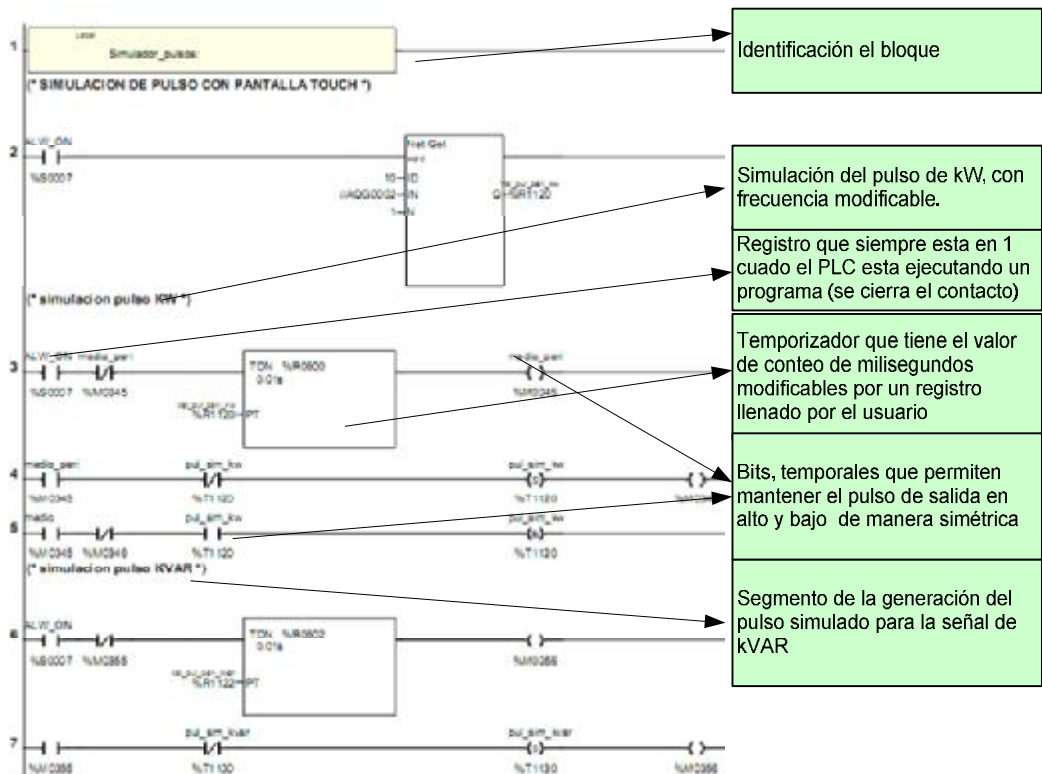
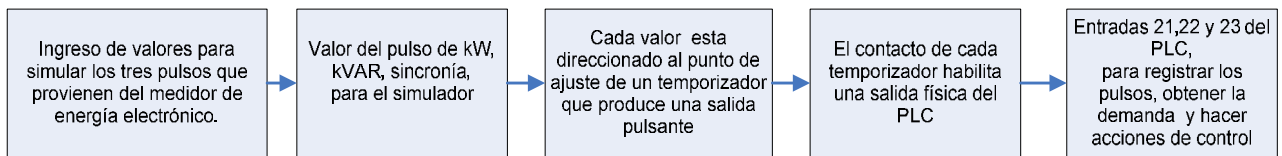


Fig. 1 Diagrama de simulación de señales

Se presenta en cada diagrama de bloques funcional un segmento de la programación realizada en diagrama de escalera, debido a que no es posible realizar una impresión o captura de pantalla de todas las líneas de código. Se describen algunos de los elementos relevantes presentados.

Conteo de pulsos: En este apartado se programó la rutina para contabilizar los pulsos en los periodos de tiempo correspondientes a cada uno y de acuerdo a las condiciones operativas de planta, así mismo en este bloque se realiza la conversión de pulsos a valores de consumo energético y se procede a la comparación contra puntos de referencia para las acciones de control. **Fig. 18**

Contador de pulsos para obtener demanda Instantánea cada 30 seg.

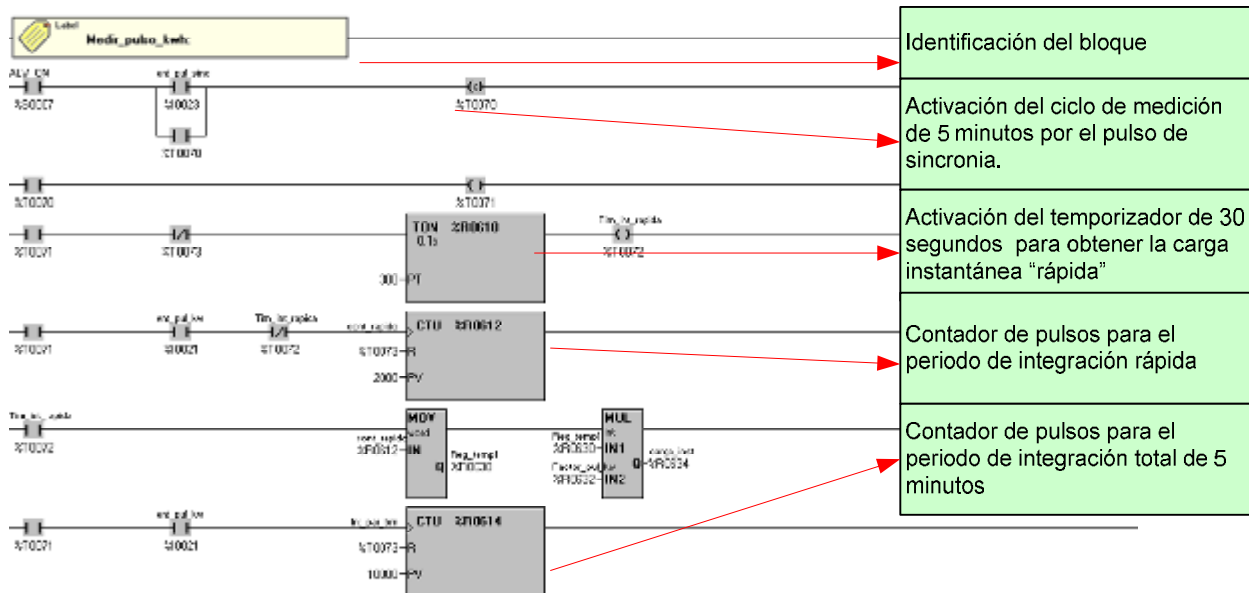
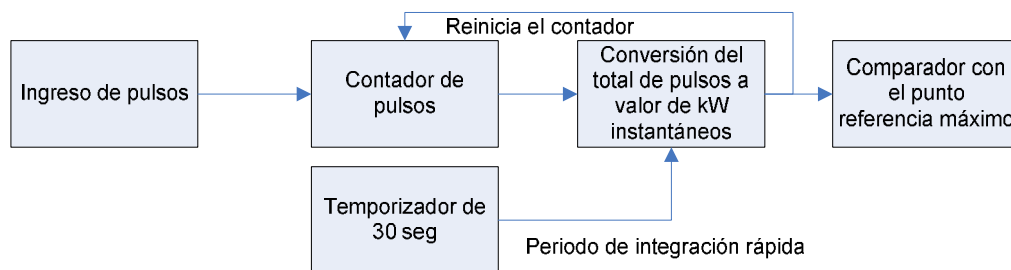


Fig. 2 Diagrama de conteo de pulsos

Desactivación de cargas: se programó para realizar las acciones de desconexión de salidas de acuerdo al valor generado de la comparación del consumo promediado y los límites establecidos para cada periodo tarifario, considerando adicionalmente en que porcentaje fue excedido el límite, para con ello desconectar mayor número de cargas a mayor porcentaje de rebase. **Fig. 19**

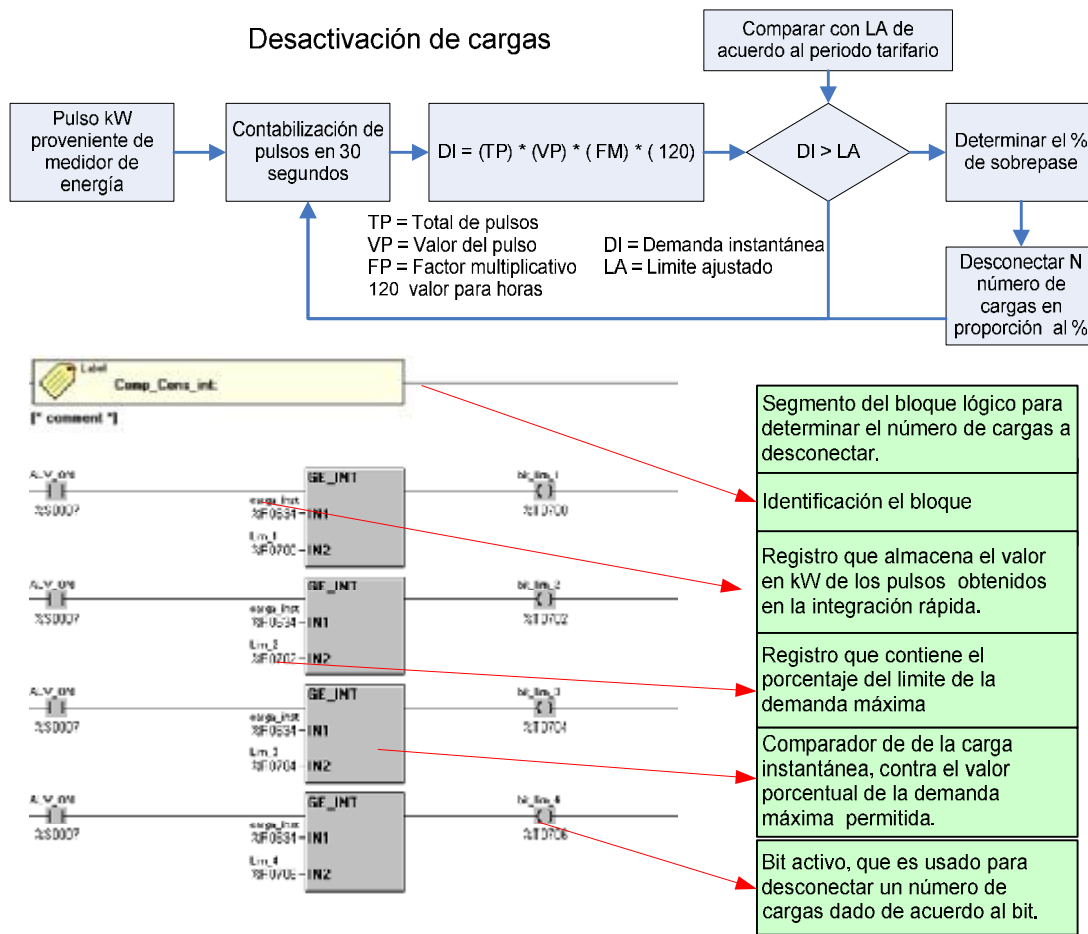


Fig. 3 Diagrama de control de cargas

Determinación de horario anual: Determina en base al reloj de tiempo real si el sistema se encuentra en periodo de horario de invierno o verano. **Fig. 20.**

Como punto relevante de este bloque, se indican los registros relacionados con el reloj de tiempo real.

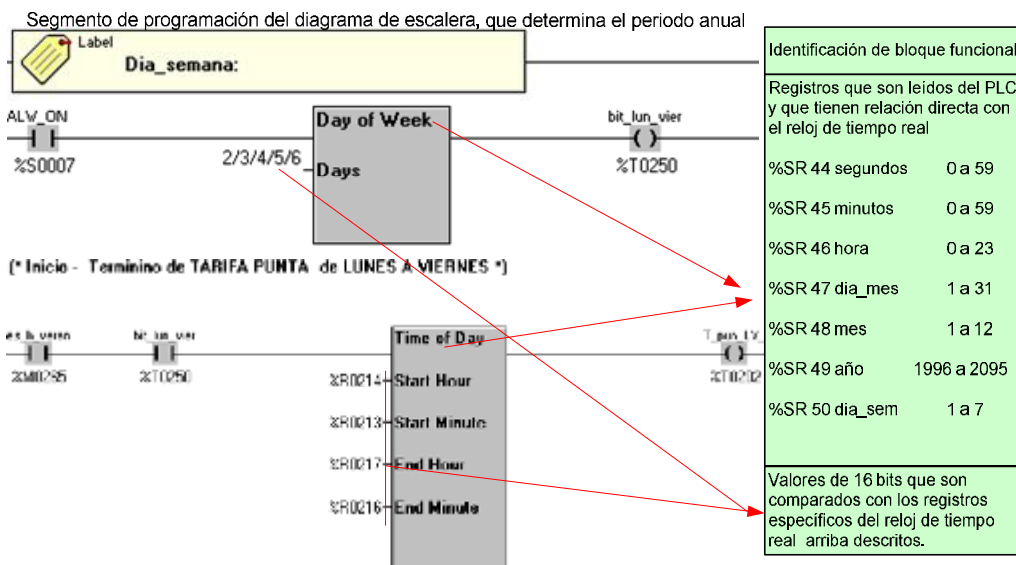
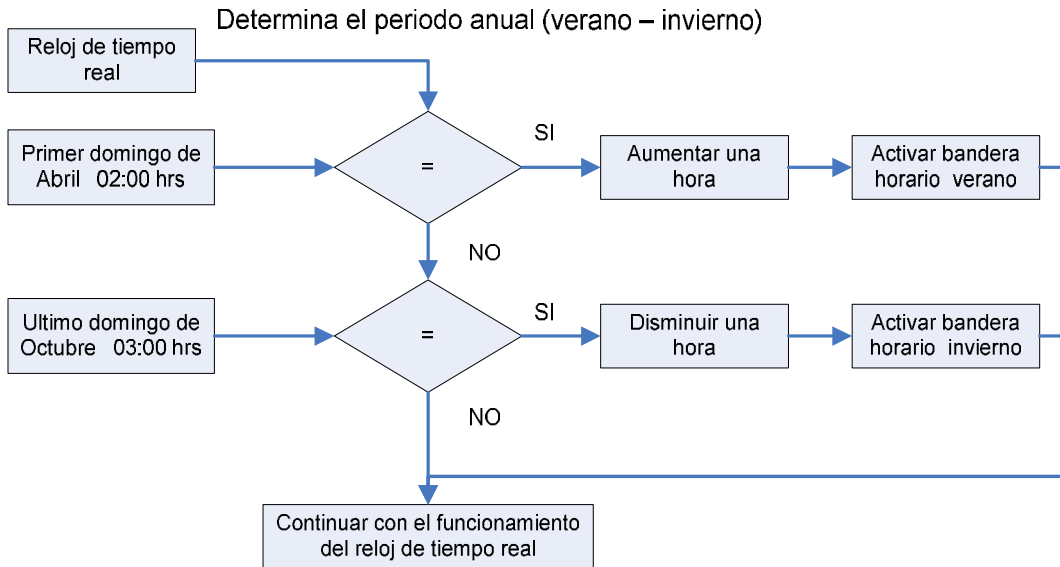


Fig. 4 Diagrama de determinación del periodo anual

Modificación de horario: se empleó para aumentar una hora al reloj de tiempo real en el cambio de periodo de invierno a verano y de manera inversa de verano a invierno. Cabe mencionar que en el caso del horario de invierno es importante habilitar una “bandera” que indica que ya fue hecho el cambio de horario, de manera contrario, el sistema estaría encerrado en un ciclo de las 03:00 a las 02:00 hrs, al repetirse la condición de evaluación. **Fig.21**



Segmento del diagrama de escalera encargado de aumentar o disminuir una hora del reloj de tiempo real

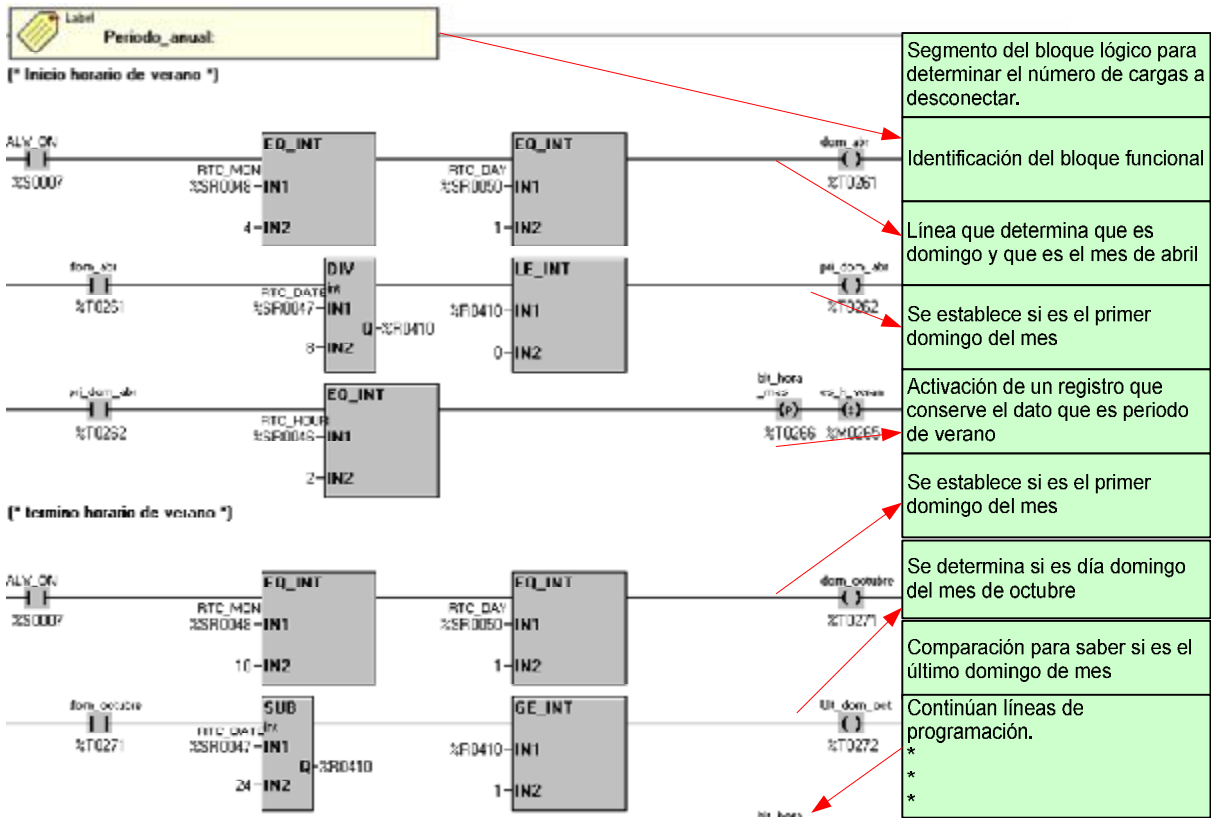
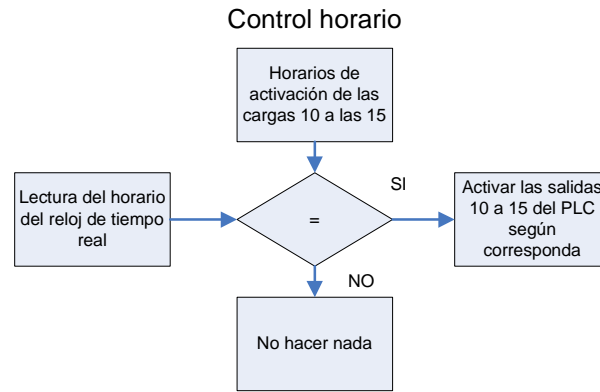


Fig. 5 Diagrama de modificación horaria automática



Segmento de programación en diagrama de escalera, para salidas activadas por tiempo

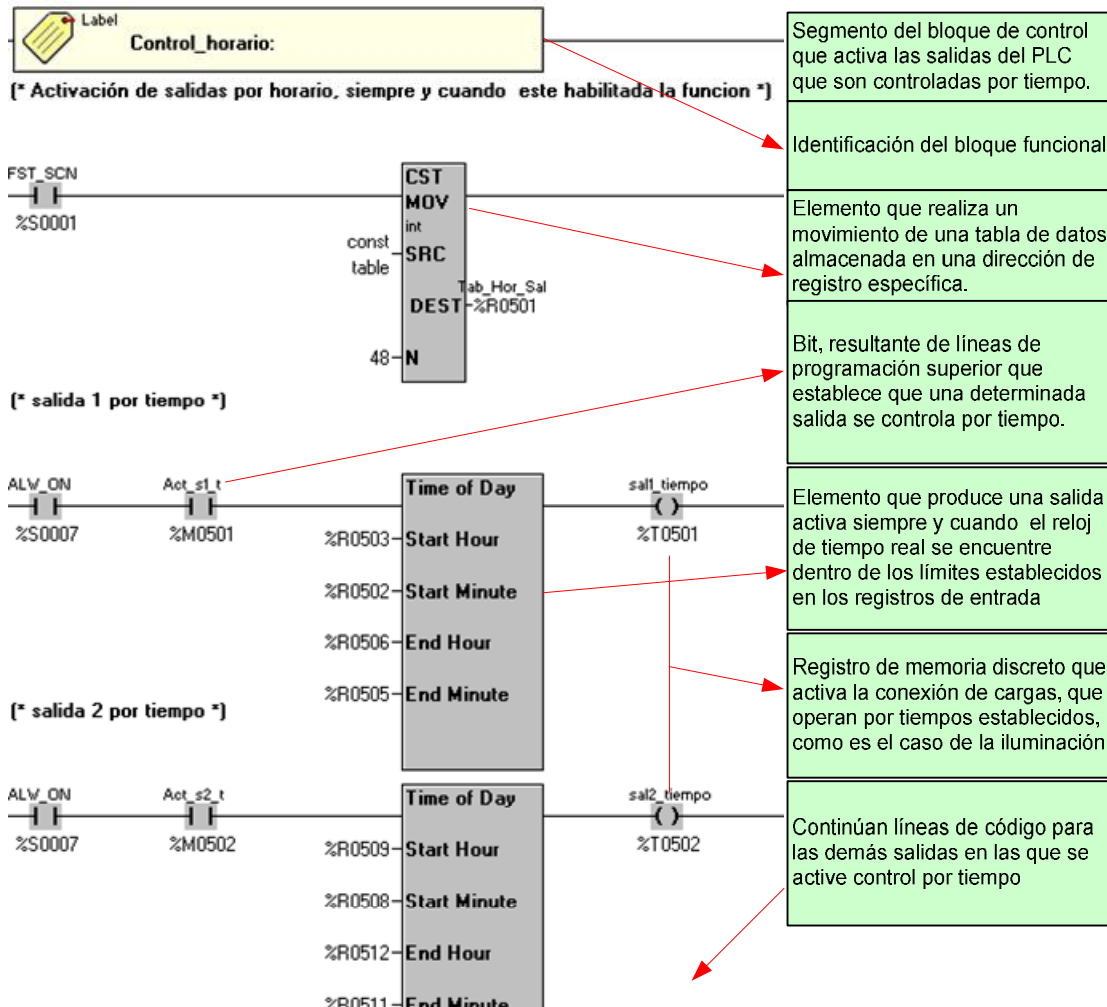


Fig. 7 Diagrama control de cargas por tiempo

Activación de salidas: Aquí se concentran todas las salidas disponibles y se colocan en paralelo las condiciones que provocan desactivaciones de cada carga y las condiciones para permitir que una carga no se encuentre sujeta a control del PLC, mediante un forzado de software o hardware, el primero de ellos con accionamientos directos en la táctil y el segundo mediante botones pulsadores.

Es importante hacer notar que si bien bajo la lógica operativa del PLC las cargas son activadas, en realidad lo que ocurre es que la salida alimenta la bobina de un relevador “Kx”, el cual puede tener de uno a cuatro contactos conmutados, se toma el común y la terminal normalmente cerrada, la cual se conecta en serie con el sistema de arranque original de la carga a controlar. **Fig. 24**

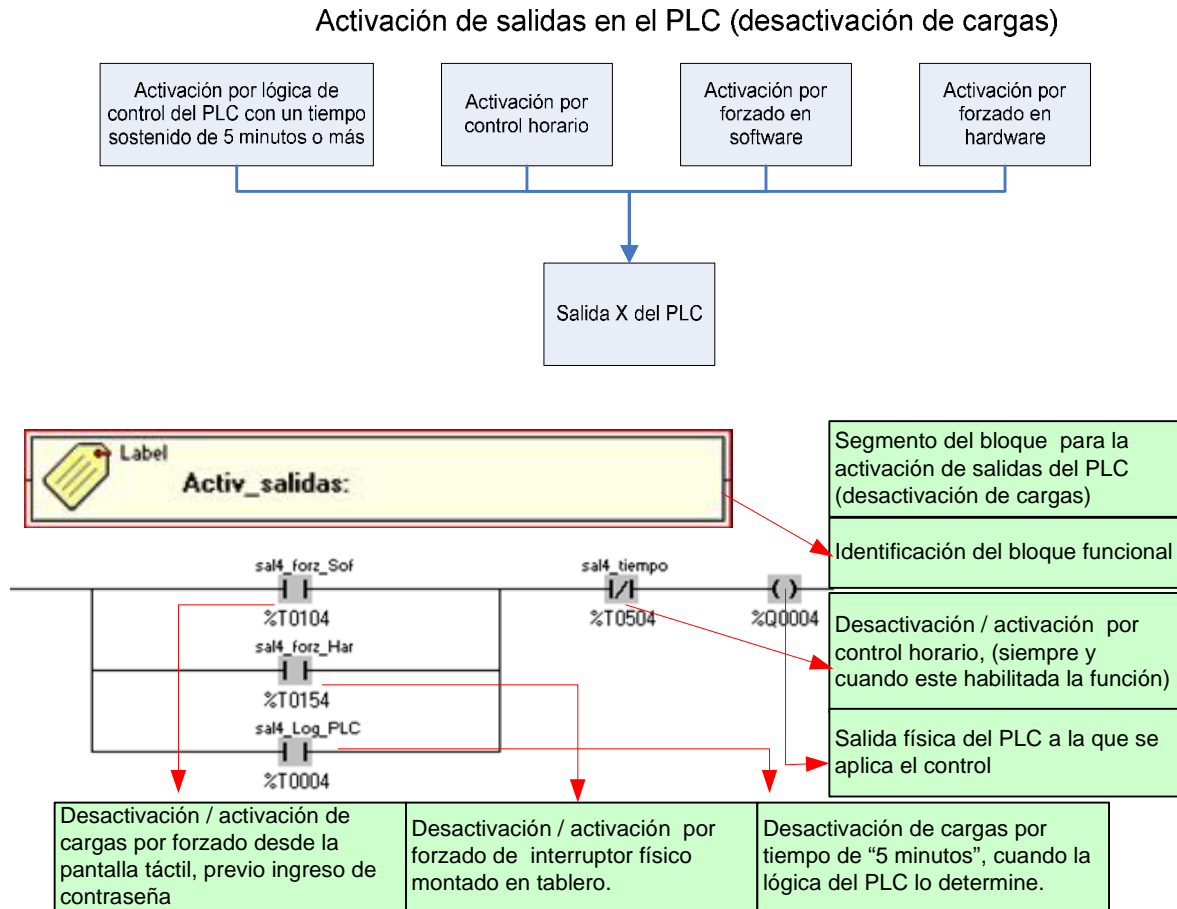


Fig. 8 Diagrama de condiciones de desconexión de cargas

En resumen al activarse la salida del PLC lo que ocurre es la apertura de un contacto cerrado que está en serie con la alimentación del sistema de arranque original de la carga manipulada y por ende apagando a la misma, el hecho de realizarlo con lógica negativa obedece a consideraciones de seguridad, por si existe un problema del cableado o del sistema de control, la operación de la planta no resulte afectada, ya que las cargas funcionarían como antes de la instalación del sistema.

Verificación del funcionamiento en red. Se emplean bloques de función específica para generar un pulso del correcto funcionamiento de cada elemento, se difunde a toda la red. En contra parte, los demás dispositivos deben contar con otro bloque que está a la espera de los pulsos de latencia generados.

Sí un equipo que llega a presentar un problema de comunicación, tal condición se verá reflejada en los otros equipos, si bien esto puede no ser determinante en las condiciones de operación del sistema, se informa al usuario mediante el despliegue de una pantalla que indique la falla del equipo monitoreado. Como tal función es necesaria tanto en el PLC como en la pantalla, se especifica más a detalla en la programación de la pantalla.

Como se aprecia los elementos de programación están basados en lógica de escalera, muy similar al control eléctrico clásico, donde los líneas verticales de los extremos representarían la alimentación eléctrica, del lado izquierdo a cada línea se colocan las condiciones lógicas de activación de eventos, representadas cada una de ellas por un contacto -I I- normalmente abierto para las condiciones que deban estar presentes y de un cerrado para aquellas que NO deben estar presentes (excluyentes), por otra parte al lado derecho se coloca la variable que determina el cumplimiento de todas las condiciones establecidas en la línea, la cual se representa por lo general a manera de una “bobina” simbolizada con un par de paréntesis que abren y cierran -()- para variables de tipo discreto, para los de tipo numérico que son almacenadas o manipuladas en registros se representan a manera de un bloque de forma rectangular, algunos de los cuales adicionalmente cuentan con otras entradas para completar los parámetros necesarios para hacer su operación funcional.

Así pues se cuenta con una variedad de bloques funcionales para datos numéricos, como son: temporizadores, contadores, movimiento de datos, almacenamientos en registro, rotación de datos, comparación de registros, etc., de los varios que se emplean a lo largo de toda la programación del PLC.

Como referencia adicional en el apartado de anexos se muestra parte del diagrama de escalera programado de manera continua.

4.3 Bloques generales de la programación en la pantalla LX300

La configuración se realiza de manera similar a la establecida en el PLC, con las especificaciones propias a la pantalla, en cuanto a la programación en diagrama de escalera es mínima considerando que el elemento principal es el PLC y aun cuando esta pantalla tiene posibilidades de ejecutar las acciones de control al igual que un PLC, sólo se le da el uso de interfaz gráfica para el acceso de datos de configuración y monitoreo de variables del sistema SCADA.

4.3.1 Configuración desde hardware y software

Los parámetros configurados en esencia son iguales salvo el identificador de red, que para este caso se asigna el número 10 de identificación de red. El menú cambia sobre todo por la mayor área disponible y las funciones de pantalla propiamente ofrecidas por este equipo.

En lo referente al software, al igual que en el caso del PLC la ruta de acceso desde el menú principal es **controller- I/O configure**, para configurar el programa desarrollado para la pantalla lx300 en específico.

4.3.2 Programación de la pantalla LX300.

La programación en diagrama de escalera es mínima, basándose en la ejecución de bloques de rutina para la lectura de segmentos de memoria del PLC, o para el envío de datos hacia el mismo. La pantalla está enfocada directamente al despliegue de mensajes, pantallas, datos, escritura y lectura de registros, por lo cual una descripción más detallada es dada en el siguiente capítulo donde se hace referencia a la programación de la interfaz gráfica.

Por el momento en este apartado basta con indicar la manera en que está estructurado el programa de escalera. De manera general sólo se programan en el diagrama de escalera tres bloques de comunicación, con los que se establece intercambio de datos con el PLC, los cuales son:

- Ø Verificador de funcionamiento en red
- Ø Comunicación de la pantalla hacia el PLC
- Ø Comunicación del PLC hacia la Pantalla.

Consideraciones en la configuración por software.

- Ø Se emplearon direcciones distintas en cada nodo, para el PLC se la asigno el número 5, a la pantalla el 10 y los módulos adicionales a partir del 15, los números fueron espaciados considerando un futuro crecimiento de alguno de los 3 elementos.
- Ø La velocidad seleccionada fue común a todos de 125 kbps, para disminuir la tasa de error hasta hacerla casi nula.

En la programación el intercambio de datos entre los elementos es realizado por medio de bloques funcionales llamados de entradas globales y salidas globales, son bloques específicos para que una variable generada en un equipo sea dispersada en el bus cuando esta se programa como salida global, o bien un elemento de la red, puede estar a la espera de los datos generados por otro.

Verificador de funcionamiento en red. En este bloque se programan los elementos para enviar y recibir un pulso de “latencia”, cada minuto, el cual verifica que los equipos estén funcionando adecuadamente. El bloque programado prácticamente es igual al del PLC, con los ajustes de direcciones correspondientes del emisor del pulso de latencia.

Fig 25

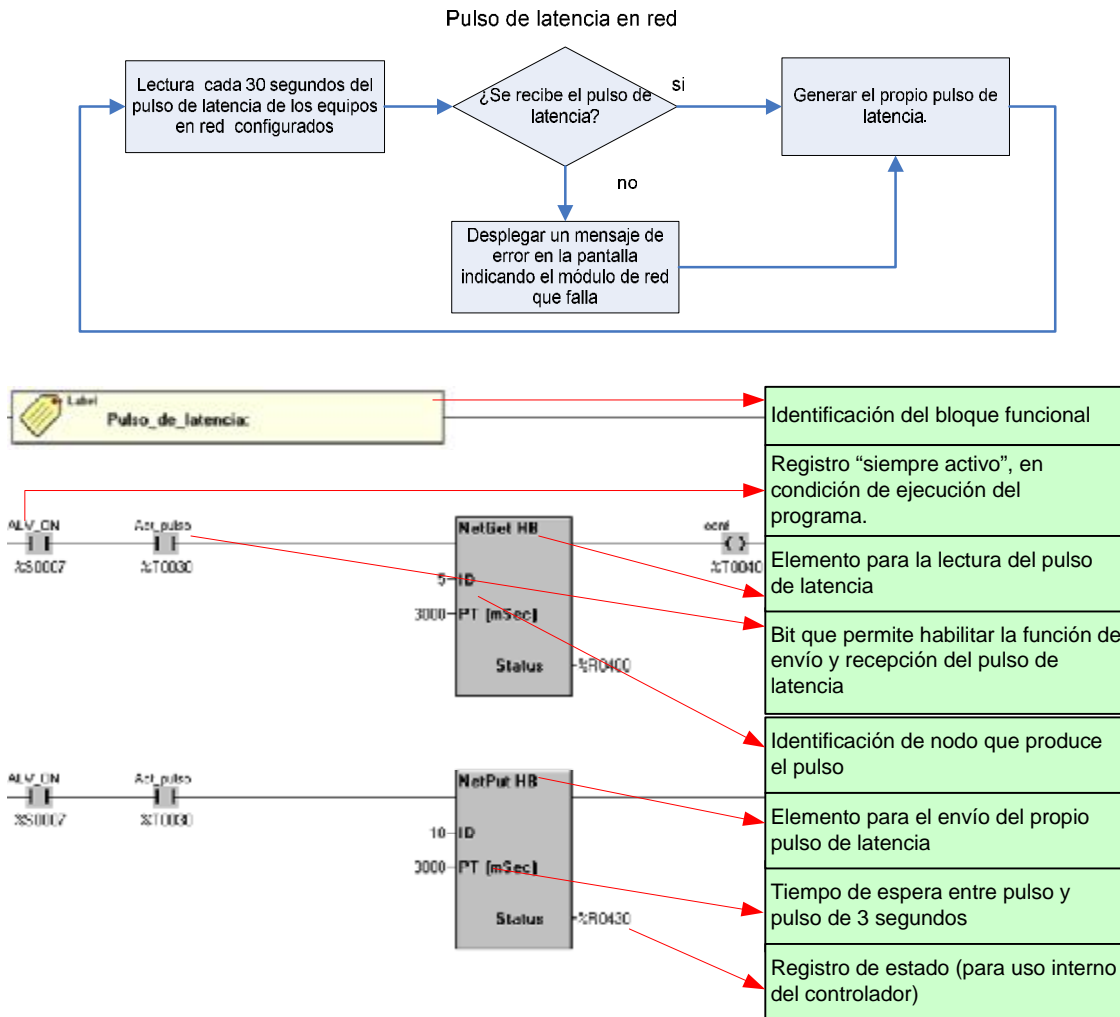
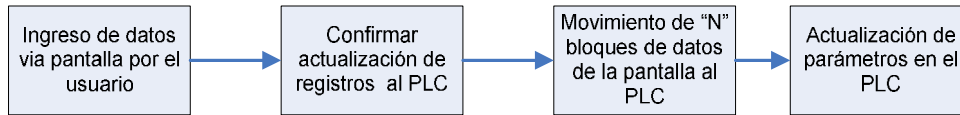


Fig. 9 Diagrama de medición del pulso de latencia.

Comunicación de la pantalla hacia el PLC. Se establece una rutina para que los datos que son ingresados desde la pantalla sean enviados a los registros específicos, un ejemplo serian los horarios de operación de cargas, los límites de operación para cada periodo tarifario, la fecha y hora, etc., si bien los datos pueden ingresarse desde una computadora o directamente en el PLC, una vez instalado el sistema, la forma más adecuada es a través de la pantalla.

Comunicación de la pantalla al PLC



Segmento del bloque funcional de envío de datos ingresados en pantalla táctil.

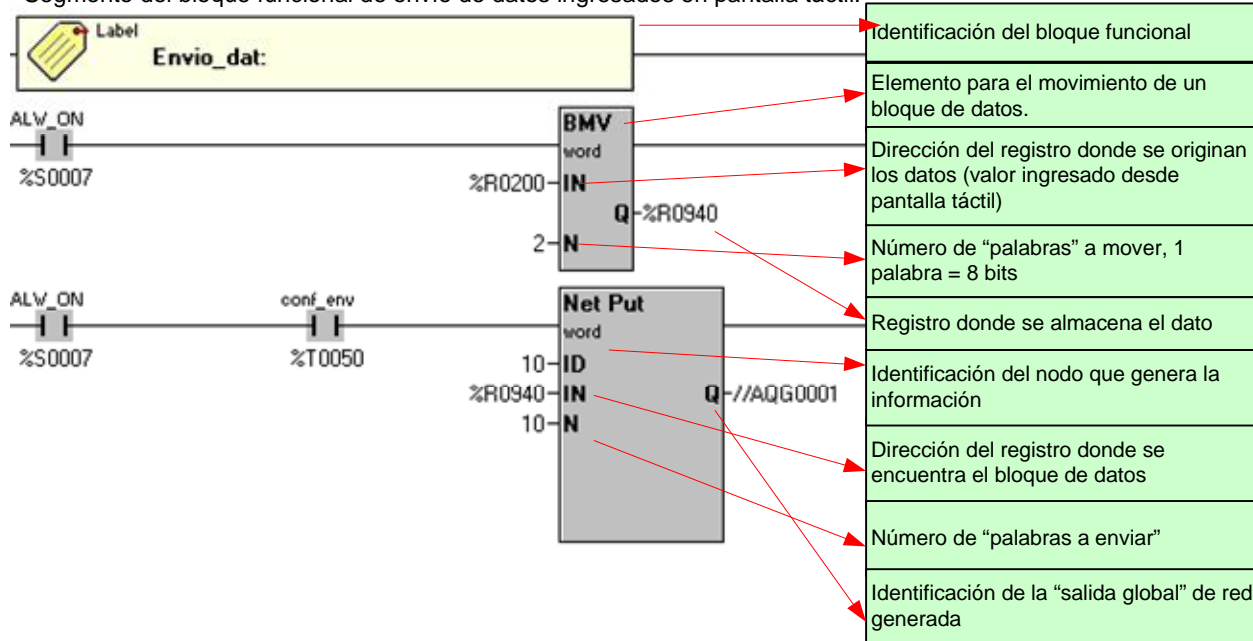
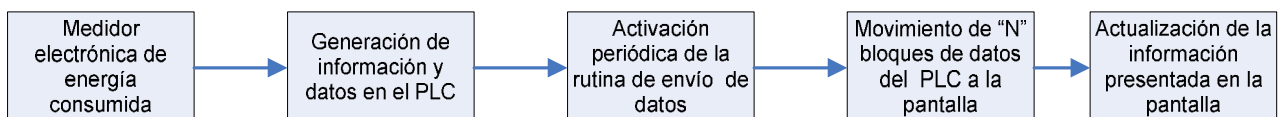


Fig. 10 Diagrama de la comunicación de la pantalla al PLC

El envío de información de la pantalla al PLC no requiere ser constante, ya que sólo es relevante la comunicación cuando se realiza una actualización de parámetros de operación o consulta de datos, de esa manera se libera el ancho de red al no enviar información repetitiva en el bus. El bit que habilita el envío de datos es el %T50, el cual es activado al presionar un botón en la pantalla táctil, que tiene la etiqueta de "salvar cambios".

Comunicación del PLC a la pantalla. Rutina para enviar información del PLC a la pantalla y así desplegar información hacia el usuario como son: los valores de demanda instantánea, demanda máxima de cada periodo tarifario, conjunto de valores para graficación, etc., si bien los valores y datos se muestran en la pantalla, toda la información proviene originalmente del PLC quien realiza la adquisición y almacenamiento de datos, la pantalla sólo tiene como fin establecer una HMI de información y comunicación al usuario más simple de asimilar. **Fig.27**

Comunicación del PLC a la pantalla



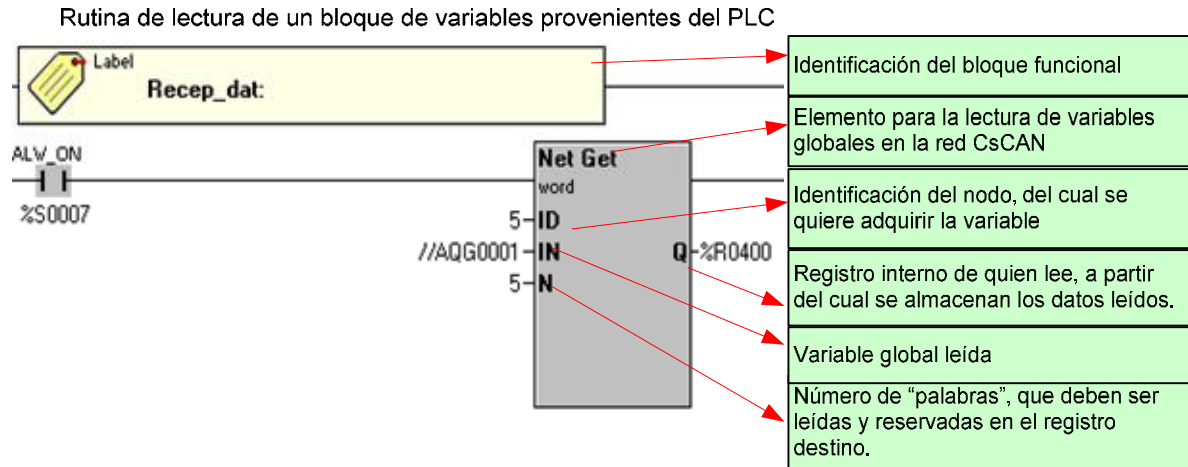


Fig. 11 Diagrama de comunicación del PLC a la pantalla

A diferencia de la comunicación anterior, la frecuencia de actualización es constante al menos de cada segundo, para contar con los datos prácticamente en el momento en que son generados.

4.4 Configuración del módulo SmartStix

En el caso del módulo no es necesaria una programación específica, basta configurar la dirección de red de manera física, la dirección asignada es la 15 decimal, el método de asignación mediante la ubicación de un par de selectores en hexadecimal **Fig. 17**, por lo que el primero debe estar en 0 y el segundo en F.

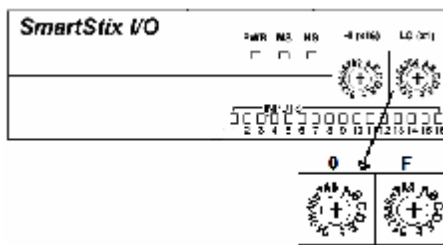
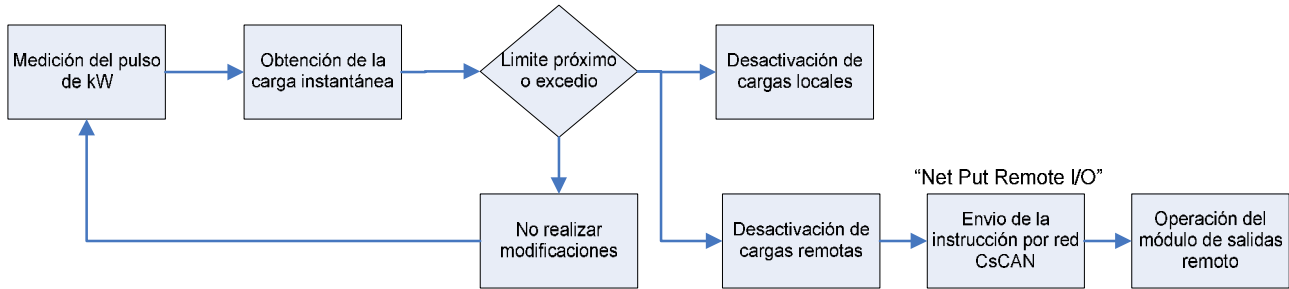


Fig. 12 Configuración de la dirección de red del SmartStix

Donde se realiza la programación es en el diagrama de escalera del PLC empleando un bloque específico que apunta directamente a salidas remotas en red, *Net Put Remote I/O*, y *Net Get Remote*. **Fig 29**

Manipulación remota de salidas



Segmento del bloque funcional para la lectura y escritura de salidas digitales remotas

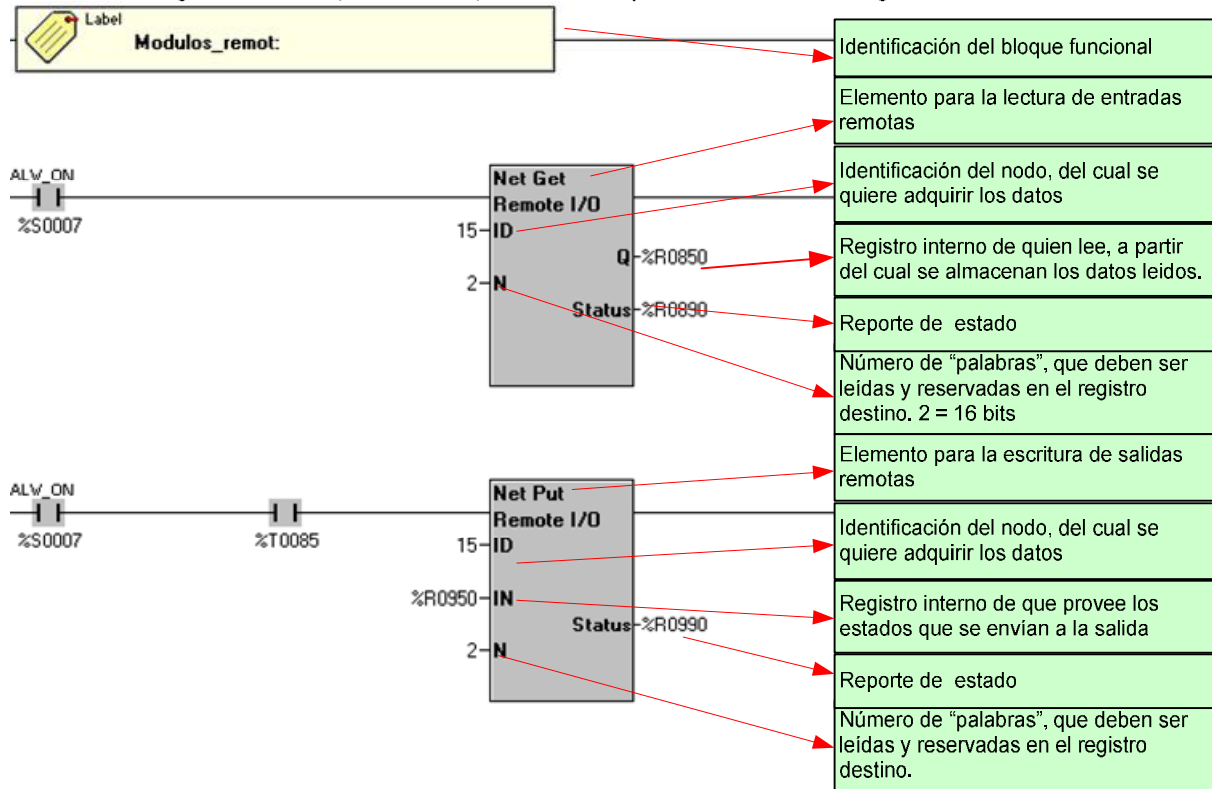


Fig. 13 Diagrama de manipulación remota de salidas

De la programación en diagrama de escalera sólo se mostró, una parte de lo que contiene cada bloque funcional, identificado por una etiqueta, la cual también tiene la función de operar como marcador para efectos de saltos y retornos en la programación. Aún con ello se abordó los bloques más relevantes de los varios existentes en ambos equipos, así mismo de cada bloque se describieron a los elementos representativos.

4.5 Resumen de capítulo.

El lenguaje de escalera al ser actualmente un lenguaje normalizado, permite al personal técnico interpretar de manera adecuada la lógica de control y flujo del programa descargado en el PLC y en la pantalla táctil, el hecho de que ambos equipos se programen a partir del mismo software simplifica enormemente el tiempo de aprendizaje del personal encargado del funcionamiento del sistema SCADA para el Ahorro de Energía Eléctrica.

Ambos equipos pueden realizar en caso de ser necesario acciones de control y despliegado de pantallas y mensajes, permitiendo en caso de ser necesario generar un control redundante, de tal manera que si el elemento principal de control o el de visualización llegan a fallar, el segundo ejecutará automáticamente su función, con las correspondientes limitaciones de un equipo con respecto al otro.

Los equipos de control industrial del tipo PLC han tenido que evolucionar, para ser competitivos en un ambiente donde las computadoras empiezan a ganar terreno en el control de procesos industriales, por lo que hoy en día se pueden encontrar PLC que no sólo realizan acciones de control, sino que además están preparados para cubrir necesidades de visualización, comunicación a redes industriales, almacenamiento constante de datos, etc., esto de manera directa, aunado a ello siguen presentando posibilidades de crecimiento con módulos funcionales específicos, tales como comunicación inalámbrica, mensajería SMS, conexión GSM, GPS, etc., adaptándose a los nuevos desarrollos tecnológicos.

Por todo lo anterior se puede asegurar que los PLC que se adaptan a las nuevas tendencias de automatización aun tendrán mercado disponible, y serán competitivos contra otro tipo de tecnologías de automatización basadas en equipos de cómputo y tarjetas inteligentes de adquisición de datos.

CAPÍTULO 5. ELABORACIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA.

5.1 Tipos de pantalla

Existen tres tipos distintos de pantallas que se presentan en la aplicación, definidas primordialmente por la función que realizan dentro del sistema.

- Ø **Pantallas de sistema:** Son pantallas predefinidas de visualización con información de los parámetros de operación de cada equipo. Existe la propia para la pantalla y el PLC.
- Ø **Pantallas de alarma:** Son pantallas programadas que son de tipo forzado, se emplean bobinas con registros %D en el diagrama de escalera. Un registro especial está relacionado para saber cual alarma está activa y por consiguiente que variable está fuera de límite.
- Ø **Pantallas de usuario:** Si ninguna de las pantallas anteriores está siendo desplegada, una de las pantallas de usuario es desplegada. Son las pantallas con las que el usuario tendrá contacto directo..

Las pantallas de sistema no se dejan accesibles para el usuario final, se emplean en la programación inicial para definir parámetros de operación.

5.2 Navegación entre pantallas.

Si bien el PLC XLE y la pantalla LX300, tienen la posibilidad de desplegar pantallas de información y ayuda al usuario final, este capítulo está enfocado principalmente a la segunda, debido a que es el elemento de visualización principal del sistema SCADA, no obstante la mayor parte de lo mencionado aplica de manera similar a ambos, con las limitaciones propias al tamaño de pantalla, colores, píxeles de resolución y cantidad de registros de cada uno.

Primeramente se hace referencia al modo de acceso de las pantallas programadas, la navegación puede realizarse de manera manual o se genera automáticamente por la lógica de ejecutada en el PLC.

5.2.1 Navegación programada con teclas físicas

Para la navegación de pantallas, se realiza la programación de tal modo que los botones físicos funcionen como acciones de salto a pantallas adicionales relacionadas con la desplegada en curso, no es necesario ir de manera ordenada y secuencial entre pantallas, se programa saltos, para establecer relación entre varias. **Fig. 30**

Segmento de código del diagrama de escalera que muestra la activación de pantallas por accionamiento de teclas físicas en la pantalla LX300

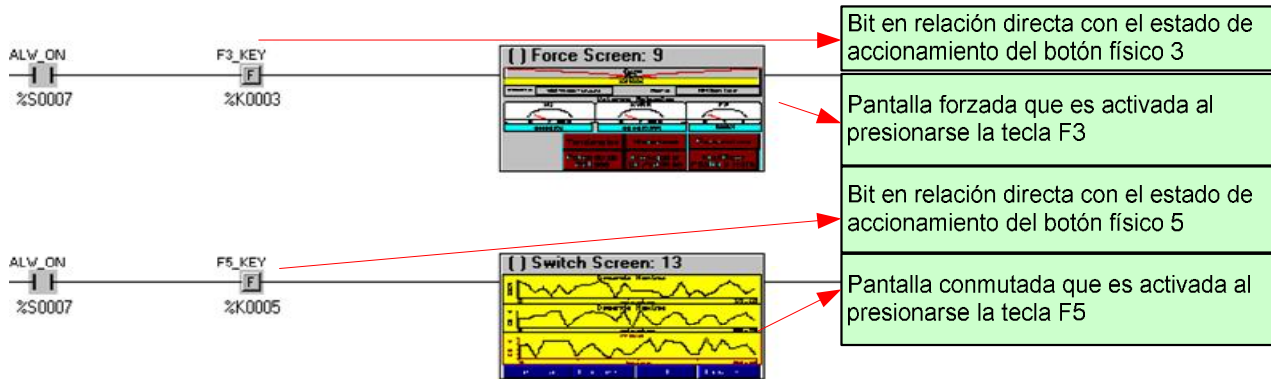


Fig. 1 Activación de pantallas por teclas físicas

5.2.2 Navegación basada en la lógica de escalera programada.

Se realiza al habilitar la alimentación de bobinas especiales llamadas “D”, relacionadas directamente con las pantallas diseñadas, algunas de las programadas en el sistema se despliegan de manera automática bajo condiciones de operación en el diagrama de escalera, las bobinas tienen dos modos de operación, el de alarma y de conmutación de pantalla; sí la lógica del programa activa una pantalla de alarma es desplegada con prioridad y desplaza a la que se encontraba en visualización por lo que también se conoce como forzada, una vez que el usuario confirma manualmente la identificación de la alarma, se oculta y reaparece la anteriormente mostrada, en el segundo modo de operar, la pantalla activada reemplaza a la actual y permanece visible hasta ser desplazada por acción del operario o de la propia. **Fig. 31**

Activación de pantallas en el equipos LX300 en función de las condiciones lógicas evaluadas

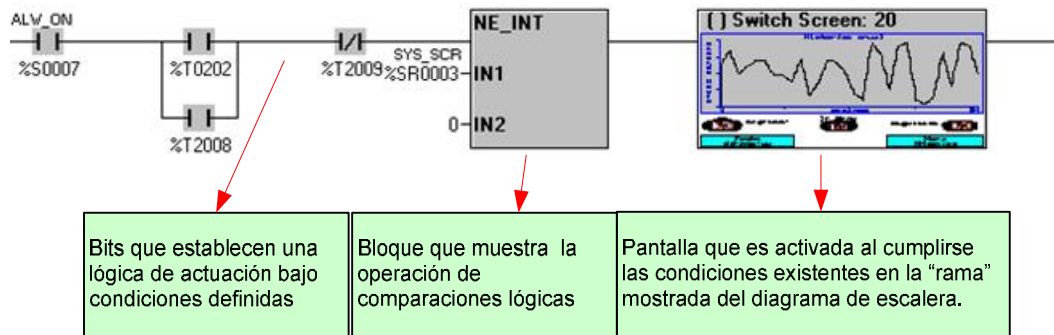


Fig. 2 Navegación de pantallas por teclas físicas

5.2.3 Navegación basada en botones en pantalla

Otra forma que se empleó para navegar entre pantallas y que finalmente es con la que tiene contacto el usuario final es a través del vínculo existente entre los botones específicos colocados en la pantalla con un número de pantalla en particular. La programación no se realiza en el diagrama de escalera, sino en el software de visualización SCADA, en la pantalla se ingresa de la biblioteca de símbolos un botón, que establezca un “salto” a una pantalla identificada por un número. Los enlaces se basan en la configuración de parámetros que definen de sólo se indica el título a desplegar y el número específico. **Fig 32.**

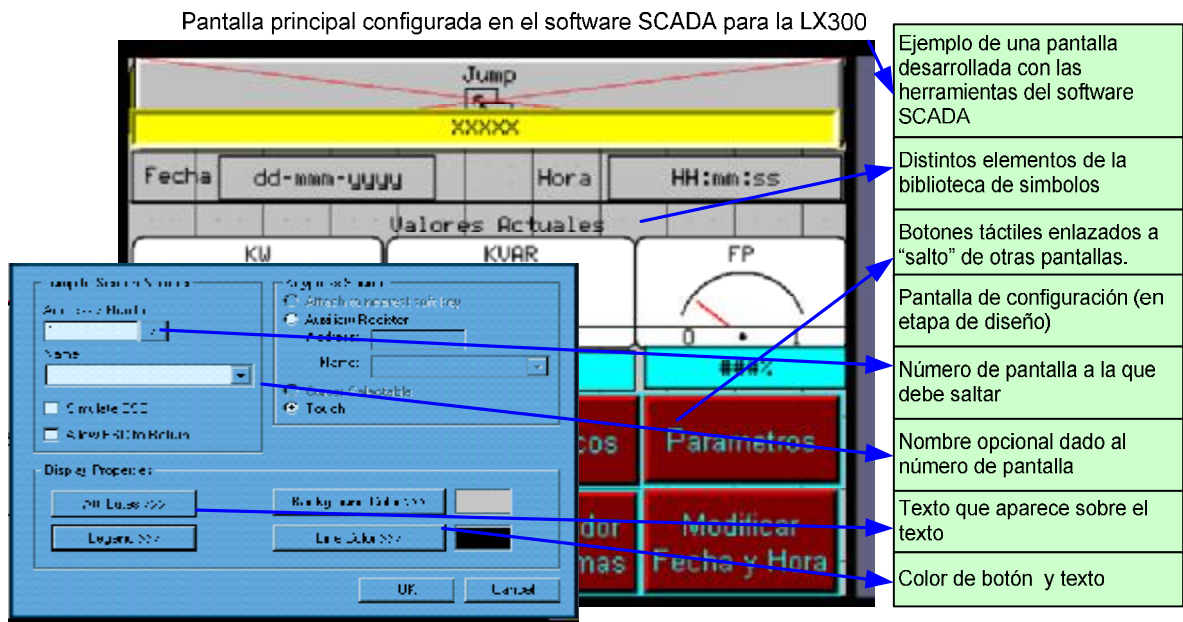


Fig. 3 Navegación entre pantallas por botones táctiles

5.2.4 Inicialización del LX300

La interfaz gráfica se programa en la pantalla táctil LX300, donde se configuran determinados parámetros en la pantalla de sistema, los ajustes realizados son llevados a cabo en una sola ocasión durante la etapa de programación. Los valores que se ingresan los registros correspondientes, son:

- Ø Identificación individual dentro de la red: se asigna el valor de 10
- Ø Velocidad de comunicación: se emplea el mínimo que es de 125 kb/seg
- Ø Tipo de accionamiento en las teclas: se elige de tipo momentáneo
- Ø Hora y fecha: se valida la hora del reloj de tiempo real y de ser necesario se actualiza.
- Ø Activar sonidos: se activa para efectos del despliegue de alarmas.
- Ø Adicionalmente el menú desplegado permite observar el estado de operación del LX300, con el fin de determinar las causas posibles de error en caso de existir

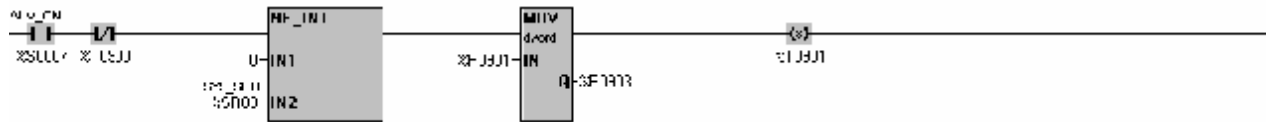
5.2.5 Pantalla de configuración avanzada con validación de clave.

Para evitar modificaciones indebidas a los parámetros por parte del usuario final, se programó una rutina que determina la presentación de dicha pantalla sólo bajo la activación de una clave de acceso, la lógica de acceso es programada en un segmento del diagrama de escalera. **Fig. 33.**



(* Este programa protege con una contraseña al sistema, cuando el usuario quiere ingresar al menú de configuración, aparece una ventana solicitando un la clave *)

(* si el usuario ingresa el código correcto (12345), el menú configuración es mostrado, de caso contrario la pantalla de inicio es mostrada *)



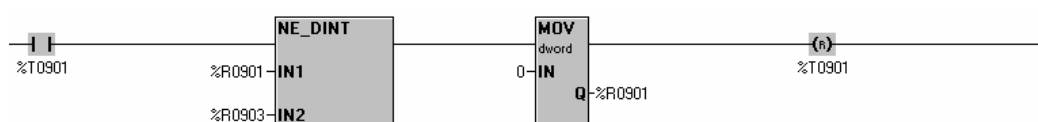
(* Si el password es incorrecto y una de las pantallas de sistema, esta por mostrarse, graba el ultimo password y pregunta por el password *)



(* si el nuevo password es diferente de 12345, no se permite el acceso a la pantalla de configuración *)



(* si el nuevo password es 12345, es aceptado y quita la pantalla de solicitud *)



(* si se pregunta por la clave y no es igual al dado de alta , se coloca nueva clave a cero y se sale de la pantalla de solicitud *)



(* si el pasword es correcto, se activa la secuencia de cambio de pantalla *)



(* se accede a la pantalla de configuración *)



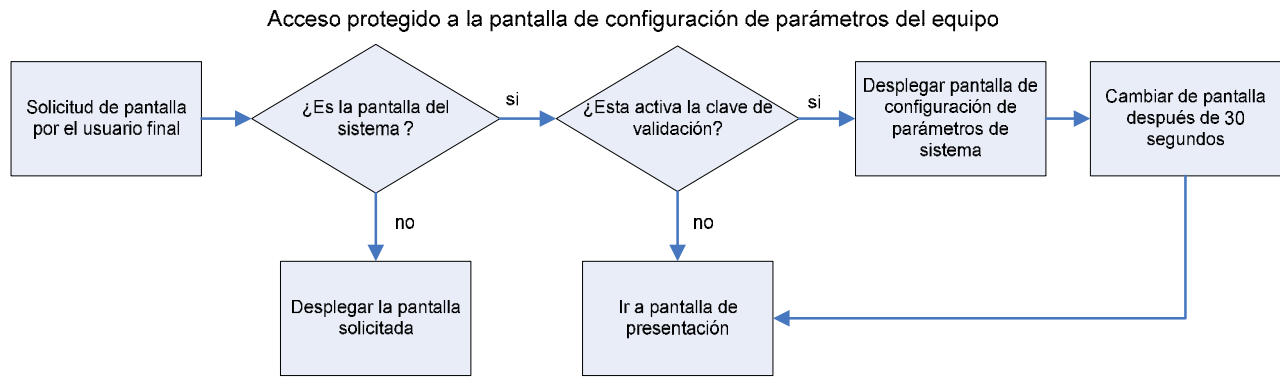


Fig. 4 Ingreso a modificación de parámetros avanzados

5.4 Entradas y salidas globales

Si bien el dispositivo LX300 presenta distintas pantallas con información y gráficas, cabe destacar que las señales de campo son ingresadas y procesadas por el PLC, y en la pantalla se ingresan datos que actualizan registros de memoria de éste, de tal manera que debe existir la manera de poder compartir la información, esto se realiza mediante la definición de entradas y salidas globales, las cuales son un tipo especial de variables que tienen como función ser compartidas y estar a la disposición de los elementos conectados en red.

La lógica a emplear es simple, un envío de información del PLC a la red, es considerada como una entrada global en la pantalla, de igual manera información y confirmaciones ingresadas por el usuario que se envían a la red, son salidas globales en ésta, pero entradas globales para el PLC.

5.5 Estructura de las pantallas

El diagrama mostrado en la **Fig. 34**, se muestra de manera general como está conformada la estructura programada de navegación de las pantallas a las que el usuario tendrá acceso, como se observa la mayor parte de los elementos son de tipo informativa y se navega a través de enlaces colocados en botones programados en la pantalla, después de 5 minutos de inactividad se conmuta de manera automática hacia la pantalla de menú principal que tiene los datos relevantes a las variables monitoreadas.

Estructura de navegación entre pantallas del sistema SCADA para el ahorro de energía eléctrica.

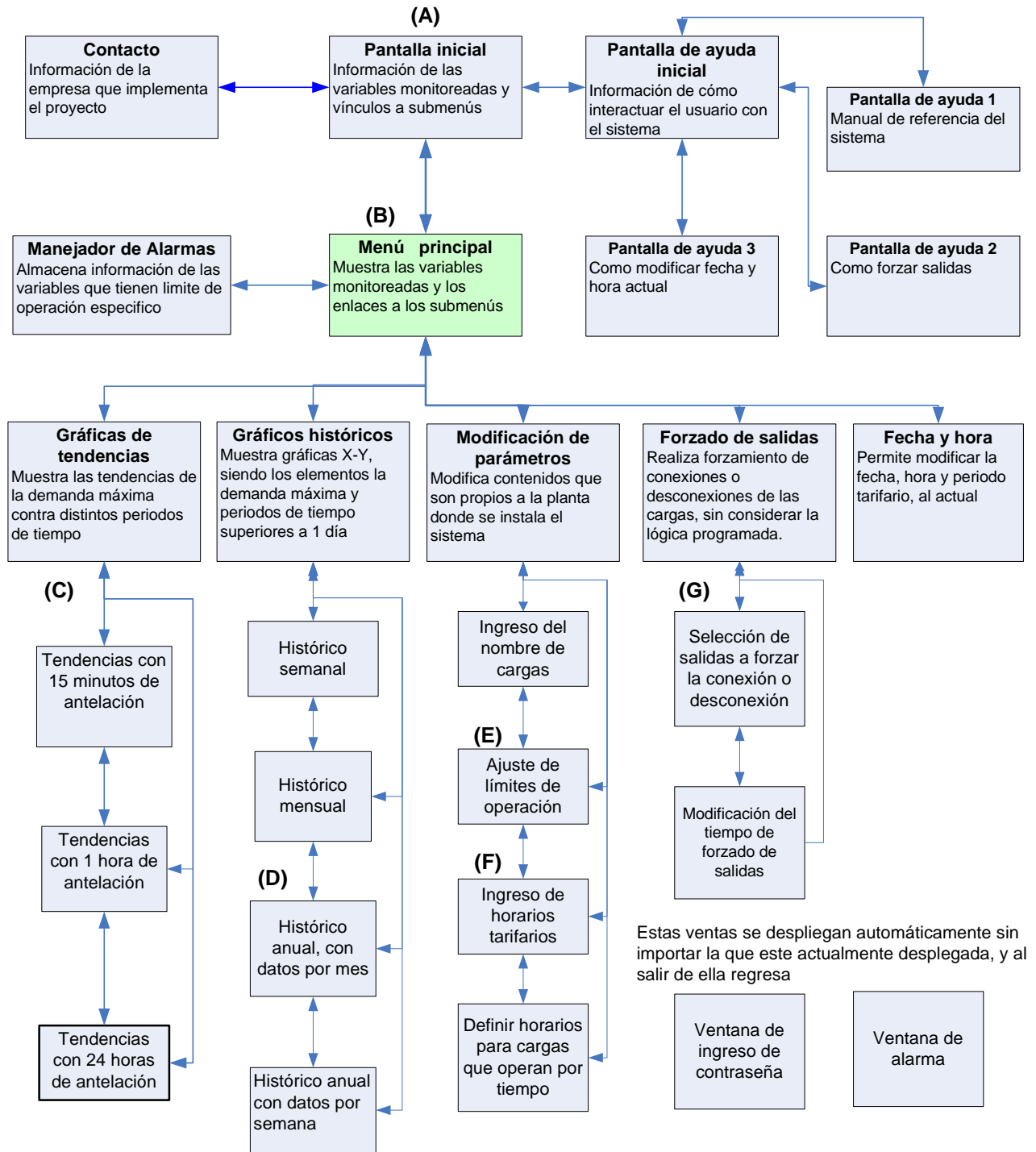


Fig. 5 Estructura programada de navegación entre pantallas

5.5.1 Pantalla inicial

En la **Fig. 35**, se aprecian las pantallas que corresponden al PLC y la pantalla LX300 en ambos casos son pantallas iniciales., es una pantalla inicial de bienvenida, esta contiene los datos de la empresa que desarrolla el proyecto, es decir; la responsable de la venta, instalación, adecuaciones y puesta en marcha del proyecto, etc., el nombre de la empresa donde está instalado el equipo, enlaces al menú principal de la aplicación y a información de apoyo para los usuarios.

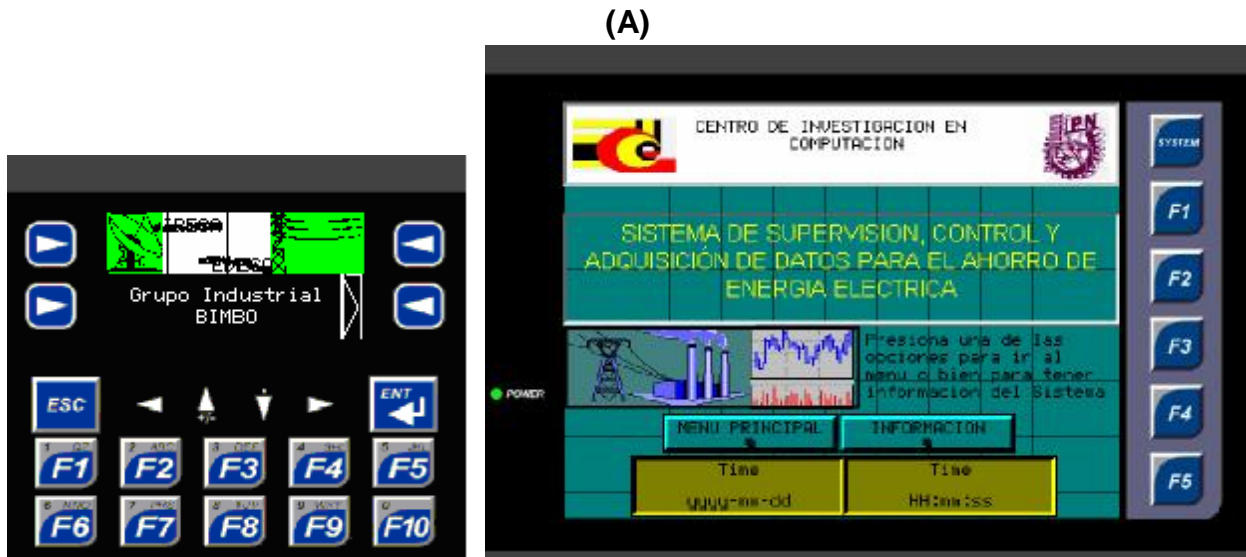


Fig. 6 Pantalla de presentación en el PLC y en la pantalla táctil

La pantalla principal sólo tiene la función de establecer una presentación ante el usuario final, no se incluye la programación a desplegados de datos relevantes, únicamente fecha, hora, enlace a pantallas de ayuda y contacto con la empresa responsable del proyecto.

5.5.2 Menú principal

La pantalla de menú principal presenta la fecha y hora actual, los tres valores obtenidos a partir de las señales de pulsos obtenidas por el PLC, los cuales ya están en relación a kW, kVAR y el factor de potencia tanto con un indicador de carátula analógico como digital con indicador numérico, así mismo se tiene acceso a los submenús principales de la interfaz, basta con presionar el botón presente en la pantalla, como método de acceso rápido se configuran las cinco teclas F1 a F5 a los primeros submenú, dejando de lado el menos relevante que hace referencia a la actualización de fecha y hora **Fig. 36**.

De lado izquierdo se presenta indicador del estado operativo actual del sistema, es decir si se encuentra en ejecución, detenido (sin operar), y en ejecución pero con salidas forzadas por parte del usuario.

(B)

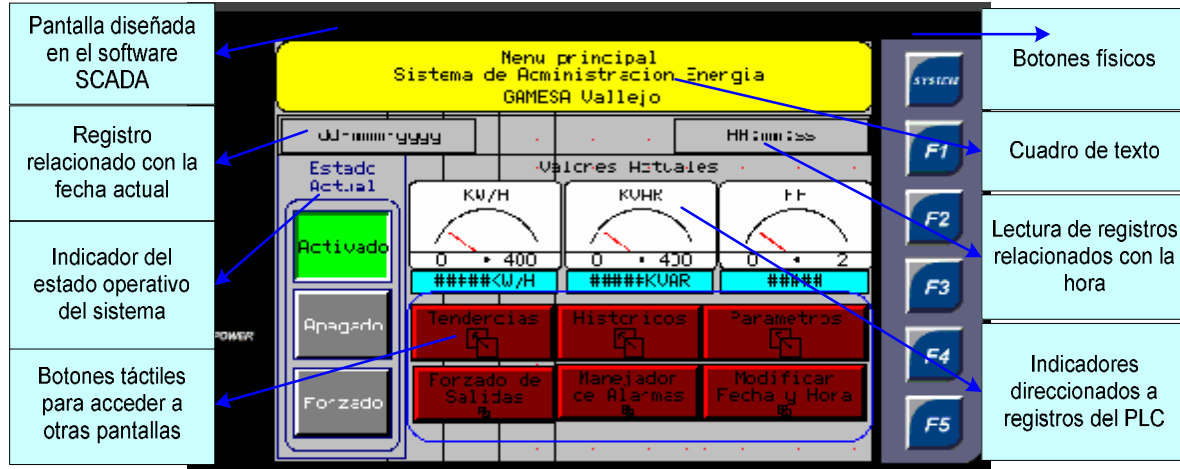


Fig. 7 Menú principal

5.5.3 Tendencias

En este apartado, se muestran las gráficas de las señales monitoreadas, al momento actual y con un antecedente de tiempo 15 minutos, 1 hora y 24 horas **Fig. 37**, para mayor tiempo de antecedente se deben consultar en tal caso los históricos en el submenú correspondiente.

Cada una de las gráficas mostradas tiene la posibilidad de desplegarse en tamaño completo en la pantalla, basta con pulsar en algún punto de la seleccionada, ello con el fin de presentar más a detalle los valores, para regresar al menú principal se presiona la tecla correspondiente o escape para el menú anterior.

(C)

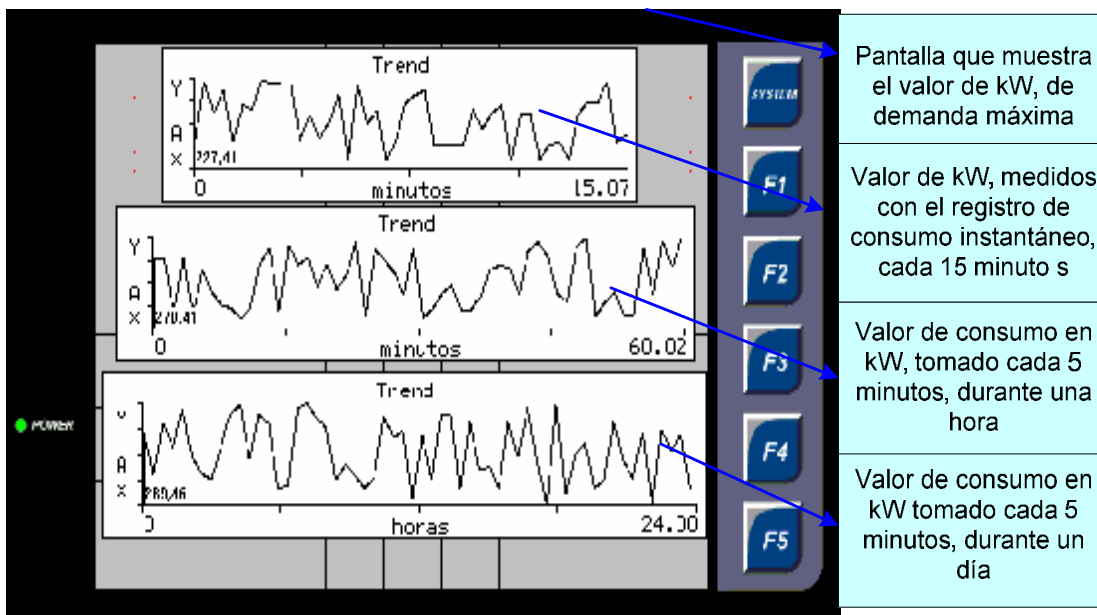


Fig. 8 Gráficas de tendencias

5.5.4 Históricos.

Cuando es necesario la consulta de valores alcanzados con antelación, para su interpretación y análisis, se accede con el menú de históricos en periodos de tiempo que van desde una semana, un mes y el año en curso. **Fig. 38.** Para periodos específicos entre fechas, es posible su programación a solicitud del industrial, para efectos de éste trabajo queda fuera de alcance en su primera etapa desarrollada.

(D)

Ejemplo de la vista a detalle de una de las pantallas que pueden seleccionarse en el menú de históricos

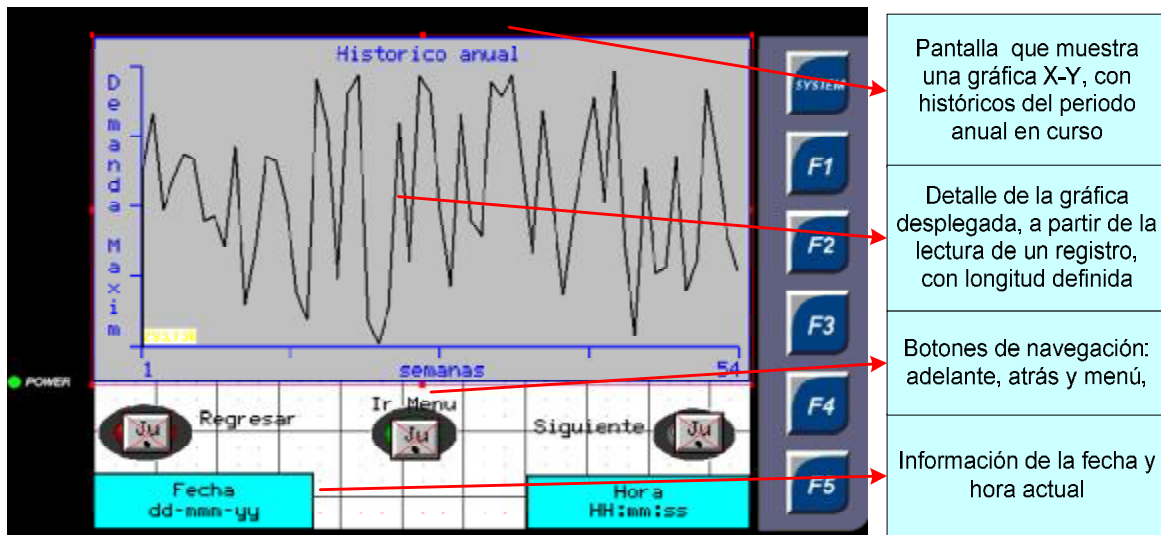


Fig. 9 Históricos X-Y, del año en curso

5.5.5 Parámetros

Este submenú es el más extenso, propiamente en él se definen los valores límite de operación de la aplicación, identificación de cargas, actualización de datos de fecha y hora, etc.

5.5.5.1 Nombre de las cargas:

En función de que la aplicación está pensada para su implantación en diversas empresas con ligeras modificaciones, es importante programar un apartado en el cual se puedan colocar de manera manual (a través de la pantalla táctil), los nombres de los equipos que son conectados en realidad a los relevadores controlados por el sistema.

Las salidas suelen ser programadas generalmente para operar de la siguiente manera:

- Ø 1 a la 8 son cargas controladas por demanda
- Ø 9 a la 12 son cargas controladas por demanda y por tiempo
- Ø 13 a 16 son controladas exclusivamente por tiempo.

Para el caso del módulo de salidas remoto, las consideraciones suelen ser similares en la distribución de tipo de cargas.

La aplicación permite modificar el nombre para facilitar su identificación física y ubicación y acciones de mantenimiento. Como ejemplo: se puede poner en la salida 1 el nombre “motor de tolva” a la 2 “motor de molino”, al 3 “ventilador principal, a la 16 “iluminación baños”, etc. lo anterior también en consideración de modificaciones futuras realizadas en los equipos controlados.

5.5.5.2 Ajuste de límites de operación

Aquí se definen los límites de operación de demanda máxima en los periodos tarifarios base, intermedio y punta, así como la banda de operación porcentual, a partir de la cual el sistema comienza a realizar acciones preventivas y correctivas. **Fig. 39.**

En el diagrama de flujo del modo de operar del sistema se muestra que las acciones empiezan a operar a partir del momento en que el consumo instantáneo rebasa el 90% del valor establecido como límite, lo cual está programado por defecto en el diagrama de escalera, sin embargo es posible su modificación para ajustar el ancho de banda de actuación y cambiarlo del 10%, a uno menor, o mayor de acuerdo a la operación real de planta.

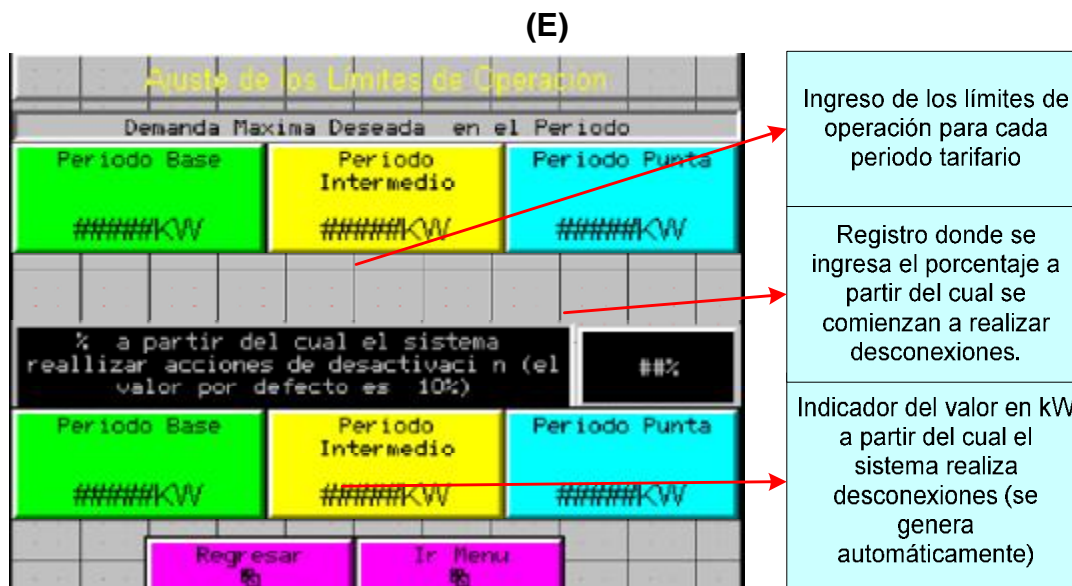
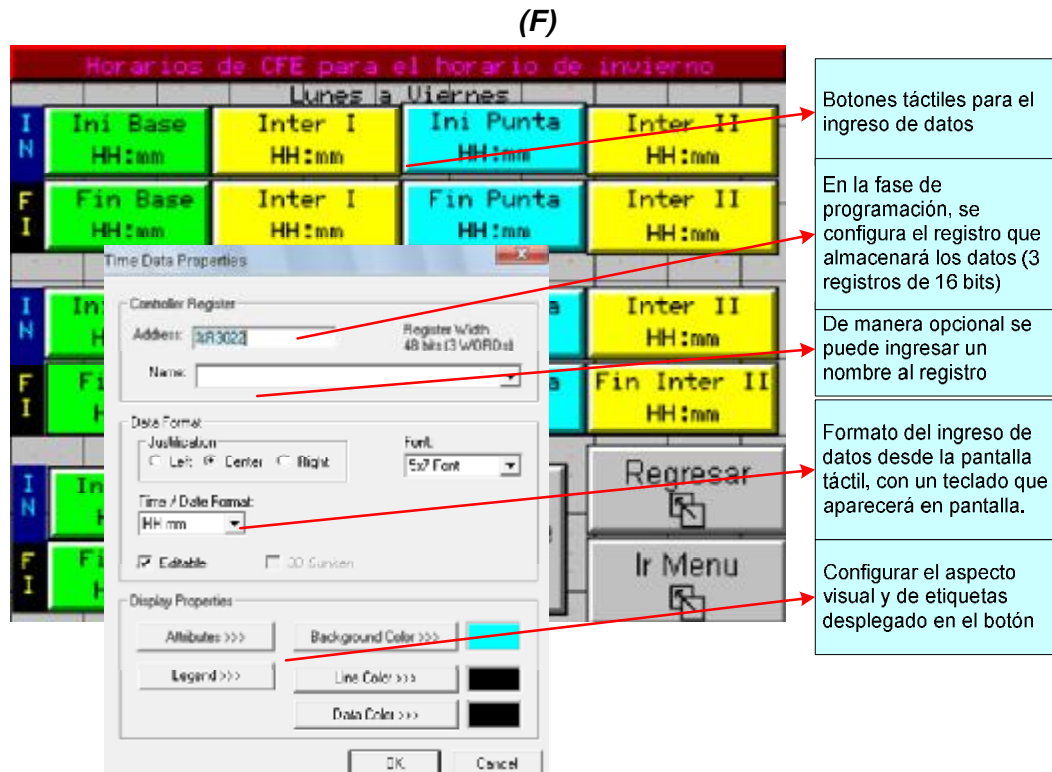


Fig. 10 Definición de límites de operación

5.5.5.3 Ajuste de horarios definidos por CFE

En esta pantalla se permite ajustar los horarios que maneja Comisión Federal de Electricidad, para los distintos periodos del día, considerando, los horarios de verano e invierno aunque este parámetro muy remotamente sufre alguna modificación se coloca por contemplar tal posibilidad. **Fig. 40.**



Botones táctiles para el ingreso de datos

En la fase de programación, se configura el registro que almacenará los datos (3 registros de 16 bits)

De manera opcional se puede ingresar un nombre al registro

Formato del ingreso de datos desde la pantalla táctil, con un teclado que aparecerá en pantalla.

Configurar el aspecto visual y de etiquetas desplegado en el botón

Cada uno de los elementos mostrados es sensible al tacto para su modificación, las modificaciones sólo son posibles si se ingresa con los permisos correspondientes.

Los horarios marcados como intermedio 1 e intermedio 2 tienen el mismo esquema tarifario, es sólo el hecho de que entre ellos se encuentra el periodo punta, y se indican como I y II sólo para efectos del control horario.

5.5.5.4 Ajuste de horarios de operación de cargas.

Algunas de las cargas conectadas a las salidas son controladas exclusivamente por horario, sobre todo para las referentes a iluminación y aire acondicionado, por ejemplo en la salida 13 que depende exclusivamente del horario, puede estar controlada la iluminación de cubículos de oficinas y determinar que estas deben apagarse entre las 22:00 a 05:00 hrs. , periodo en el cual no debiera existir necesidad de uso de luz por no haber personal en esa área, sin embargo en el caso que se llegará a requerir iluminación por alguna situación debe recordarse que se puede forzar la salida correspondiente.

Existen algunos otros casos en que determinado equipo este condicionado a operar a un horario determinado, sin embargo si la demanda de energía se eleva, puede ser considerado para su desconexión, de manera que este tipo de cargas están condicionadas a su funcionamiento tanto por horario como por demanda máxima.

5.5.6 Forzado de salidas

En ocasiones resulta necesario operar ciertos equipos, aun cuando el PLC los haya deshabilitado, posiblemente para cubrir un pedido que requiere horas extras, obviamente esto afecta el rendimiento de ahorro programado del sistema, por lo que el forzado es responsabilidad del usuario final, considerando que es común que el forzar una salida a su estado de apagado o de encendido, se suele olvidar regresar al sistema a las condiciones de operación normal. Por lo anterior se programó que tal opción se realizará por intervalos de tiempo definidos en 10, 30 y 60 minutos, regresando de manera automática el control de la salida al PLC.

El forzado de tiempo no debe aplicarse para desconectar equipos por acción de mantenimiento, debido a que no es garantía llevarlo a cabo en el tiempo que se forzó la salida, lo que puede llevar incluso a la generación de un accidente al reactivarse automáticamente las cargas. Para acciones de mantenimiento o de requerimiento de mayor tiempo de forzado, se debe seleccionar la opción de forzado permanente, siendo responsabilidad del usuario a cargo, el regresar a condiciones normales de operación a las salidas, de esta manera garantizar el requerimiento de ahorro de energía para lo cual el sistema fue desarrollado.

Como medida informativa existe un indicador que hace referencia al estado actual de la salida. Para el sistema desarrollado se consideran 16 cargas o 32 con el módulo remoto, sin embargo para mejor apreciación sólo se presentan 4 por pantalla, teniendo la posibilidad de navegar entre ellas, con las teclas táctiles, de siguiente y anterior **Fig. 41**.

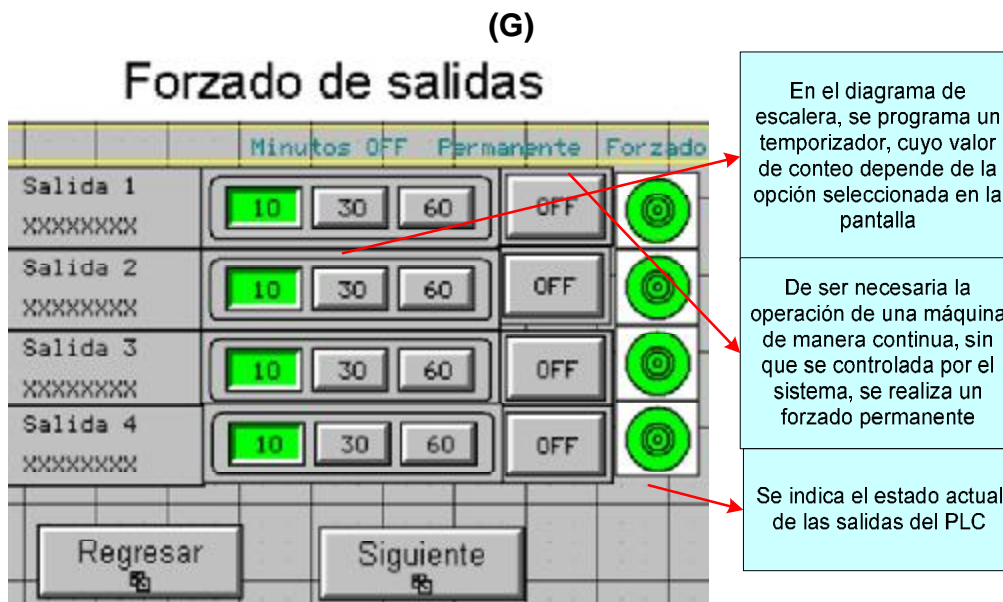


Fig. 12 Forzado de salidas

5.5.7 Modificación de fecha y hora

Aun cuando el PLC cuenta con un reloj de tiempo real y la programación pertinente para efectuar los cambios entre horario de verano e invierno, se brinda la posibilidad de modificar estos parámetros, sobre todo con la intención sincronizar a más de un equipo de control o simplemente por necesidades propias de la empresa

5.6 Biblioteca de símbolos

La mayor parte de los elementos usados en las pantallas, provienen de bibliotecas de símbolo, desarrollados de manera explícita para aplicaciones SCADA, si bien en la barra de título aparece el nombre de Cscape Symbol, en realidad los símbolos son provistos por una empresa, llamada “softwaretoolbox.

Las bibliotecas de símbolos se encuentran también presentes de manera directa o como agregados en los software SCADA más importantes en el ámbito de la automatización industrial, es el caso de RSview de Allen Bradley, WinCC de Siemens, InTouch de Wonderware, LabVIEW de National Instruments, entre otros, de tal manera que la aplicación desarrollada cuenta con la posibilidad de incorporar elementos gráficos similares a los ofertados por las grandes empresas.

En la biblioteca de símbolos se pueden encontrar, botones, tanques, medidores, simbología ISA, etc., etc., llegando a contabilizar más de 1000 elementos agrupados en distintas categorías, sí se cuenta con símbolos personalizados, pueden incorporarse a las bibliotecas. Como una muestra de lo que se puede anexar en las pantallas, una vez que se conoce en específico los equipos a controlar, se tiene una imagen en la **Fig. 42** de algunos de los elementos gráficos.

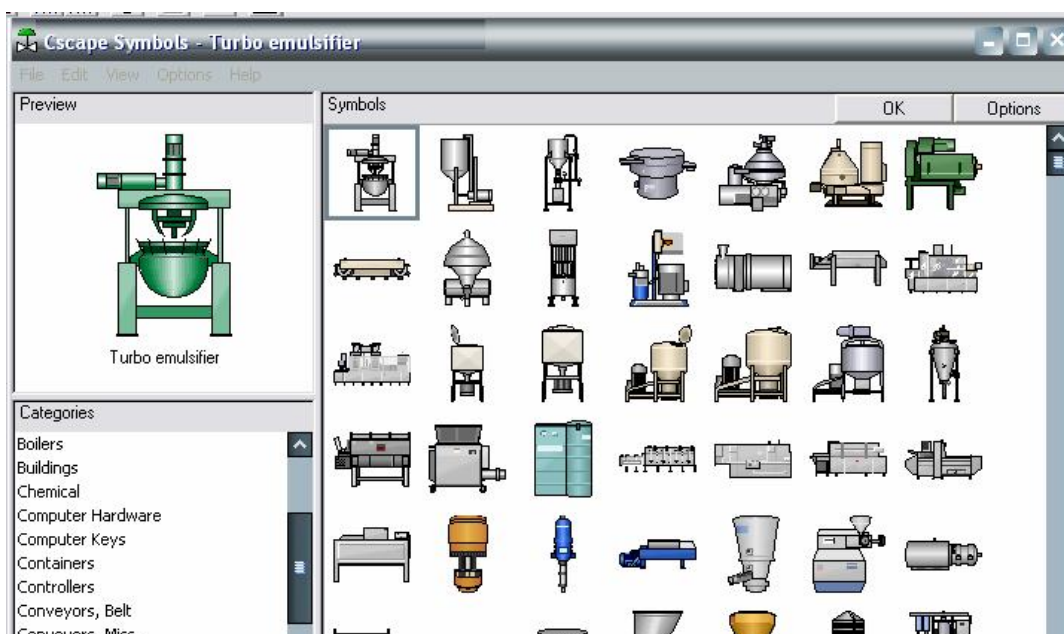


Fig. 13 Cscape symbol

5.7 Resumen de capítulo

La elaboración de pantallas que se presentan al usuario resulta de gran utilidad e importancia, al permitirle una mayor interrelación con el sistema de administración de energía, recordando que el fin de una interfaz HMI es brindar un medio de “comunicación” simple entre un operador humano y un sistema de control electrónico, facilitando así su operación. La finalidad es crear sistemas cada vez más intuitivos que permitan una rápida asimilación y aceptación. Tradicionalmente las HMI en los sistemas SCADA estaban desplegadas en monitores, en sus primeros momentos eran de tipo monocromáticos, posteriormente a color, recientemente con la disminución de costos, ahora es común verlos en pantallas LCD a color.

El avance de la tecnología y la disminución de costos de fabricación de pantallas LCD, permiten brindar una solución económica para la presentación de información del sistema al operador, quedan relegados aquellos indicadores de lámparas y letreros que el operador debía interpretar para saber las condiciones actuales de operación.

Gracias a las ventajas de una pantalla a color es más fácil atraer la atención a los puntos importantes que se deben conocer, si adicionalmente se cuenta con la posibilidad de permitir ingresar datos o cambiar entre las distintas pantallas con una simple pulsación, el grado de interrelación resulta más estrecho.

En la aplicación se ha optado por una pantalla LCD de tipo táctil de 5.7”, especialmente diseñada para operar en ambientes industriales, si bien en un principio pareciera ser una solución costosa, debe tomarse en cuenta que cubre las funciones de una computadora con todo y monitor, además de que al equipo de cómputo debieran incorporársele los costos relacionados con el licenciamiento del sistema operativo y del software específico para la ejecución de las pantallas, lo anterior lleva a considerar que tal elección es sensata y brinda un producto más innovador.



CAPÍTULO 6 ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

6.1 Introducción

Una vez realizada la programación de los elementos de control, se debe establecer la localización física idónea para colocarlos, además de los elementos complementarios, por lo tanto una parte del trabajo describe brevemente la forma en que serán presentados en un tablero.

Se considera que los relevadores de potencia o contactores que controlan el accionamiento de los equipos en campo a manipular ya se encuentran instalados, el PLC modifica la operación de los equipos a partir de la interrupción de la alimentación de la bobina del relevador de potencia, y así determinar cuando le es permitido operar.

Considerando las posibles “fallas”, pruebas, mantenimiento, etc. que el sistema pueda presentar, cualquier situación no considerada en la programación; todos los mandos son realizados tomando los contactos normalmente cerrados de los relevadores de control, lo que permite en caso extremo de una operación errónea del sistema retirar al mismo y que todo el funcionamiento operativo en planta, regrese al estado en que originalmente se encontraba hasta antes de instalarlo, es decir, en el caso de una falla por completo del sistema, los relevadores de control estarían sin alimentación por parte del PLC, por lo que los contactos normalmente cerrados de las cargas, retornarían a ésta condición inicial, de esa manera los equipos controlados operarían de manera ordinaria, sin ser afectados por desconexiones provenientes a causa del mando del PLC.

6.2 Caso práctico

La lógica es simple, como ejemplo se tiene el siguiente caso: Se desea controlar la desconexión del aire acondicionado en función de la demanda eléctrica, el cual tiene como principal elemento de consumo un motor de dimensiones y potencia considerables. Es activado con un botón pulsador para el arranque y otro para el apagado, lo que refleja un mando sencillo de arranque con enclave.

En esquema de control actual se tiene el diagrama de potencia y el de control, con el de control generalmente no resulta necesaria la intervención, por lo que las conexiones existentes permanecen.

En el diagrama de control, **Fig. 49**, se aprecia un arranque enclavado con las correspondientes protecciones por sobrecarga y cortocircuito, también se observa la existencia de dos lámparas indicadores para señalar el funcionamiento adecuado del motor y en su caso cuando ha sido detenido por una condición de sobrecarga

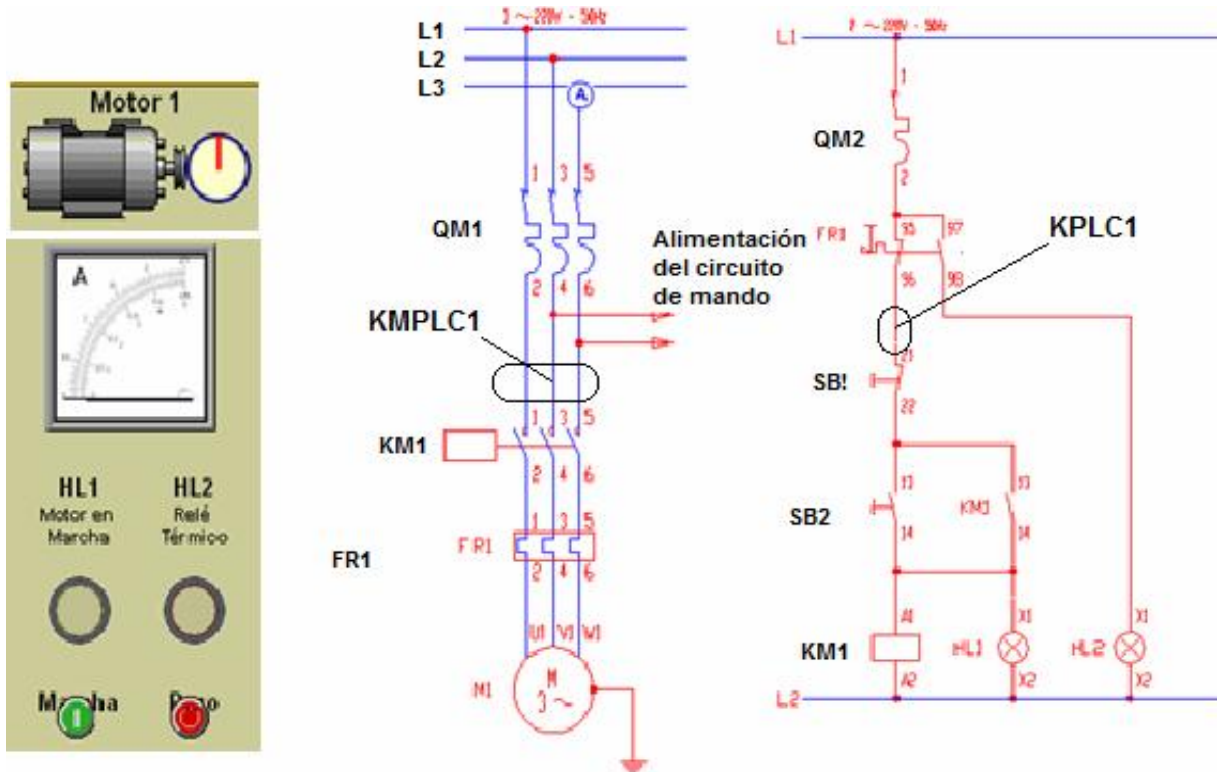


Fig. 1 Esquema de control de un motor trifásico

La modificación que el sistema requiere es únicamente insertar la señal de un contacto normalmente cerrado (NC) proveniente de los relevadores de control que son activados por las salidas del PLC, se denomina este relevador **RPLC1** (relevador del PLC uno), de sus contactos se toma uno NC que se coloca en serie con el botón pulsador SB1, en la línea principal de alimentación del contactor KM1. Cuando el PLC envía una señal de exceso de demanda, el contacto insertado de RPLC1, se abre y detiene el funcionamiento del motor, en este caso resulta necesaria una señal adicional para la reactivación, debido a la pérdida de memoria del enclave, la señal de restablecimiento es a solicitud consideración del usuario final, por los riesgos que implica el arrancar un equipo de movimiento en forma remota, ya que podría generarse un accidente cuando arranque “por si sólo”, y tome desprevenido al personal en planta.

Otra manera de realizarlo requiere la adición de otro contactor de capacidades similares al instalado, en el diagrama se identifica como **KMPLC1** (contactor del motor accionado por el PLC), la bobina de activación de éste, sería habilitada directamente por el contacto normalmente cerrado del relevador que maneja el PLC, pero sus contactos L1, L2, L3, deben ser colocados en serie con los contactos de KM1.

Este segundo método tiene la ventaja de no requerir un restablecimiento manual o por parte del PLC, ya que al disminuir la demanda a un valor adecuado y después de un tiempo, se suprime automáticamente la alimentación del relevador **RPLC1**, volviendo a cerrar el contacto que controla a **KMPLC1** y el motor vuelve a funcionar debido a que el enlace no fue eliminado, cada una de las opciones tiene sus pros y contras, por lo que el método elegido es determinado con el usuario final.

6.3 Materiales a empleados

Tanto el PLC como la pantalla no pueden operar por cuenta propia ni aislados, son necesarios accesorios para lograr obtener su funcionamiento en conjunto, por lo que se describen algunos de ellos.

6.3 .1 Gabinete

Se emplea un gabinete metálico para alojar a los elementos, se elige un factor de protección IP55, el primer 5 hacer referencia a la protección contra el polvo, sin sedimentos perjudiciales., el segundo indica que está protegido contra el lanzamiento de agua en todas las direcciones, chorros de agua. Las dimensiones son de 80cm de alto 70cm de ancho, 20 cm de profundidad, la ubicación de la pantalla y dos ventanas de acrílico para la visualización interna de los elementos se observa en la **Fig. 44**.

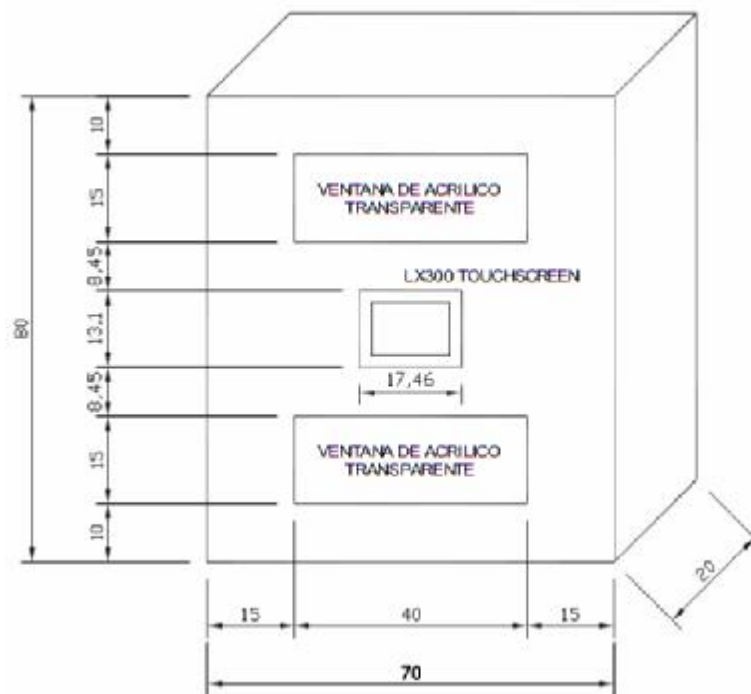


Fig. 2 Gabinete metálico empleado

6.3.2 Fuente de alimentación,

Se requiere un voltaje de 24 VCD para alimentar al PLC y la pantalla, pero también para proveer de alimentación a los relevadores de control y al módulo de salidas remoto. La parte importante radica en la selección del amperaje suficiente para alimentar a todos los elementos y brindar un sobrante del 20% por considerar futuras modificaciones posibles.

Tabla 14.

Tabla 1 Consumo en corriente por elemento.

| Equipo que consume energía | Consumo | No de Elementos | Acumulado |
|---|---------|-----------------|-----------|
| PLC XLE 104 | 130 mA | 1 | 130mA |
| Pantalla LX300 | 300 mA | 1 | 300mA |
| Relevadores (bobina), básicos | 30 mA | 16 | 480mA |
| Relevadores Adicionales (módulo de salidas) | 30 mA | 16 | 480mA |
| Lámparas indicadoras | 20 mA | 2 | 40mA |
| | total | | 1300 mA |

Los valores comerciales de las fuentes en cuanto al número de amperes es de 1, 3 y 5, se debe considerar la corriente necesaria que consumen las conexiones de la red CsCAN, la cual se alimentara de la misma fuente. Cada elemento de la red consume alrededor de 60 mA, considerando existen tres elementos, el consumo a adicionar son de 180 mA. La corriente a usar en total es de 1480 mA, por lo que con una fuente de 3 amperes basta y cubre las futuras modificaciones

6.3.3 Relevadores

Como medida de protección, las salidas del PLC se conectan a relevadores de control, para mantener un aislamiento de la parte operativa y la de control, los seleccionados tienen un contacto conmutado, que acorde a lo planteado con anterioridad resulta útil al poder contar con el contacto normalmente cerrado para las acciones de control de cargas. Para minimizar el consumo de energía y optimizar espacio se eligieron relevadores compactos de montaje en riel DIN, con una corriente soportada en su contacto de 6 amperes, si las cargas demandan más corriente debe utilizarse de manera adicional contactores que estarán fuera del tablero y por tanto no son considerados en un inicio.

6.3.4 Accesorios

Los accesorios que son necesarios para tener el tablero armado son entre otros

- Ø Terminales de conexión de montaje en riel DIN (clemas)
- Ø Plancha de montaje de elementos
- Ø Riel DIN de 35mm
- Ø Alambre AWG #12
- Ø Interruptores termomagnéticos
- Ø Contactos de alimentación, etc.

6,4 Pruebas de laboratorio

Con el objeto de comprobar el funcionamiento del sistema, se vuelve necesario realizar pruebas, sin embargo el realizarlas en campo, se requiere que estén todas las conexiones a las cargas listas, los permisos correspondientes de CFE, la solicitud del medidor de energía electrónico, lo cual en el momento de realizar el trabajo aun no se ha llegado a esta etapa, por consiguiente las pruebas que se realizan son de laboratorio con simulación de valores de entrada y cargas relacionados con una empresa tomada como ejemplo.

Los datos referenciado son en función a los consumos obtenidos de un año de operación, para poder tener información de las cargas en operación normal, consumo energético por cada periodo tarifario, demanda máxima de cada periodo tarifario, etc.

6.4.1 Simulador de señales de consumo

Dado que en el laboratorio no se cuenta con la posibilidad de contar con un medidor de energía siendo una de las causas más importantes que no está a la venta a particulares, únicamente a CFE, los tres pulsos deben simularse a la entrada del sistema para representar distintos valores de consumo y observar la operación.

Los pulsos de manera original son provistos a través de relevadores internos que se encuentran en el medidor electrónico ABB, los cuales no son accesibles al usuario de planta, son manipulados y configurados por personal de CFE; quien solicita que cuando sea realizada la instalación del medidor, se cuente con una tablilla con tres relevadores de mercurio, que tienen la función de realizar el acoplamiento entre el medidor y el sistema alterno de medición. **Fig. 45.**

Los contactos normalmente abiertos (NA) de cada una de las señales de salida del medidor, son reflejados en los NA de los relevadores de mercurio, dejando éstos al usuario de planta o integrador de proyectos de ahorro de energía. La determinación de que estos sean específicamente de mercurio obedece a la gran cantidad de ciclos de operación que realizan al día y que es un requisito planteado directamente por CFE.

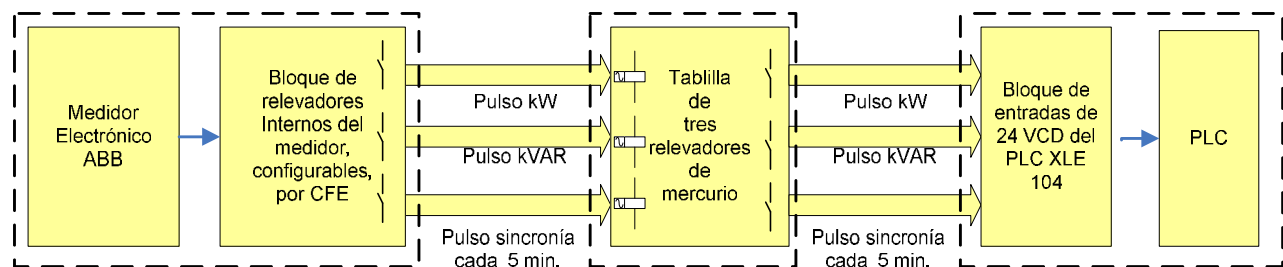


Fig. 3 Obtención de pulsos por parte del medidor electrónico

Debido a que la señal de pulsos opera finalmente a accionamiento de conmutación de contactos de un relevador, el nivel y tipo de voltaje se seleccionó bajo conveniencia del sistema, los tres comunes de cada relevador se alimentan a 24 VCD, los cuales llegan a las entradas específicas del PLC según corresponda.

Las entradas del PLC en conclusión requieren de pulsos de 24 volts que puedan ser manipulados en su frecuencia, para las pruebas se empleó primeramente generadores de frecuencia en onda cuadrada, con el inconveniente de requerir de tres y el concerniente espacio necesario y ajuste continuo de cada uno de ellos, por lo que la mejor opción resulto utilizar otro PLC (incluso podría ser el mismo), en el cual se programaron dos salidas a transistor que producirán, una salidas alternativa de encendido y apagado, en base a dos temporizadores con la misma duración de tiempo al período alto y bajo de la señal. El valor de registro que contiene la cantidad de milisegundos de operación, es manipulada a través del ingreso de valores desde la pantalla táctil, donde de manera manual se le asigna el tiempo en milisegundos en que opera la salida ya sea a través del ingreso directo del valor o por medio de “flechas” de incremento y decremento del valor actual.

La tercera señal como diferencia tiene la característica de no ser simétrica, el pulso se produce por espacio de uno a dos segundos a intervalos de cinco minutos, de tal manera que si bien el tiempo es fijo en el medidor electrónico, se emplean registros de temporizadores en el PLC manipulables con el fin de hacer poder realizar pruebas de integración del contador de manera más continua cuando sea requerido.

6.4.2 Simulación de cargas

Las cargas simuladas se ingresan a las entradas del PLC, se utilizan 16 de las disponibles, recordando que la versión básica del sistema contempla 16 y la ampliada 32, con el fin de cubrir la simulación e la versión ampliada, basta con simular que los consumos de las entradas son más significativos en magnitud y hacer accionamientos aleatorios con cargas de bajo, medio y alto consumo. *Fig. 46.*

Los rangos de las cargas son asignados con valores que varían entre 1kW a los 100 kW, considerando que cargas más pequeñas, no representarían una baja en la demanda energética significativa al ser desconectadas, cuando exista tal caso lo recomendable es agrupar varias cargas de consumos pequeños y controlar todo ese conjunto con un solo relevador de salida del PLC, de esa manera seguramente superará un kW de consumo representativo. Un ejemplo claro lo es el caso de un sistema de iluminación, en el cual con un sólo contacto NC del relevador controlado por el PLC se puede desconectar a un gran número de lámparas que en conjunto generan un consumo considerable.

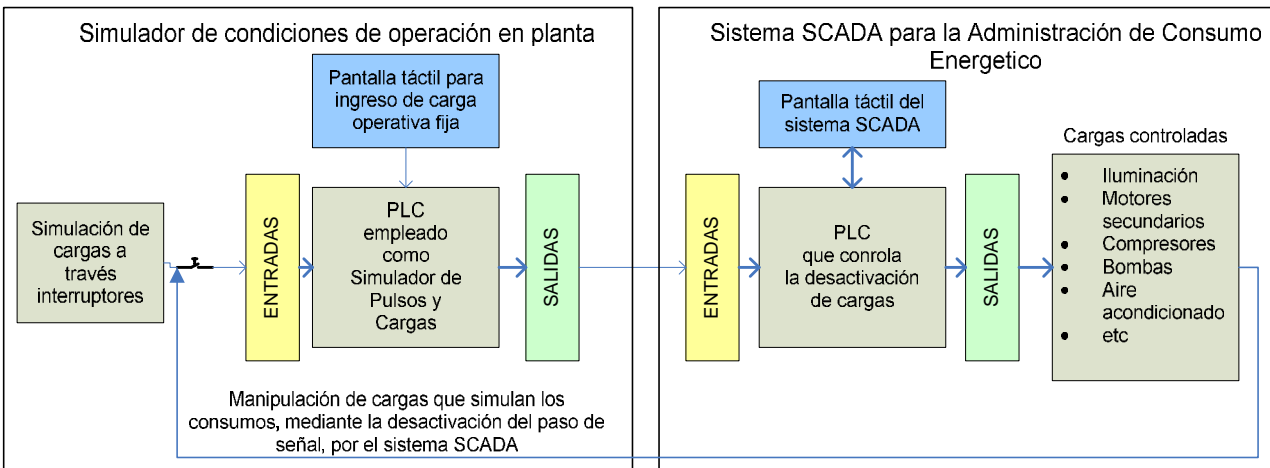


Fig. 4 Simulación de pulsos con otro PLC

6.4.3 Valores de prueba

Se realiza la manipulación de 20 distintos valores, **Tabla 15**, que simulan las activaciones de cargas de distinto valor, que finalmente son sumados para proporcionar el valor de la carga activa. El valor obtenido no es el total de consumo, ya que solo representa a las cargas variables de activación en distintos horarios, es decir; por el propio funcionamiento en planta existe un consumo mínimo, que para efecto de las pruebas se consideró como constante. En base a los registros anuales de consumo de la empresa tomada como referencia, se establece el consumo nominal constante en planta en los 1200kW.

Tabla 2 Valores simulados de consumo en 20 cargas

| No.de carga simulada | Valor en kW | No.de carga simulada | Valor en kW | total en kW |
|----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | 11 | 10 | 764 |
| 2 | 5 | 12 | 30 | |
| 3 | 10 | 13 | 40 | |
| 4 | 50 | 14 | 100 | |
| 5 | 80 | 15 | 85 | |
| 6 | 30 | 16 | 30 | |
| 7 | 65 | 17 | 60 | |
| 8 | 90 | 18 | 50 | |
| 9 | 8 | 19 | 3 | |
| 10 | 15 | 20 | 2 | |

Los valores de consumo simulados no son representación exclusiva de las cargas que el sistema manipula, ya que pueden ser elementos propios de producción que cuando existe la necesidad de operarlos, tienen prioridad sobre la carga no críticas. Sí bien la simulación pudo realizarse con un solo elemento al que se puede variar su valor dentro de todo el rango de carga simulado, se optó por éste método debido a que se asemeja más al comportamiento real que tiene el aumento de cargas en planta, suelen ser incrementos tipo escalón, teniendo un comportamiento hasta cierto punto discreto.

La carga total máxima alcanza cerca de los 2000kW, cuando todos los elementos se encuentran en operación, estableciendo como límite de demanda máxima 1500 kW, se realizan las pruebas de operación del sistema.

Los valores mostrados, fueron adecuados para su visualización, debido a que el software que se ejecuta en el PLC y pantalla, no permiten la manipulación de gráficas tan a detalle, se ejecutaron en los PLC las rutinas correspondientes y de los datos almacenados en los registros se realizaron los gráficos interpretativos en Excel.

En la **figura 47** se aprecia a los valores obtenidos por consumo instantáneo cada 30 segundos, cada 5 minutos se realiza una integración promediada en base al pulso de sincronía enviado por el medidor electrónico, se observa que aun cuando existen valores superiores a los 1700 kW, son “suavizados por valores dentro del rango de integración de los 5 minutos, sin embargo debe recordarse que los valores tomados como demanda máxima para efectos de facturación, se realiza del promedio de 15 minutos anteriores al pulso de sincronización, por lo que después de los 15 minutos, cada 5 minutos es posible obtener un nuevo valor de demanda máxima con los valores anteriores.

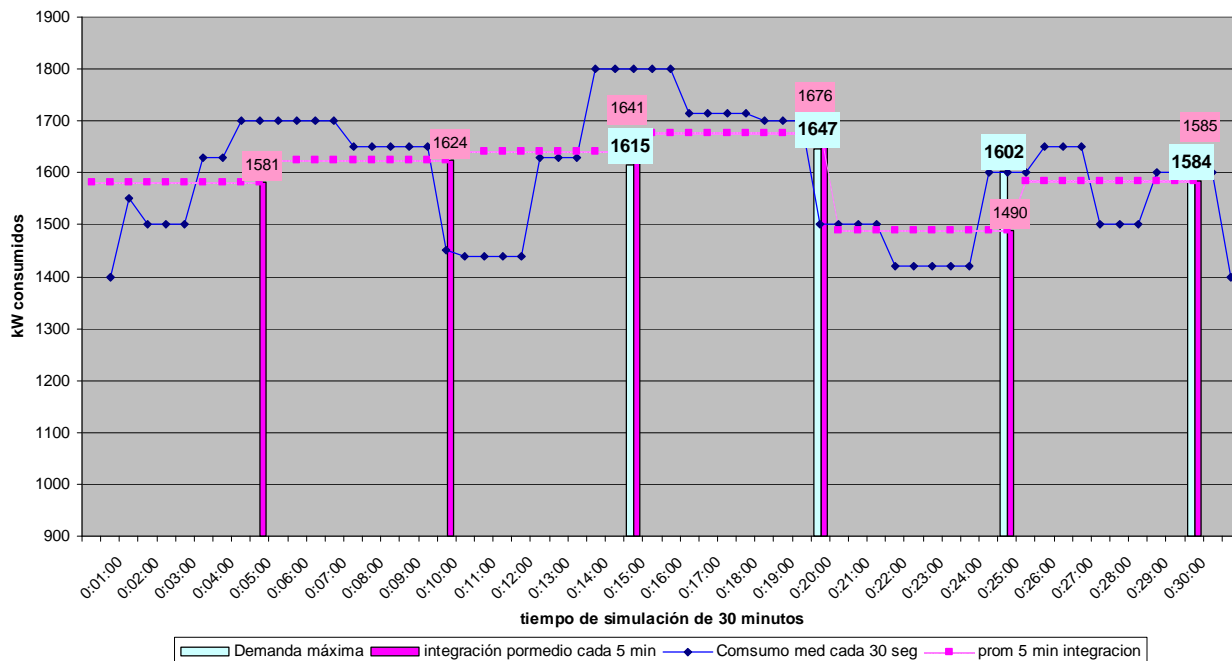


Fig. 5 Demanda máxima sin control

La demanda máxima para el periodo simulado se alcanzó a los 20 minutos, pero al igual que la integración promediada de cada 5 minutos respecto al consumo instantáneo de 30 segundos, el valor suele ser menor a la mayor registrada, por efecto de la promedio realizado. Precisamente aquí se observa que se puede aprovechar éste hecho para evitar que la demanda máxima exceda los límites establecidos en la programación del PLC.

Ahora en comparación se tiene el comportamiento similar de arranque de equipos simulados pero con la actuación del sistema SCADA de ahorro de energía. **Fig. 48.**

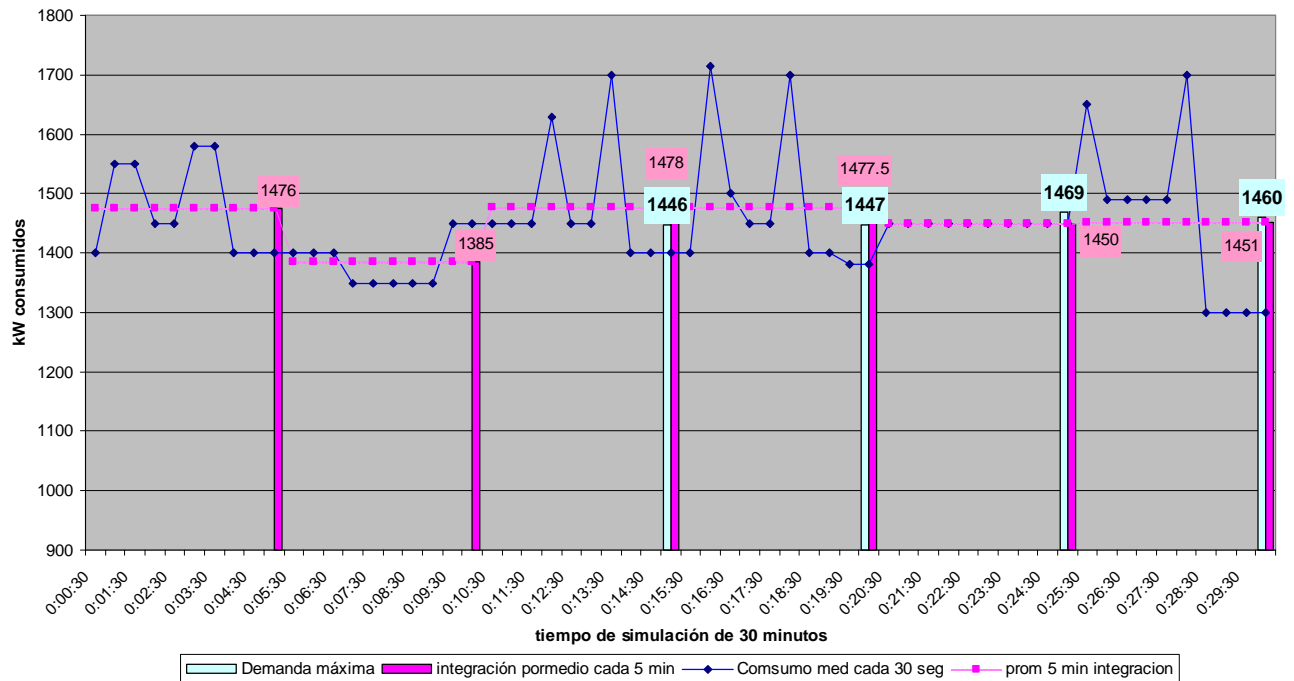


Fig. 6 Demanda máxima controlada por el sistema SCADA

La carga instantánea tomada cada 30 segundos, realiza acciones inmediatas cuando el valore medido es superior al establecido como límite (1500kW), por lo que se observa que cada vez existe un “pico” de consumo, va seguido de una disminución provocada por el número de cargas desactivadas por el sistema SCADA, cuanto mayor sea el valor que se rebasó, mayor será la disminución en la siguiente lectura, al desconectar mayor número de cargas.

Los picos representa la activación de más cargas al sistema, o bien el restablecimiento de algunas que fueron desconectadas por un periodo de 5 minutos. Para efectos de la aplicación real es necesario determinar si es necesario realizar ajustes al número de cargas a desconectar y al periodo permisible de desconexión de equipos, para hacer más eficiente al sistema.

6.5 Resumen de capítulo

La adecuada selección de elementos que acompañan al PLC, permiten brindar un sistema más confiable al usuario, se deben seguir las recomendaciones y normas establecidas para armar el tablero.

La realización de pruebas de laboratorio permite realizar ajustes a la programación en caso de requerirse o bien comprobar funcionalmente que la operación es la deseada, así mismo simular condiciones diversas de operación que difícilmente pueden presentarse en planta pero que deben considerarse en la simulación para garantizar que el sistema reacciona adecuadamente.

Las pruebas de laboratorio son funcionales en tanto más puedan asemejar a la condiciones de operación reales, por lo cual deben realizarse con variaciones diversas recordando que el sistema está diseñado para operar de manera general en cualquier tipo de industria.



CONCLUSIONES

Los objetivos y la hipótesis fueron cubiertos al diseñarse y programarse el sistema SCADA enfocado al ahorro de energía eléctrica en plantas específicas de la zona centro del país.

De acuerdo a las pruebas de desempeño en laboratorio, fue posible la disminución de la demanda en horario punta, discriminando carga no críticas y moviendo algunas de ellas al horario base o intermedio. Establecer un límite de operación de la demanda máxima, contribuye reducir costos por concepto de demanda facturable y consumo en horario punta.

Su diseño y programación cubrió aspectos específicos en una planta industrial que los sistemas comerciales no permiten, al contar con la flexibilidad de programar la operación de cargas a las necesidades particulares de empresa, logrando una administración del consumo de energía eléctrica lo más apegado posible a los requerimientos planteados por el usuario. La implementación de una HMI proporciona una interrelación más estrecha entre el sistema y el operario, facilitando su operación y aceptación.

Fue posible diseñar y programar un sistema SCADA enfocado directamente a las necesidades de las empresas mexicanas, pero sobre todo a costos competitivos de elaboración, haciéndolo accesible a un mayor número de ellas. El costo de fabricación del gabinete de control no sobrepasa los \$4000.00 dólares, costo económico considerando que los precios de licenciamiento para sistemas SCADA industrial oscilan entre los \$2000.00 a \$5000.00 dólares, a lo que hay que agregar la adquisición de hardware.

Las limitantes del trabajo están relacionadas con la necesidad de realizar un periodo de pruebas de aproximadamente un mes, en una industria, lo cual será realizado al final del año en curso, pues el proyecto ya está comercializado a Gamesa. En ese momento se puede realizar.

TRABAJO FUTURO

Realización de mejoras al sistema en base a la retroalimentación dada por el usuario y la propia operación del mismo.

Ajustes al método de control de la demanda máxima, en torno a mejorar el rendimiento del consumo energético, y otros aspectos menores que lo requieran.

Generar una programación cada vez más flexible que permita que la implantación sea simple, de manera que el mismo sistema pueda llevarse a otra planta y que sólo baste hacer ajustes en la configuración, sin necesidad de requerir su reprogramación.

El trabajo está limitado en esta etapa al control de la demanda energética en función de la activación y desconexión de cargas operativas, sin embargo se puede plantear el control de bancos de capacitores para ajustar el factor de potencia, desde el PLC.

El sistema funciona basado en control de cargas no críticas en la producción, sobre todo en el aire acondicionado, iluminación y compresores, pero se puede realizar un estudio más a detalle del control de elementos en líneas de producción, disminuyendo aun más la demanda energética.

La distribución de más de un equipo de control para operar las demandas energéticas por línea de producción área de trabajo, etc., concentrando toda la información en un PLC principal, pero permitiendo la disgregación de tareas a los demás.

El análisis del comportamiento de la demanda en función de los días y horarios, puede repercutir en realizar modificaciones en la programación que permita realizar una operación anticipativa en base a los históricos de operación de una planta en particular.

Son varios los trabajos futuros a realizar, algunos de ellos de manera más inmediata que otros, pero todo lo que se realice posteriormente a este trabajo depende en su gran mayoría de las necesidades que el usuario quiera satisfacer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 IEEE, *Recommended practice for energy conservation and cost effective planing in industrial facilities*, agosto 1985, ISBN-10: 0471820377.
- 2 IEEE Guide, *Test procedure for synchronous machines*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, mayo 1995, 192 paginas.
- 3 Llamas Armando, Costos unitarios mezclados. Centro de Estudios de Energía, 12 de Junio 2004 (REV Enero 2007). Disponible de World Wide Web: <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/tarifas/CUA.doc>
- 4 CONAE (Consejo Nacional para el Ahorro de Energía). Control de la Demanda. (2007). CONAE Programa de ahorro de energía en la industria. Disponible de World Wide Web: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_234_control_de_la_demand
- 5 Enríquez Harper Gilberto, Fundamentos de sistemas de energía eléctrica. Edición, Limusa, México (1985),
- 6 Veltri Rosal, Roberto Carlos, Programa de ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación (Julio de 2002). Instituto universitario de tecnología. República Bolivariana de Venezuela. Disponible de World Wide Web: <http://www.monografias.com/trabajos13/anaco/anaco2.shtml>
- 7 Guasch José Luis y Rosenblatt David. Notas sobre la Competitividad Mexicana. Banco Mundial. Presentación al Foro Multilateral sobre Políticas Públicas México, D.F., 7 de febrero, 2007
- 8 Maruyama Kazuhiro. *Demand control apparatus and power distribution control system*. (2007), European Patent EP0561255
- 9 Matsch L.W.. Máquinas electromagnéticas y electromecánicas. Editorial Alfaomega, S.A. México (1990),
- 10 Espinoza R,y Lara. Sistema de distribución. Ed, Limusa, México (1990),
- 11 Andrews et al. , *Peak electrical demand control*. (1993). Disponible de World Wide Web: <http://ateam.lbl.gov/Design-Guide/DGHtm/rightsizing.choosinganenergy.efficientdesign.htm>
- 12 Barakat & Chanmberlin. *Reducing Peak Demand with Energy Management Control Systems*. Febrero (1998). *Energy center of Winconsin*. Disponible de World Wide Web: <http://www.p2pays.org/ref/40/39328.pdf>
- 13 Real Pozo del Castillo Pablo E. Ahorro de Energía Eléctrica en México, Avances y Prospectiva a 2006-2012. (2007). Artículo de la Academia de Ingenieros en México. Publicación del 18 de enero 2007
- 14 Treviño Gaspari Mateo. Ahorro de energía, concepto estratégico en una reforma eléctrica. (2007). Artículo de la revista Energía a Debate 1/ Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial. Publicación de junio 2004
- 15 Vargas Nieto Enrique. Prospectivas de las tarifas eléctricas industriales. Artículo de la revista Energía a Debate. Publicación de enero 2007
- 16 CFE. Series históricas para el cálculo de los factores de ajuste. Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación. (Agosto de 2005). Disponible de World Wide Web: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3710/2/artenriquevargas.pdf>
- 17 *International Energy Agency. Energy Prices & Taxes*. (2004) Edition. *International Energy Agency*. Paris Cedex, France. Disponible de World Wide Web: <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/elecprh.html>
- 18 Comisión federal de Electricidad. Tarifas de Energía Eléctrica.(2007). Disponible de World Wide Web: <http://www.cfe.gob.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/Tarifas.asp>
- 19 Irastorza Verónica. ¿Porqué se Necesita una Reforma a las Tarifas de Electricidad. Artículo de la revista Energía a Debate. . Publicación diciembre 2006
- 20 Ramos Niembro Gaudencio, Fiscal Escalante Raúl. Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica. Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas (febrero de 1999).
- 21 Esparza González Mario Salvador, Altamira Rodríguez Juan Pablo. Controlador de demanda máxima. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica, (2006). Disponible de World Wide Web: <http://www.ruelsa.com/cime/boletin/2005/bt08.pdf>
- 22 Aguilar Galván Alfredo, Administración de la Demanda y Compensación del F.P. Artículo de Investigación y desarrollo, publicación de mayo 2000. Disponible de World Wide Web: <http://www.invedes.com.mx/antiores/Mayo2000/hm/uam84.html>

-
- 23 CIRCUITOR. Controlador de demanda máxima. Catálogo (1998),
 - 24 Llamas Terrés Armando. Demanda, consumo y cambio de horario de verano. Artículo del Centro de Investigación en Energía ITESM, (2001). Disponible de World Wide Web:
<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/horariodeverano/demandaconsumoHV.PDF>
 - 25 FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica). Información básica del control de la Demanda. Artículo CONAE 2005. Disponible de World Wide Web:
http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion_control_demanda.pdf
 - 26 FIDE. Metodología de Control de la Demanda Eléctrica. FIDE.2006. Disponible de World Wide Web:
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/APF_control_demanda_industria
 - 27 Anzurez Marin Juan, González Ruiz Victor. Diseño de un instrumento virtual para la medición de la energía, usando LabVIEW. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Artículo presentado en congreso de electrónica. 2001. Disponible de World Wide Web: <http://148.202.148.5/cursos/17721/ModuloIII/mon6.pdf>
 - [28] Laresgoiti Iñaki. Sistema para la optimización de la gestión de la demanda y evaluación de su impacto a gran escala. (2007). proveedora de soluciones industriales LBEIN. Manual de servicios
 - [29] LyFC (Luz y Fuerza del Centro). Luz y Fuerza del Centro Programa de inversión 2006. Publicación de la Subdirección de planeación estratégica. Febrero 22, 2006.
 - [30] CONCAMIN. Eliminación de Tarifa Eléctrica en Horario Punta. Comisión de Energéticos Foros de Consulta Plan Nacional de Desarrollo. Artículo de la publicación de Abril 2007
 - 31 CFE. Conceptos de tarifas. Comisión Federal de Electricidad (Abril de 2007).
 - 32 Centro de Estudios de Energía. Niveles de tensión – Tarifas. Diario oficial de la federación 15 de noviembre de 1996.
 - 33 CONAE. Tarifas eléctricas aplicables en México. (Marzo, 2002)., Artículo de su página de internet.
 - 34 Piedrahita Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. Alfaomega & Ra-ma, 2004
 - 35 Blanco Barragán Luis. Gestión del desarrollo de Sistemas Automáticos. (1999). Editorial Paraninfo.
 - 36 Serna Ruiz Antonio. Lógica Digital y Microprogramable. (2000). Editorial Paraninfo
 - 37 Balcells Joseph, Romeral José Luís. Autómatas Programables.(1998). Serie mundo electrónico editorial Marcombo.
 - 38 Boyer, S. A. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition 3a. Edición Research Triangle Park ISA,(1999)
 - 39 Michel, U. Autómatas Programables Industriales. (1990) Marcombo
 - 40 Festo. Manual de Redes de comunicación industrial. (1999)
 - 41 Horner. Manual de especificaciones PLC XLE 104 (2007)
 - 42 Horner. Manual de especificaciones pantalla LX300 (2007)
 - 43 Horner. Manual de especificaciones del software CScape 8.5 (2007)

ANEXOS.

ANEXO A Especificaciones Técnicas de la Red CsCAN

Especificaciones técnicas del cableado en una red CsCAN

En la siguiente tabla se indican las características eléctricas que debe poseer el cable empleado para elaborar la red CsCAN

| | |
|--|---|
| Con calibre "grosso", para mayores distancias. | Son necesarias dos líneas de par trenzado con malla, la señal se envía en un calibre #18 colores azul/blanco, el segundo par es #15 negro/rojo y es empleado para la alimentación |
| Con calibre "delgado", para distancias cortas. | 2 pares trenzados con malla, para la señal #22 Azul/blanco y para la alimentación #24 |
| Resistencia Terminal | 121 Ohms a 1% y ¼ de watt |
| Alimentación a los nodos | 24 VCD nominal +- 4% |
| Nodos soportados | 64 |
| Nodos soportados con arreglos de puentes. | 253 |
| Tamaño de los paquetes | 0-8 bytes |
| Corrección y detección de errores | CRC con retransmisión de mensaje si se solicita reconocimiento de entrega por parte del destino. |

Velocidad Vs Distancia en una Red CsCAN

Se aprecia que evidentemente a mayor distancia la velocidad de transmisión de información disminuye para evitar la pérdida de información.

| Velocidad de la RED | Distancia Máxima (cable grueso) | Distancia recomendada (cable grueso) | Distancia máxima (cable delgado) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 125 Kbit/sec. | 500m | 400m | 100m |
| 250 Kbit/sec. | 200m | 180m | 100m |
| 500 Kbit/sec. | 100m | 80m | 100m |
| 1000 Kbit/sec. | 40m | No recomendado | 100m |

Distancia máxima de la línea principal a la conexión de un nodo "colgado".

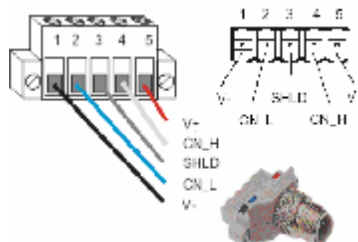
Un punto descrito arriba es la distancia máxima que puede tener el cableado principal de la red, y en la tabla inferior se hace referencia a la longitud entre éste cableado y un punto de derivación hacia un equipo, sin embargo también es importante considerar todas las longitudes acumuladas de los puntos de derivación para que no excedan los valores máximos permitidos en su conjunto.

| Velocidad de transmisión de la RED | Longitud máxima de un nodo a la línea principal | Longitud máxima acumulada de todos los nodos |
|------------------------------------|---|--|
| 500 Kbit / seg. | 6m | 39m |
| 250 Kbit / seg. | 6m | 78m |
| 125 Kbit / seg. | 6m | 156m |

Terminales de conector CsCAN

Se indican la disposición física de las terminales y el color característico en un cable de red estandarizado.

| Terminal | Señal | Color del cable |
|----------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | V- voltaje negativo = 0v | Negro |
| 2 | CN_L Nivel bajo de la señal | Azul |
| 3 | SHLD conexión de malla | |
| 4 | CN_H Nivel alto de la señal | Blanco |
| 5 | V+ voltaje positivo = 24v | rojo |



Anexo B Conexiones del PLC XLE104

Terminales de conexión para del puerto serial.

Este puerto permite protocolo de comunicación RS 232 y RS485, sólo deben conectarse las terminales adecuadas a cada protocolo y al extremo opuesto el tipo de conector db9 o db25.

| RJ45 | No | MJ1 | | MJ2 | |
|------|----|-----------|------------------|-----|--------------|
| | 8 | TXD | Salida | TXD | Salida |
| | 7 | RXD | Entrada | RXD | Entrada |
| | 6 | 0V | Tierra | 0V | Tierra |
| | 5 | NC | No conectado | NC | No conectado |
| | 4 | RTS | Salida | TX- | Salida |
| | 3 | CTS | Entrada | TX+ | Salida |
| | 2 | RX- / TX- | Intrada / salida | RX- | Entrada |
| | 1 | RX+ / TX+ | Entrada / salida | RX+ | Entrada |

Terminales de conexión del bloque de entradas

Las entradas por lo general son configuradas para reaccionar a la lógica positiva, para la identificación de estas terminales basta localizar el conector móvil de color anaranjado.

| J3 | XEL104 | |
|-----|-----------|--|
| I13 | Entrada13 | |
| I14 | Entrada14 | |
| I15 | Entrada15 | |
| I16 | Entrada16 | |
| I17 | Entrada17 | |
| I18 | Entrada18 | |
| I19 | Entrada19 | |
| I20 | Entrada20 | |
| I21 | Entrada21 | |
| I22 | Entrada22 | |
| I23 | Entrada23 | |
| I24 | Entrada24 | |
| 0V | tierra | |

| | | |
|----|-----------------------------|--|
| J1 | XEL104 | |
| I1 | Entrada1 | |
| I2 | Entrada2 | |
| I3 | Entrada3 | |
| I4 | Entrada4 | |
| I5 | Entrada5 | |
| I6 | Entrada6 | |
| I7 | Entrada7 | |
| I8 | Entrada8 | |
| H1 | Entrada rápida1 / entrada9 | |
| H2 | Entrada rápida2 / entrada10 | |
| H3 | Entrada rápida3 / entrada11 | |
| H4 | Entrada rápida4 / entrada12 | |
| A1 | Entrada analógica1 | |
| A2 | Entrada analógica2 | |
| 0V | tierra | |

Terminales de conexión del bloque de salidas

Las salidas provistas por el PLCS 104 son a transistor, con ello el tiempo de respuesta es mayor y no existe desgaste mecánico, sólo debe tenerse la precaución de no activar con ellas directamente alguna carga operativa, ya que el nivel de corriente entregado es bajo y por lo cual se hace necesario colocar a casa una de las que se ocupen un relevador de 24 vcd

| | | |
|-----|-------------------------|--|
| J2 | XEL104 | |
| 0V | Tierra | |
| V+ | voltaje positivo 24 VCD | |
| Q13 | Salida13 | |
| Q12 | Salida12 | |
| Q11 | Salida11 | |
| Q10 | Salida10 | |
| Q9 | Salida9 | |
| Q8 | Salida8 | |
| Q7 | Salida7 | |
| Q6 | Salida6 | |
| Q5 | Salida5 | |
| Q4 | Salida4 | |
| Q3 | Salida3 | |
| Q2 | Salida2 | |
| Q1 | Salida1 | |

| | | |
|-----|----------|--|
| J4 | XEL104 | |
| Q16 | Salida16 | |
| Q15 | Salida15 | |
| Q14 | Salida14 | |
| | | |

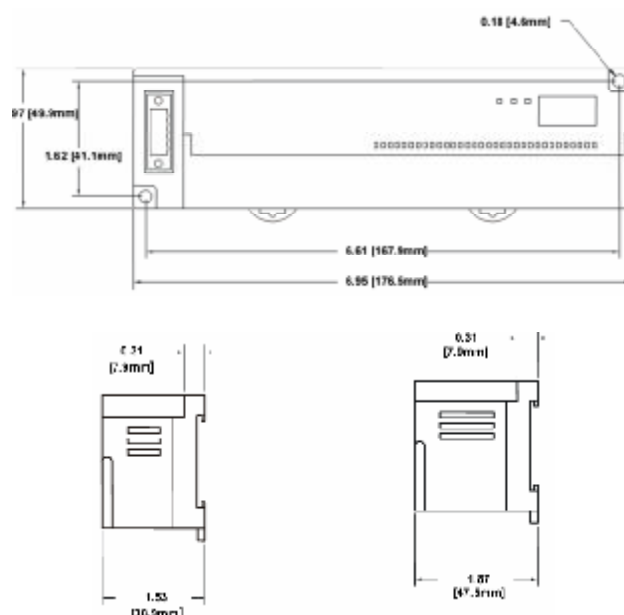
Limites en el número de registros del PLC

Como referencia se indican los límites direccionales de registros de sistema y para el usuario.

| Registro | Capacidades | Comentario |
|----------|-------------|--|
| %S | 13 | Registros de sistema 1 bit |
| %SR | 192 | Registros de sistema 16 bits |
| %T | 2048 | Bit auxiliar temporal |
| %M | 2048 | Bit auxiliar con memoria |
| %R | 9999 | Registros generales de 16 bits |
| %K | 10 | Registros con los estados de cada tecla |
| %D | 1023 | Número de pantallas programadas |
| %I | 2048 | Cantidad máxima de entradas soportadas |
| %Q | 2048 | Cantidad máxima de salidas soportadas |
| %AI | 512 | Cantidad máxima de entradas analógicas soportadas |
| %AQ | 512 | Cantidad máxima de salidas analógicas soportadas |
| %IG | 64 | Cantidad máxima de entradas globales de 1 bit |
| %QG | 64 | Cantidad máxima de salidas globales de 1 bit |
| %AIG | 32 | Cantidad máxima de entradas analógicas globales de 16 bits |
| %AQG | 32 | Cantidad máxima de salidas analógicas globales de 16 bits |

Anexo C Características de la unidad de expansión SmartStix DMQ602

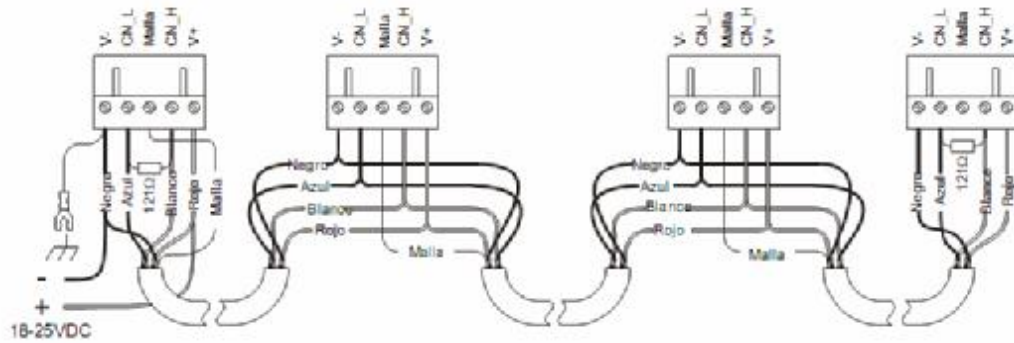
Dimensiones



Conexión en red

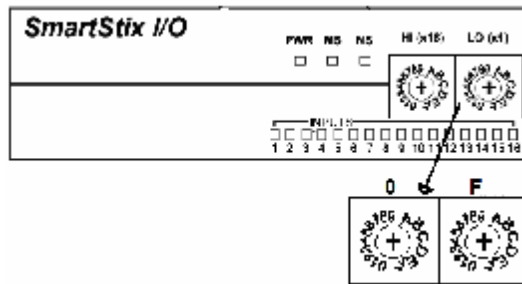
La distribución de terminales en común a todos los elementos que cuentan con el puerto de comunicación en red CsCAN

| Terminal | Color | Señal | Descripción |
|----------|--------|-------|------------------------------|
| 1 | Negro | V- | Alimentación - (0 VCD) |
| 2 | Azul | CN_L | Referencia de señal negativa |
| 3 | Malla | NC | No conectado |
| 4 | Blanco | CN_H | Referencia de señal positiva |
| 5 | Rojo | V+ | Alimentación + (24 VCD) |



Configuración física de la dirección en red.

La dirección es asignada a través de un par de selectores con indicación hexadecimal, para identificar al elemento dentro de la red.



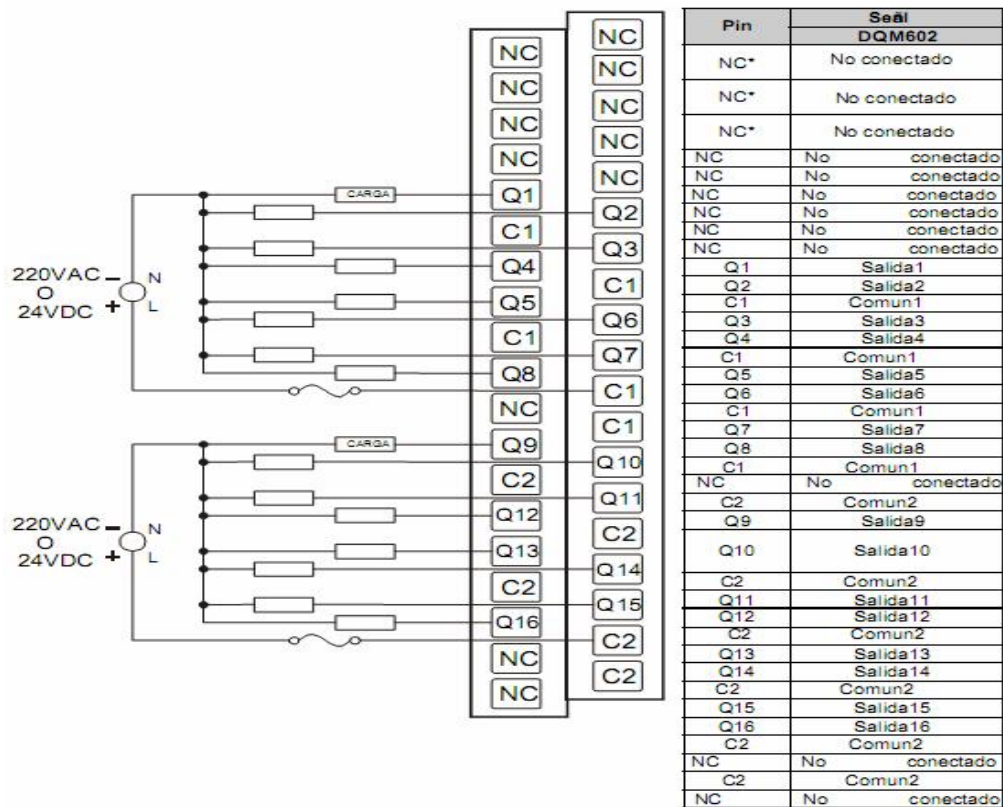
Interpretación del funcionamiento de acuerdo al color del led indicador.

| Led de diagnostico | Estado | Significado |
|--------------------------------|--------------------|---|
| MS: indica el del módulo | Rojo | Falla en la RAM o en la ROM |
| | Rojo intermitente | Falla en las I/O(entradas/salidas) |
| | Verde intermitente | Módulo en arranque |
| | Verde | Módulo en operación normal |
| NS: Indica el estado de la RED | Rojo | Falla en el reconocimiento de red |
| | Rojo intermitente | Prueba de red fallida |
| | Verde intermitente | El módulo está regresando su estado por defecto |
| | Verde | La red opera normalmente |

Características técnicas de las salidas a relevador

| Salidas a relevador del módulo DQM602 | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------------------------|
| Número de salidas | 16 | Carga mínima de voltaje/corriente | 5 VCD / 1 mA |
| Comunes | 2 | Máxima corriente en la carga (resistiva) | 2.0 A por canal y 5.0 A por común |
| Voltaje de la carga | 24 VCD, 220V CA | Respuesta de OFF a ON | 10 ms max. |
| Voltaje de alimentación | 12 a 25 VCD | Respuesta de ON a OFF | 12 ms max. |
| Consumo de corriente | 550 mA | Tipo de Salida | Normalmente abierta |

Modo de conexión de las salidas y los comunes.



Anexo D Pantalla táctil LX300

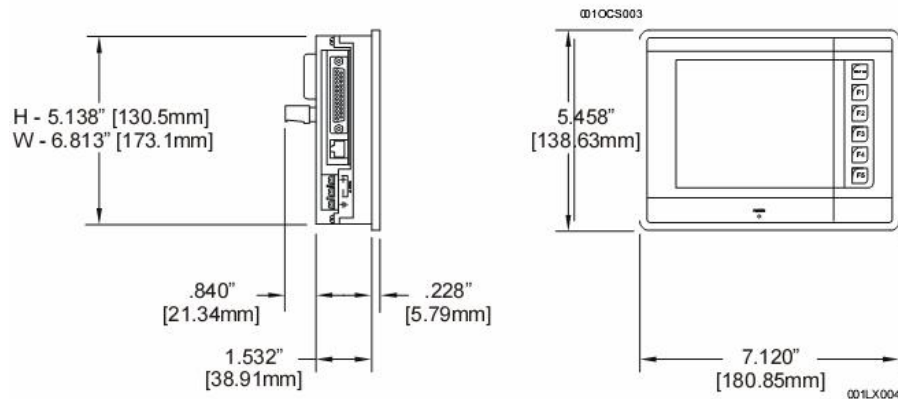
Características generales

| Función | Propiedades |
|----------------------------|---------------------|
| Red | CsCAN |
| Tipo de pantalla | 5.7" con 16 colores |
| Funciones de control | Si |
| Entradas y salidas remotas | Si con SmartStix |

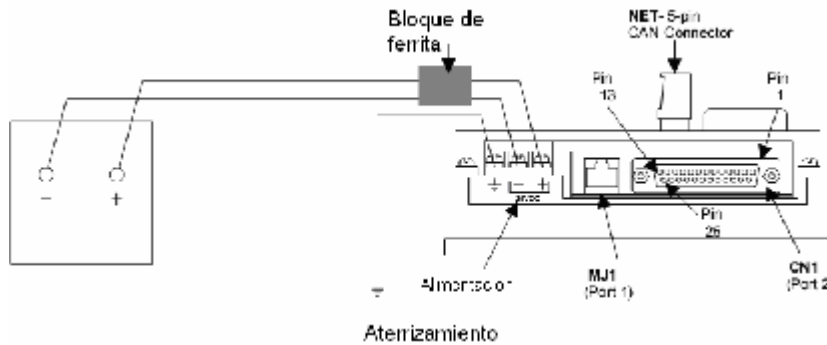
| Registro | Cantidad disponible | Tipo | Longitud En bits | Uso |
|----------|---------------------|-----------------|------------------|--|
| %S | 16 | System bit | 1 | Información general de la operación del sistema(status), |
| %SR | 192 | System Register | 16 | Información numérica de algunos parámetros del equipo (uso de memoria, segundos, minutos, número de pantalla actual, velocidad de comunicación en red, etc. etc. |
| %T | 2048 | User Register | 1 | Localidad de memoria no retentiva, para almacenar datos por parte del usuario a través de la programación del lenguaje de escalera. |
| %M | 2048 | User Register | 1 | Localidad de memoria retentiva, para almacenar datos por parte del usuario a través de la programación del lenguaje de escalera. |
| %R | 9999 | User Register | 16 | Localidad de memoria retentiva, para almacenar datos, valores, constantes, productos o resultados de operaciones, por el usuario a través de la programación del lenguaje de escalera. |
| %K | 5 | Key Register | 1 | Registro especial que está en relación directa con el estado actual de las teclas físicas ubicadas en la pantalla, es decir su valor depende si está presionada o libre la tecla correspondiente del registro. |

| | | | | |
|-----|------|---------------|----|---|
| %D | 300 | Display | 1 | Se encuentra asociada a la ventana que debe mostrarse en pantalla, de acuerdo a lo lógica del programa de control. |
| %I | 2048 | Input | 1 | Localidades de memoria asociadas con las entradas físicas de señal provenientes de módulos de expansión. |
| %Q | 2048 | Output | 1 | Localidades de memoria asociadas con las salidas físicas de señal provenientes de módulos de expansión. |
| %AI | 512 | Analog Input | 16 | Localidades de memoria asociadas con las entradas analógicas físicas de señal provenientes de módulos de expansión. |
| %AQ | 512 | Analog Output | 16 | Localidades de memoria asociadas con las salidas analógicas físicas de señal provenientes de módulos de expansión. |

Dimensiones



Alimentación y aterrizado a tierra.



Registros disponibles y su función

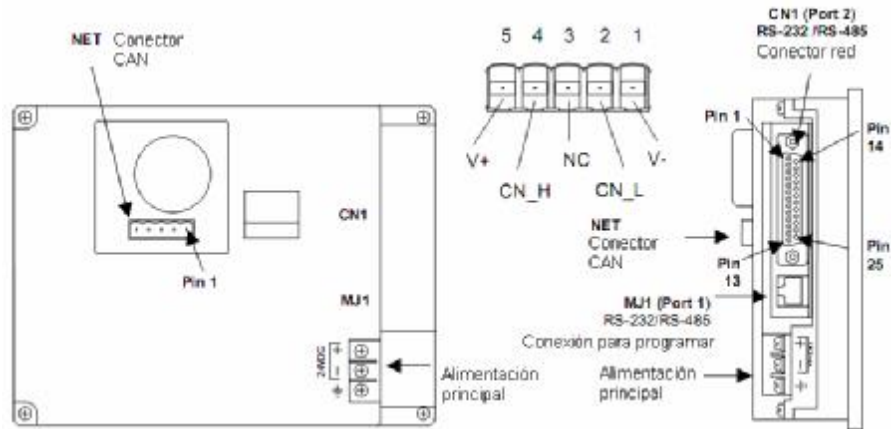
Registros binarios de sistema, para ser empleados dentro de la programación en función de estado operativo de la pantalla, sin embargo la descripción de los elementos 13 en total es la misma para el caso del PLC

| Registro | Descripción |
|----------|------------------------------------|
| %S1 | Indica el primer ciclo ejecutado |
| %S2 | Red funcionando |
| %S3 | 10mS base de tiempo |
| %S4 | 100mS base de tiempo |
| %S5 | 1 segundo base de tiempo |
| %S6 | I/O es correcto |
| %S7 | Siempre ON |
| %S8 | Siempre OFF |
| %S9 | Pausa próxima |
| %S10 | Pausa hecha |
| %S11 | I/O en estado forzado |
| %S12 | Forzado habilitado |
| %S13 | Red I/O es correcta |
| %S16 | Módulo Ethernet funcionando normal |

Registros de sistema de 16 bits o más (agrupados), con valores un numéricos referidos a parámetros de operación o información ya sea de la pantalla o del PLC puesto que tienen la misma identificación, de tal manera que algunos de ellos pueden o no estar en los equipos de acuerdo a las prestaciones específicas de cada equipo.

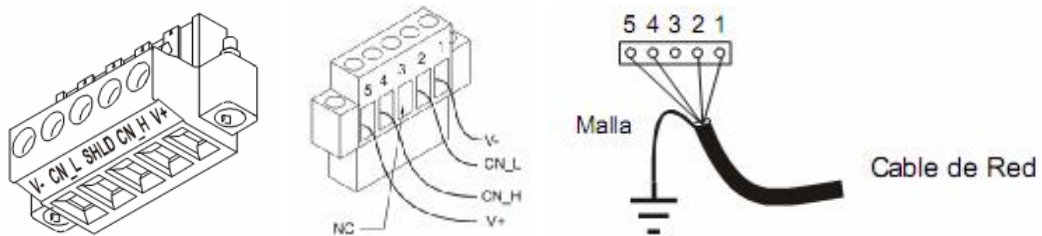
| Registros | %SR |
|--------------------|--|
| Register | Descripción |
| %SR1 | Registro que indica el número de pantalla actual, el cual también puede manipularse para hacer un salto de pantalla. |
| %SR2 | Contiene el número de la pantalla de alarma actual, el cual es posible manipular |
| %SR6 | Muestra el tiempo promedio del ciclo de barrido en el PLC, en décimas de milisegundos.. (123 = 12.3 mSec) |
| %SR44 | Muestra el valor de los segundos del reloj de tiempo real |
| %SR45 | Muestra el valor de los minutos del reloj de tiempo real |
| %SR46 | Muestra el valor de las horas en el reloj de tiempo real |
| %SR47 | Indica el día de mes del reloj de tiempo real |
| %SR48 | Indica el mes del reloj de tiempo real. 1 = enero... 12 = diciembre |
| %SR49 | Contiene los 4 dígitos del año indicado en el reloj de tiempo real |
| %SR50 | Indica el día de la semana. 1 = domingo... 7 = sábado |
| %SR56 | Indica el número de la tecla presionado en el PLC. |
| %SR57 | Controla la iluminación de la pantalla LCD. 0 = OFF, diferente de cero = ON |
| %SR175 | Estado actual de la memoria extraíble |
| %SR176 a %SR177 | Espacio libre de la tarjeta de memoria en bytes, en 32 bits |
| %SR178 a %SR179 | Muestra la capacidad total de la memoria removible en bytes. 32 bits |
| %SR181 | Este es un registro mapeado en bits, cada bit muestra si un grupo tiene una alarma no reconocida (confirmación por parte del usuario), Por ejemplo si el primer bit está en ON, existe un no reconocimiento de alarma en el grupo uno. |
| %SR182 | Este es un registro mapeado en bits. Cada bit muestra si un grupo tiene una alarma activa. Por ejemplo si el primer bite está en ON, existe una alarma activa en el grupo uno. |

Puertos de comunicación



Terminales de Conexión del conector de Red CsCAN

| Terminal | Señal | Descripción |
|----------|-------|------------------------------|
| 1 | V- | Alimentación - (0 VCD) |
| 2 | CN_L | Referencia de señal negativa |
| 3 | NC | No conectado |
| 4 | CN_H | Referencia de señal positiva |
| 5 | V+ | Alimentación + (24 VCD) |

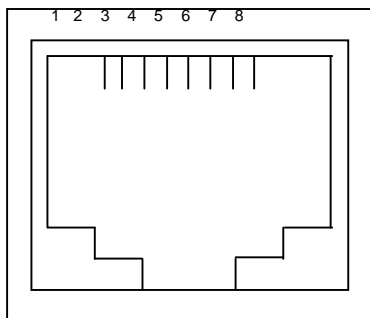


Puerto bifuncional, RS-232 t / RS-485

Descripción de la operación común realizada por el puerto MJ1 cuando se encuentra dado de alta para comunicación RS-232 o RS-485.

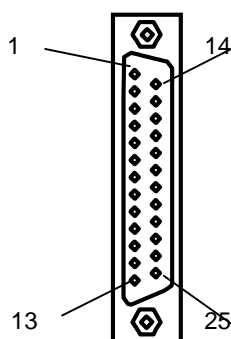
| Puertos y funciones | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Puerto empleado | | Funciones |
| RS-232 | RS-485 | |
| MJ1 (Puerto 1) | MJ1 (Puerto 1) | Programar , depurar, monitoreo, configuración Nota: El MODEM puede ser usado para realizar las mismas del puerto MJ1.) |
| MJ1 (Puerto 1) CN1 (Puerto 2) | MJ1 (Puerto 1) CN1 (Puerto 2) | Comunicación serial del programa en lógica de escalera (Ejemplos: comunicación con impresoras, códigos de barras, escáner, Modbus). |
| CN1 (Puerto 2) | CN1 (Puerto 2) | MODEM |

a. MJ1 (Puerto 1) conector modular



| MJ1 (Puerto 1) | |
|------------------------------------|-----------------|
| Puerto1 | Señal |
| Pin | |
| 1 | +SD/RD (RS-485) |
| 2 | -SD/RD (RS-485) |
| 3 | +5V |
| 4 | +5V |
| 5 | 0V |
| 6 | 0V |
| 7 | RXD (RS-232) |
| 8 | TXD (RS-232) |
| Salida de alimentación: Max. 150mA | |

b. CN1 (Puerto 2) Conector

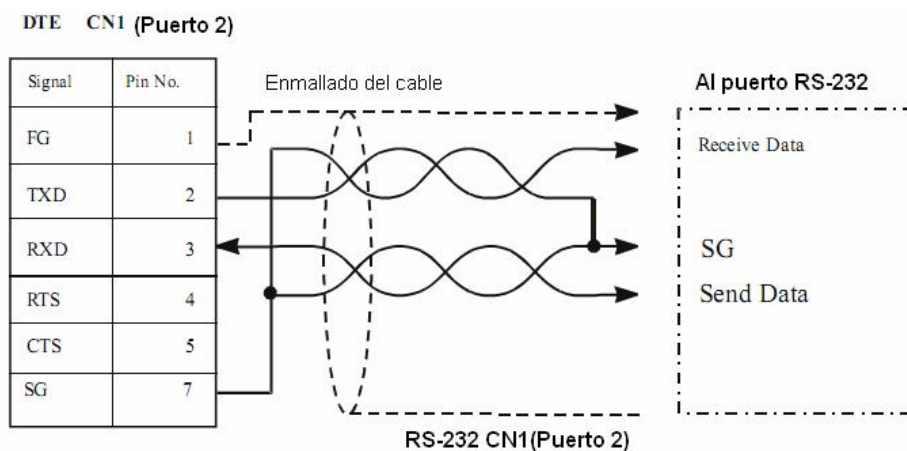


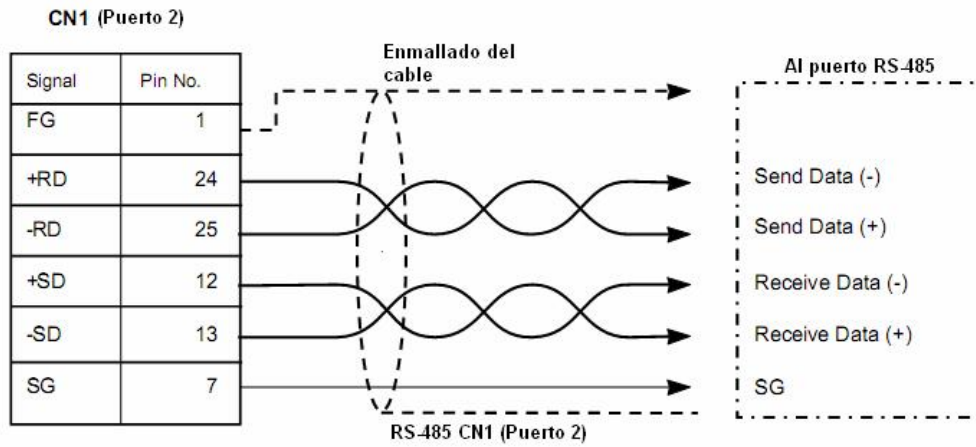
| CN1 (Puerto 2) Pins | | | |
|---------------------|--------------------|-------|---------------|
| Pin # | Señal | Pin # | Señal |
| 1 | FG | 14 | +RTS (RS-485) |
| 2 | TXD (RS-232) | 15 | No usado |
| 3 | RXD (RS-232) | 16 | No usado |
| 4 | RTS (RS-232) | 17 | -RTS (RS-485) |
| 5 | CTS (RS-232) | 18 | -CTS (RS-485) |
| 6 | No usado | 19 | +CTS (RS-485) |
| 7 | SG | 20 | No usado |
| 8 | No usado | 21 | No usado |
| 9 | +5V | 22 | No usado |
| 10 | NO CONECTAR | 23 | No usado |
| 11 | No usado | 24 | +RD (RS-485) |
| 12 | +SD (RS-485) | 25 | -RD (RS-485) |
| 13 | -SD (RS-485) | | |

RS-232 / RS-485 Conector CN1 (Puerto 2)

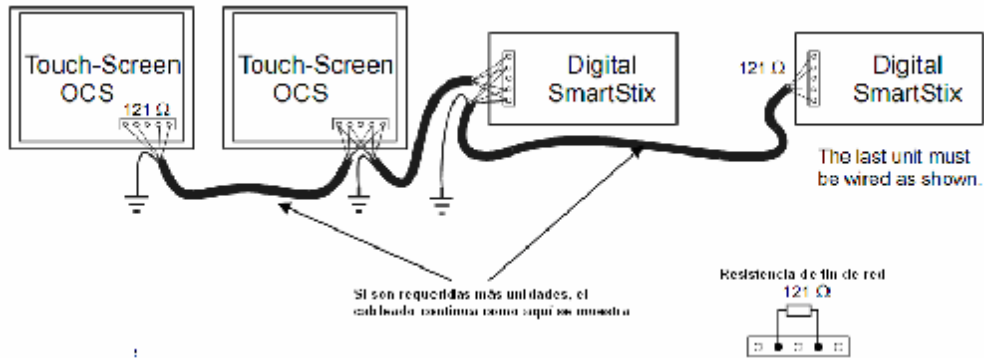
Conector RS-232 y RS-485

Indicaciones de las conexiones existentes a realizar acorde al modo de comunicación empleado



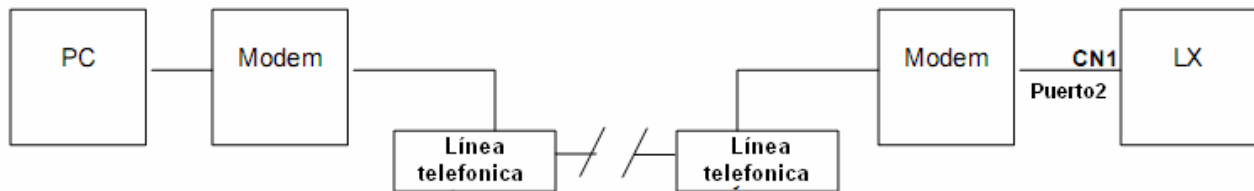


Conexión en red CsCAN



Conexión de un MODEM

Descripción general de cómo realizar la incorporación de un MODEM adicional para envío de información vía cableado telefónico.



Comunicación remota basada en un modem de computadora usando el software Cscape

Características del operación del MODEM serial.

- 9600 baudios
- 8 bit de datos
- Sin paridad
- 1 bit de parada
- Chequeo de error deshabilitado
- Compresión deshabilitada

Anexo E: Segmentos del diagrama de escalera programado

Se muestran algunos segmentos de los bloques funcionales programados, para observar los elementos de programación empleados, por la cantidad de líneas de programación sólo se colocan 3 segmentos tomados los cuales no son consecutivos en la programación.

