



Escuela de Ingeniería Electromecánica

Carrera: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

*Modelo de Control Automático para la Regulación de Demanda Eléctrica en
Sistemas Residenciales, Comerciales e Industriales.*

**Proyecto Final presentado para cumplir con los requisitos finales para la
obtención del título de Licenciatura en Mantenimiento Industrial.**

Empresa: Soluciones Industriales Electromecánicas S.A.

Estudiante:

Juan Carlos Valverde Elizondo

Cartago, junio 2016

Información del estudiante

Nombre: Juan Carlos Valverde Elizondo

Cédula: 1-1492-0092

Carné ITCR: 201033010

Dirección de residencia en época lectiva: Hacienda Vieja, Tejar del Guarco, Cartago.
100 metros este de la esquina sureste de la plaza de deportes.

Teléfono en época lectiva: 8699-7019

Email: jvjuancalo92@gmail.com

Información del proyecto

Nombre del proyecto: Modelo de Control Automático para la Regulación de Demanda Eléctrica en Sistemas Residenciales, Comerciales e Industriales.

Tipo de proyecto: Técnico.

Asesor industrial: Ing. Marcos González Miranda

Profesor asesor: Ing. Henry Jiménez A.

Horario de trabajo del estudiante: lunes a jueves de 07:00 a 16:30

Información de la empresa

Nombre: Soluciones Industriales Electromecánicas S.A.

Dirección: 200 este, 500 norte, del Restaurante Bacchus, Santa Ana, San José, Costa Rica.

Teléfono: 2203-1516

Fax: 2282-2401

Apartado: 689-10901, Santa Ana, San José, Costa Rica.

Actividad principal: Ventas, Diseño e instalación de equipos eléctricos y de automatización.

Dedicatoria

A mi Dios, quién me creó y me permitió realizar este proyecto para su gloria.

A mi Abuelo Gilberth Elizondo, por ser ese hombre cuyo ejemplo me ha enseñado
a trabajar fuerte y ser valiente.

A mi Familia, el regalo más grande que Dios me dio, que a pesar de las
dificultades estuvimos juntos y esto muestra que todo es posible para el que cree.

Agradecimientos

A Dios, quien me dio los dones para poder llevar a cabo lo realizado y que sin Él nada hubiera sido posible, gracias por tu amor y misericordia para conmigo.

Mi Papá Carlos, a pesar de que el camino puso obstáculos me dio apoyo y fortaleza para seguir adelante.

Mi Mamá Abigail, te agradezco por ser la que trabajó detrás de escenario para que esto fuera posible y no dejar de creer en el respaldo de Dios.

Mis hermanas Jessica y Nayeli, motivos por el cual lo he dado todo y que me impulsan a ser un buen hermano.

Mis compañeros y profesores de la Escuela de Electromecánica del Tecnológico de Costa Rica, gracias por el apoyo y el aprendizaje.

A Marcos Gonzales y todo el personal de SIESA, por permitirme desarrollar mi proyecto y toda la ayuda brindada durante la práctica profesional.

Contenido

Resumen Ejecutivo.....	1
Abstract	2
1 Introducción.....	3
1.1 Reseña de la empresa.....	3
1.1.1 Misión.....	3
1.1.2 Visión	4
1.2 Descripción del Proceso Productivo	4
1.3 Problema Actual	6
1.4 Importancia de la solución	7
1.5 Beneficios obtenidos con el proyecto.....	11
1.6 Metodología.....	13
1.7 Alcances y Limitaciones.....	14
1.8 Objetivos	15
1.1.1 General.....	15
1.1.2 Específicos	15
2 Marco Teórico.....	16
2.1 Términos Eléctricos	16
2.1.1 Corriente Eléctrica	16
2.1.2 Tensión Eléctrica	16
2.1.3 Energía Eléctrica	16
2.1.4 Potencia Eléctrica.....	17
2.1.5 Demanda Eléctrica	17
2.1.6 Demanda Máxima	17
2.1.6 Perfil de Carga.....	18
2.1.7 Control de demanda máxima.....	19
2.1.8 Tarifas Eléctricas	21
2.2 Automatización Industrial.....	24
2.2.1 Controladores Lógicos Programables (PLC).....	26
2.2.2 Interfaz Hombre - Máquina (HMI)	27
2.2.3 Variadores de Frecuencia.....	28
2.2.4 Controladores Digitales	29

2.2.5	Contactores	30
2.2.6	Redes de comunicación Industrial	31
2.2.7	Virtual Network Computing (VNC)	34
2.2.8	Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP)	35
2.2.9	SCADA	36
2.2.10	Código C	38
3	Desarrollo	41
3.1	Estudio del proyecto implementado en la Casa Club del Residencial.	41
3.2	Programación	43
3.2.1	Etapas del Proceso.....	43
3.2.2	Diagrama de Entradas y Salidas.....	45
3.2.3	Propuestas de mejora al sistema de control de demanda máxima	48
3.2.4	Equipos y programación	51
3.3	Mantenimiento	74
4	Implementación	77
4.1	Contexto	77
4.2	Estudio del Perfil de Carga	78
4.3	Cargas Seleccionadas.....	80
4.4	Equipos Instalados	83
4.5	Modo de Control	84
5	Análisis Financiero.....	86
5.1	Ahorro en programación	86
5.2	Ahorro en facturación	87
6	Conclusiones y Recomendaciones	92
6.1	Conclusiones	92
6.2	Recomendaciones.....	93
7	Bibliografía.....	94
8	Anexos	96

Índice de Figuras

Figura 1.1. Organigrama de la empresa.....	5
Figura 2.1. Ejemplo de Perfil de Carga	19
Figura 2.2. Ejemplo de consumo con y sin control de demanda	20
Figura 2.3. Pirámide de Automatización.....	25
Figura 2.4. Estructura de un PLC.....	26
Figura 2.5. Partes de un contactor	30
Figura 2.6. Topología de Red Bus	32
Figura 2.7. Protocolo FTP	35
Figura 2.8. Ejemplo de programación en Lenguaje C	40
Figura 3.1. Foto de Pantalla HMI anterior: Ventana de sincronización de hora	43
Figura 3.2. Diagrama de entradas y salidas del sistema.	45
Figura 3.3. Jerarquía de equipos autómatas.....	50
Figura 3.4. Diagrama de secuencia de la lógica en los equipos.....	51
Figura 3.5. HMI Kinco MT4220TE.....	52
Figura 3.6. Ventana Principal HMI	53
Figura 3.7. Ventana Contraseña del Sistema.....	54
Figura 3.8. Ventana Menú de configuración.....	54
Figura 3.9. Ventana Días de Funcionamiento	55
Figura 3.10. Ventana Días de funcionamiento	56
Figura 3.11. Ventana Establecimiento del Set Point.....	56
Figura 3.12. Ventana Configuración de VNC Viewer.....	57
Figura 3.13. Ventana Configuración de Días feriados	58
Figura 3.14. Ventana Configuración de parámetros de red	58
Figura 3.15. Ventana Selección del tipo de cargas	59
Figura 3.16. Ventana Configuración de carga discreta en modo de control demanda.....	59
Figura 3.17. Ventana de configuración de carga discreta en modo de control manual....	60
Figura 3.18. Ventana de configuración de horarios en modo de control manual	61
Figura 3.19. Ventana Configuración de variador de frecuencia.....	62
Figura 3.20. Ventana Generación de Reportes	63
Figura 3.21. Ventana de generación de reporte	63
Figura 3.22. Ventana de supervisión del sistema.....	64
Figura 3.23. Ventana de supervisión de cargas	64
Figura 3.24. Macro de detección de días	66
Figura 3.25. Macro Horarios	66
Figura 3.26. Macro de Asignación de direcciones.....	68
Figura 3.27. Diagrama de flujo de la macro administración de cargas	69
Figura 3.28. PLC Delta DVP-14SS2	70
Figura 3.29. Programación de bloque para cada carga.....	71
Figura 3.30. Medidor Archmeter PA330	72
Figura 3.31. Diagrama de conexión de comunicaciones Modbus y TCP/IP	74
Figura 4.1. Tablero 1.....	82
Figura 4.2. Tablero 2.....	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1.1.1. Fuentes de Energía Eléctrica utilizadas a nivel mundial en 2015.....	9
Gráfico 1.1.2. Fuentes de Energía Eléctrica utilizadas en Costa Rica en 2015	10
Gráfico 4.1. Histórico de Demanda Casa Club.....	79
Gráfico 4.2. Histórico de Energía Casa Club.....	79
Gráfico 5.1. Ahorro Generado en Energía de la Casa Club.....	88

Índice de Tablas

Tabla 2.2.1. Tipos de Datos en Lenguaje C	39
Tabla 3.1. Especificaciones PLC DVP14SS2.....	70
Tabla 4.3. Cargas administradas en la Casa Club	80
Tabla 4.4. Datos de demanda de cargas principales.....	80
Tabla 4.5. Distribución de cargas para los PLC.	81
Tabla 4.6. Equipos instalados en la casa club.....	83
Tabla 4.7. Horarios Punta Establecidos.	85
Tabla 5.1. Distribución de la factura eléctrica antes de control de demanda	88
Tabla 5.2. Distribución de la factura con el control de demanda	90
Tabla 5.3. Flujo neto de efectivo para el proyecto con tasa de interés	90
Tabla A8.1. Tabla de facturación de la CNFL para servicios comerciales e industriales ..	96

Resumen Ejecutivo

En Soluciones Industriales Electromecánicas S.A, como parte de sus proyectos en el área de automatización, han desarrollado múltiples trabajos enfocados en ahorro energético y que han cumplido con su función de manera satisfactoria. Uno de sus proyectos en la agenda actual, es la de los controladores de demanda eléctrica para ser aplicados en sistemas donde el cobro en la facturación eléctrica incluya el rubro de demanda máxima consumida en periodos establecidos de acuerdo con los horarios críticos de consumo.

Debido a la gran importancia que tiene este tipo de sistemas en el ahorro, es primordial contar con un producto acabado que se pueda ofrecer al público y con el cual se pueda competir en el actual mercado del ahorro energético y de la automatización.

Por las anteriores razones, el proyecto es enfocado en la creación de un modelo de controlador de demanda eléctrica máxima, donde exista una base del proyecto en cuanto al equipo a utilizar, las programaciones respectivas y que solamente se requiera de pequeños ajustes para cada escenario posible, dependiendo de la cantidad de equipos por controlar y las características de estos.

Al ser un modelo, la principal meta que se persigue es que en cada instalación se tengan que realizar la menor cantidad de cambios posibles en la programación de los equipos, por ello, se emplea una fuerte programación en el equipo principal para que, a través de una pantalla de interfaz con el usuario, puedan ser ingresados los datos correspondientes con la configuración. En cuanto a la conexión de los equipos y del sistema en general se ofrece un manual que sirve de guía para que exista una estandarización del producto.

Al final el producto es instalado para controlar la demanda máxima en la casa club de un residencial ubicado en la capital, comprobando su funcionalidad.

Palabras Claves: Demanda Eléctrica; Automatización; Ahorro Energético.

Abstract

In Soluciones Industriales Electromecánicas S.A, as part of their projects in the area of automation, have developed multiple works focused on energy savings and who have fulfilled their function in a satisfactory manner. One of its projects on the current agenda, is the drivers of demand for electricity to be applied on systems where electric billing collection include the category of maximum demand consumed in periods established in accordance with the critical hours of consumption.

Because of the great importance which has such systems in saving, is essential to having a finished product that can be offered to the public and with which to compete in the current market of energy saving and automation.

For the above reasons, the project is focused on the creation of a maximum power demand controller model, where there is a basis of the project in terms of the equipment to be used, the respective programming and requiring only small adjustments for each possible scenario, depending on the amount of equipment to control and characteristics of these.

To be a model, the main finish pursued is that at each facility they have to make the fewest possible changes to the programming of equipment, therefore used a strong programming in the main equipment so that, through a screen of the user interface, can be entered with the configuration data. As for the connection of equipment and system in general is a manual that provides guidance so that there is a standardization of the product.

To the end product is installed to control the maximum demand in the Club House of a residential located in the capital, checking its functionality.

Key words: electricity demand; Automation; Energy saving.

1 Introducción

1.1 Reseña de la empresa

Siesa es una empresa fundada a partir de la iniciativa de ofrecer en el país soluciones integrales para los proyectos electromecánicos que surgen por las necesidades de las diferentes industrias e instituciones. Desde su fundación en 1995 ha contribuido en el desarrollo y evolución de empresas estatales, comerciales, alimenticias, agrícolas e industriales con el aporte de materiales, servicios y proyectos. Con el tiempo, en el mercado, en la venta y distribución de materiales y equipos eléctricos, componentes de automatización industrial, así como también en la ejecución de proyectos, se consolidó como una de las empresas líderes en la automatización de procesos industriales y comerciales, proyectos de transmisión de potencia en baja tensión, calidad de energía, ahorro energético, energías alternativas, entre otros; todo esto de la mano con el crecimiento del personal de mano de obra especializada y conocimiento ingenieril calificado. Ha establecido alianzas de cooperación técnica e integración de soluciones tecnológicas con prestigiosas empresas del área eléctrica como: Schneider Electric y Siemens. Es representante de CS Elettroesport, Milano Italia, por lo cual posee un servicio de importación, equipo eléctrico y mecánico europeo.

1.1.1 Misión

Ofrecer a la industria soluciones integrales en el área electromecánica mediante el suministro de materiales eléctricos y mecánicos; integrados con el conocimiento técnico y la experiencia profesional para brindar servicios especializados y desarrollar proyectos según las necesidades y oportunidades de mejora en los procesos industriales y actividades de servicio o comerciales del sector productivo.

1.1.2 Visión

Nuestra filosofía de mejoramiento continuo nos motiva a buscar nuevas tecnologías y productos para ofrecer a nuestros clientes soluciones y oportunidades de mejora a costos razonables; para optimizar la productividad y calidad de sus servicios y productos.

1.2 Descripción del Proceso Productivo

a) Departamento de Ingeniería y Proyectos

Este departamento está conformado por el Gerente de proyectos junto con el personal ingenieril y técnico. Son los encargados de la realización de cada uno de los proyectos, en los cuales participa la empresa, por lo tanto, son los responsables del diseño, programación, implementación y monitoreo de los trabajos contratados.

b) Departamento Financiero

Conformado por el respectivo gerente y el encargado de la contabilidad de la empresa, a él se une en ayuda para soporte técnico del sistema el encargado del soporte en computación.

c) Departamento Administrativo

Este departamento incluye al gerente administrativo junto con cuatro secciones de este departamento, las cuales son: Ventas, Bodega, Proveeduría y Servicios generales. Todos trabajan en conjunto para brindar un buen servicio al cliente, esto iniciando con la atención por parte del personal de ventas quienes atienden solicitudes de productos, así como de proyectos, en Bodega brindan los productos que necesita el cliente o el departamento de Ingeniería, por su parte, Proveeduría se encarga de suministrar a la empresa lo necesario para brindar un servicio eficiente, así como Servicios Generales ofrece un correcto mantenimiento de las instalaciones.

El organigrama que representa esta estructura es el siguiente:

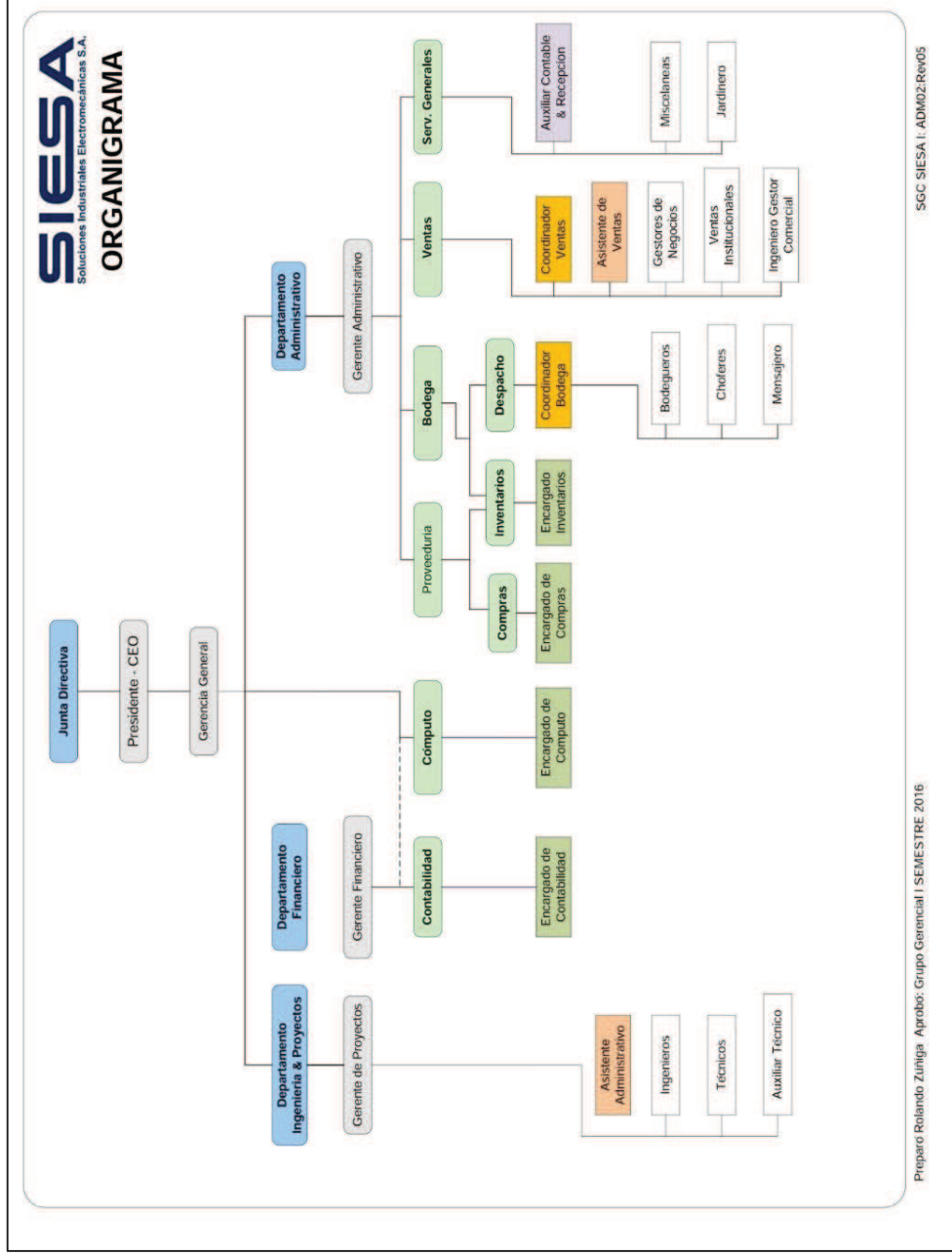


Figura 1.1. Organigrama de la empresa.
(Fuente: SIESA)

1.3 Problema Actual

Los cobros por demanda máxima a los que tienen que responder muchos clientes de las empresas suministradoras de energía representan un monto realmente considerable, en muchos casos representa de un 25% a un 35% de la respectiva facturación y lo más preocupante es que muchos de ellos no saben que ese monto puede ser reducido a un porcentaje menor si se tiene un control de las cargas durante los horarios en donde el pago de esta demanda máxima es mayor.

Existen diversas alternativas de control, dentro de ellas está el monitoreo automático de cargas que no influyen directamente en la producción de una industria, sistemas de operación en residenciales, así como iluminación y aire acondicionado en edificios. Esto provee una forma de llevar a cabo reducciones importantes en la facturación eléctrica.

Soluciones Industriales Electromecánicas S.A, ha llevado a cabo proyectos enfocados en el ahorro energético, dentro de ellos plantea la necesidad de desarrollar un modelo de control de demanda, con el objetivo de estar dispuesto para cualquier necesidad que se presente con respecto al control de cargas, que pueden ser administradas durante los periodos punta.

A la vez, como parte de la implementación del modelo desarrollado, se desea mejorar el sistema de control de demanda que fue instalado en la Casa Club del Residencial en Santa Ana, el cual presentó algunos puntos débiles en cuanto a la forma en que se realizó la programación y que por supuesto se desea mejorar.

Este proyecto pretendía controlar la demanda en horarios punta, ya que la compañía suministradora de energía eléctrica pone a disposición de los clientes una tarifa promocional, donde si se logra una reducción de un 80% en la demanda en horarios punta con respecto a los demás periodos, entonces el cobro de demanda será el que se presente únicamente en horarios punta. Por lo tanto, la idea del proyecto es regular la utilización de los equipos de mayor demanda durante el período punta, para lograr así el ahorro deseado.

1.4 Importancia de la solución

Con el inicio de la revolución industrial entre la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, se inicia un proceso de consumo de los recursos naturales más acelerado que en los años anteriores. No se puede afirmar a ciencia cierta si desde el inicio se pensó en el ahorro de estos, pero desde que se empezó a notar una escases de los productos naturales de consumo industrial, se empezaron a gestar algunas alternativas para tener siempre a disposición lo requerido sin faltarle el respeto al ambiente.

En la agenda actual del creciente desarrollo tecnológico, el uso óptimo de los recursos naturales comprende uno de sus primeros puntos, es por ello que dentro de las consideraciones que deben tomar a la hora de planificar el desarrollo; debe ser utilizar cada recurso de manera eficiente y así cooperar con el ahorro que se propone desde las altas esferas globales.

Este tema no es reciente, la preocupación por el uso correcto de los recursos naturales con los que cuenta el país ha sido tema de discusión en la Asamblea Legislativa desde hace muchos años atrás, es por ello que en 1994 se formula la ley 7447 sobre el uso racional de la energía, siendo en ese entonces el Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), actualmente Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el encargado de coordinar, aplicar, supervisar y fiscalizar el programa nacional del uso racional de la energía.

En el artículo 6 de dicha ley se encuentra lo siguiente:

“La Ley 7447 autoriza expresamente a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (RECOPE), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y a la Junta Administradora de los Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC) para suministrar al MINAE, cuando la solicite, información certificada de los clientes que hayan excedido los límites de consumo energético mencionados en este capítulo, con el propósito de cumplir con lo dispuesto en el capítulo II de la Ley 7447, según los procedimientos indicados en este reglamento.”

A pesar de que la ley exige y ordena a las compañías eléctricas velar por el correcto consumo de la energía, en especial en el sector industrial, por ser el que posee las mayores demandas, es responsabilidad de cualquier ciudadano, velar por el correcto consumo de la energía, por ello implementar sistemas que regulen la demanda de energía eléctrica es de vital importancia.

Actualmente estamos familiarizados con el uso de la energía eléctrica, en nuestros hogares utilizamos la electricidad para la mayoría de nuestras necesidades cotidianas, por ejemplo cocinar, bañarse, iluminación, electrodomésticos y la lista podría continuar con una gran variedad de aplicaciones; en la industria la energía eléctrica es un elemento indispensable, hasta se podría decir que es parte de la materia prima de un proceso industrial, la mayoría de las máquinas que se emplean utilizan la electricidad para funcionar y para monitorear su rendimiento.

A pesar de ser un tema que pareciera fácil de comprender, cuando a los clientes les llega la facturación del cobro eléctrico, en especial en el área comercial e industrial, muchos no conocen lo que realmente están pagando, por lo tanto, es difícil tomar medidas para eliminar gastos que se puedan reducir y es aquí donde las compañías que brindan el servicio eléctrico deben de hacerse cargo de informar a sus clientes de los puntos que deben de minimizar e indicar posibles formas de cómo hacerlo.

A nivel mundial, el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica representa un gran porcentaje, esto es preocupante y es donde ideas para el ahorro energético deberían salir a flote, según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, International Energy Agency, por sus siglas en inglés), en el año 2015, el consumo de combustibles fósiles a nivel mundial representó un 60,3% del total de las fuentes que se utilizaron para la generación de energía eléctrica, como se observa en el gráfico 1.

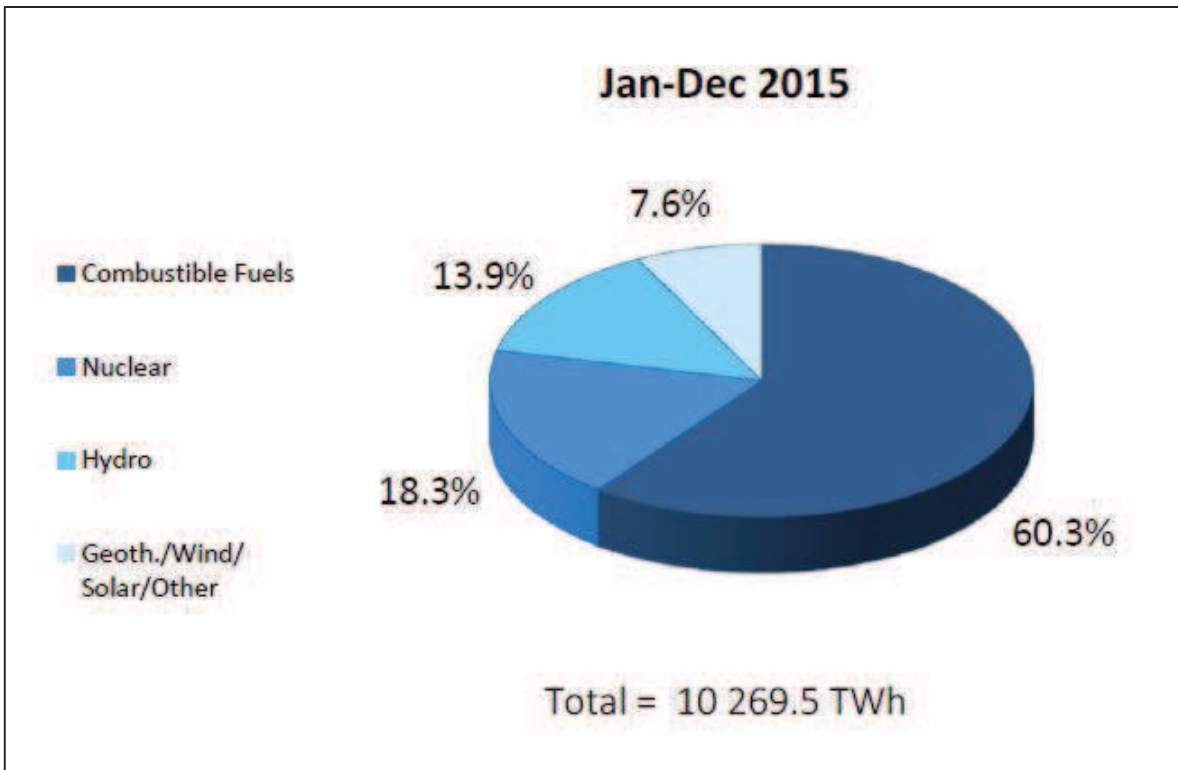


Gráfico 1.1.1. Fuentes de Energía Eléctrica utilizadas a nivel mundial en 2015
(Fuente: <http://www.iea.org/statistics/>)

Como parte positiva, en nuestro país, por su ubicación geográfica y su clima, es muy favorable el uso de energía renovable, en especial el recurso hídrico. Datos proveídos por el Centro de Control de Energía (CENCE), muestran como en el año 2015 nuestro país utilizó solo un 1% de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica del total de los recursos disponibles, esto se demuestra en el gráfico 2 obtenido del reporte anual de dicha institución.

A pesar de la gran dicha que tiene nuestro país de ofrecer estas estadísticas, no por ello se tiene que abusar del consumo de la energía eléctrica, es importante mejorar cada día e innovar con alternativas para el ahorro de lo que utilizamos tanto a diario.

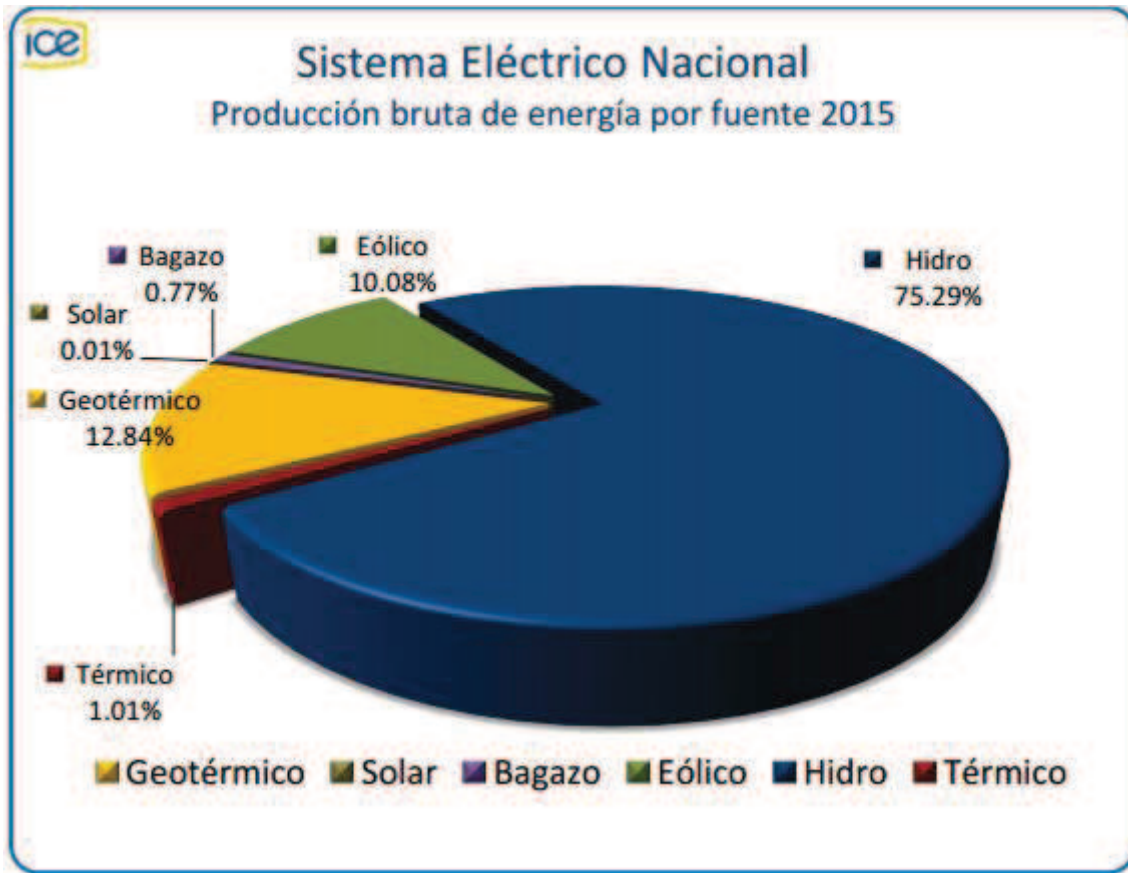


Gráfico 1.1.2. Fuentes de Energía Eléctrica utilizadas en Costa Rica en 2015
(Fuente: Reporte Anual 2015 CENCE)

Empresas como Soluciones Industriales Electromecánicas S.A. han comprendido el compromiso de cooperar con el desarrollo de técnicas para el uso óptimo de los recursos con los que cuenta el país para la generación de electricidad, por ello se han dado a la tarea de diseñar un sistema automático que regule la demanda eléctrica que se consume en instalaciones residenciales, comerciales e industriales en periodos de alta demanda, donde un monitoreo en tiempo real del consumo de potencia junto con un valor de demanda predeterminado como límite, proveen de las pautas para gestionar un control de las cargas que mediante un estudio del perfil de carga previo, se designaron para efectuar dicho control.

Nuestra responsabilidad en el uso de los recursos naturales debe ser no por la falta de uno de ellos, sino por el cuidado de un recurso que en un futuro puede faltar. Debemos ser conscientes del cuidado de la naturaleza.

1.5 Beneficios obtenidos con el proyecto.

Los beneficios del proyecto se enfocan en dos aspectos, el primero y quizás más urgente es el de lograr un ahorro para la empresa en la implementación de este tipo de proyectos y el segundo aspecto es el del ahorro energético y económico por parte de los usuarios. Cada aspecto se desarrolla a continuación.

Beneficios del modelo:

⇒ Ahorro en el tiempo de programación de futuros proyectos.

Una mejora en la competitividad del mercado actual de la automatización, lleva a la necesidad de generar productos con excelente calidad y funcionalidad, pero que puedan ser puestos en marcha con una rapidez considerable, por lo tanto, es crucial generar modelos de los proyectos que son de gran demanda por parte de los clientes y así poder tener a disposición de cualquier necesidad soluciones rápidas y confiables.

Beneficios del producto:

⇒ Disminución del monto a pagar en la facturación Eléctrica.

Esto conlleva ahorro en el monto que se paga mensualmente por parte del usuario, reduciendo los gastos en operación, producción y mantenimiento. Este ahorro se convierte directamente en utilidades para la empresa, cuando se tienen ahorros significativos en la factura eléctrica, manteniendo la misma producción, el costo por unidad producida es menor y por ende el precio en el mercado puede ser inferior para propiciar mayores ventas e incrementar así la producción. En usuarios que no ven su ganancia en producción, como en el caso de residenciales, el ahorro significa oportunidades de invertir en mejoras y a la vez ahorros en la economía personal.

⇒ Cumplimiento con la ley 7447 “Uso Racional de la Energía”

Esta ley aplica sólo para grandes consumidores y con respecto a la reducción de los índices energéticos estable que:

“El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) establecerá un programa gradual obligatorio, de uso racional de la energía, destinado a las empresas privadas con consumos anuales de energía mayores a 240000 kilovatios-hora de electricidad, 360000 litros de derivados de petróleo o un consumo total de energía equivalente a doce terajulios.

Con base en la información recibida de las declaraciones juradas, el MINAE obtendrá el índice específico de la empresa, calculado como el cociente entre el monto pagado por consumo anual de energía y el valor agregado neto al producto final, expresados ambos en colones.

El MINAE procederá a clasificar las diferentes empresas de acuerdo con su principal actividad económica. Esto en razón de poder establecer comparaciones entre empresas que elaboren productos o brinden servicios similares, por lo que la utilización de la energía pueda ser comparada con estándares de eficiencia energética. Estos estándares pueden ser fijados con base en información internacional tomando en cuenta índices de industrias nacionales o de ambas fuentes en forma conjunta.

Los infractores a esta ley quedarán expuestos a las sanciones establecidas.”

La Gaceta, 13 diciembre 1994

1.6 Metodología

Primera Etapa:

El primer paso es hacer un estudio profundo de los proyectos anteriormente desarrollados por la empresa, buscando lo que se puede simplificar o lo que debe de afinarse más, también la documentación del equipo que fue empleado para verificar si este es apto para realizar el modelo o si se requiere de la implementación de otro que pueda satisfacer cualquier proyecto que se realice.

Segunda Etapa:

En esta etapa se requiere de un estudio de los tipos de facturación que ofrecen las diferentes compañías eléctricas y analizar aspectos como lo son los horarios de los diferentes periodos a lo largo de día, los días de cobro y por supuesto sus tarifas. Es necesario el estudio de los diferentes escenarios donde puede ser instalado el sistema para preparar la mayor cantidad de aspectos por incluir dentro del desarrollo del proyecto, para que el sistema se ajuste a cualquier necesidad del cliente.

Tercera Etapa:

Esta etapa es la más extensa, aquí es donde se realiza el diseño del sistema de control de demanda, se debe de establecer el equipo necesario, la programación lógica y se debe de integrar toda la información que se recolectó de las dos etapas anteriores para tener el equipo que va ser instalado en cada uno de los proyectos.

Cuarta Etapa:

Al ser un sistema que se tiene que adaptar a cierta necesidad, ya sea un edificio de oficinas, una industria o un residencial, se debe de realizar un manual para que los técnicos que vayan a instalar el equipo puedan realizar la configuración de manera rápida y sencilla, donde puedan ajustar el sistema al tamaño, zona, sistema de guía para la administración de las cargas, etc. Además, es necesario

que exista un manual para la operación, por parte del usuario, para su correcta manipulación.

1.7 Alcances y Limitaciones

El proyecto proveerá de un producto terminado que podrá ser puesto a disposición del departamento de Ingeniería para su futura implementación en proyectos que requieran el control de demanda, esto llevará al ahorro considerable de las horas de programación y a la vez ofrecerá una guía de cómo proceder para la configuración del sistema y llevar a cabo el proyecto desde el inicio hasta el fin de una manera ordenada.

A la vez se ofrecerá una mejora en la programación del sistema que se encuentra instalado en la Casa Club del Residencial, ofreciendo un sistema confiable y rentable, esto a través de opciones de mejora, donde el mantenimiento del sistema pueda realizarse de una manera fácil mediante técnicas de monitoreo remoto, permitiendo así intervenir el sistema desde la propia empresa para configuraciones o toma de datos.

El proyecto plantea la necesidad de no solo crear un sistema que se encargue de apagar o encender cargas para el control de demanda en un horario, sino, la tarea de administrar esas cargas en un periodo de tiempo, mantener en el sistema la mayor cantidad de cargas que se puedan y que presenten la mayor prioridad para un proceso productivo.

Es por todo lo anterior que se requiere implementar técnicas de programación nuevas e innovadoras y que prometan estabilidad del producto para la competencia en el mercado de las opciones de ahorro energético.

1.8 Objetivos

1.1.1 General

- Diseñar el modelo de control eléctrico de un sistema de regulación de demanda eléctrica máxima para sistemas eléctricos residenciales, comerciales e industriales.

1.1.2 Específicos

- Estudiar las diferentes tarifas eléctricas que ponen a disposición cada una de las compañías suministradoras de energía eléctrica.
- Documentar la información necesaria de los trabajos realizados anteriormente por la empresa, en relación con el tema en estudio.
- Visitar proyectos implementados en diferentes empresas para la toma de acciones de mejora.
- Realizar un estudio detallado de la lógica empleada anteriormente para identificar puntos de mejora.
- Implementar las acciones de mejora en la lógica del sistema.
- Seleccionar con base en la lógica y requerimientos del modelo, el equipo a utilizar.
- Estudiar el equipo a utilizar, su instalación y programación.
- Programar los equipos a utilizar en el modelo de control.
- Realizar un informe sobre el modelo realizado.
- Proveer de una guía de instalación, utilización y monitoreo del sistema.
- Implementar el nuevo modelo en la Casa Club de un Residencial.

2 Marco Teórico

2.1 Términos Eléctricos

2.1.1 Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica corresponde al movimiento de electrones o cargas eléctricas por un conductor eléctrico. Mayores valores de corriente significan una mayor cantidad de electrones que fluyen por una superficie o área determinada por segundo. Su unidad es el Ampere (A).

2.1.2 Tensión Eléctrica

Para que la corriente eléctrica pueda fluir, debe existir un medio físico por el cual se moverán los electrones, pero, además, debe existir una fuerza externa que proporciona esa energía mínima para lograr su movimiento. Esta fuerza externa o presión que permite el flujo de electrones en un conductor es la tensión y se puede obtener de baterías, sistemas fotovoltaicos o eólicos, o de una empresa distribuidora. Comúnmente llamada Voltaje, cuya unidad es el Volt (V).

La tensión depende exclusivamente de la empresa distribuidora y los valores nominales disponibles para uso directo de equipos son 120 V, 208 V, 240 V, 227 V ó 480 V. Aparte de estos valores se encuentran los de transmisión de alta potencia, que por supuesto son valores mayores.

2.1.3 Energía Eléctrica

Es la capacidad de realizar un trabajo específico, por lo tanto, la energía eléctrica está relacionada directamente con la producción y con las horas de operación de las máquinas de una empresa o los equipos eléctricos en una residencia. La energía utilizada para realizar un trabajo cualquiera, se mide en joule y se representa con la letra J. En electricidad se representa como la potencia requerida por un tiempo determinado, lo que lleva a expresarse en kW/h.

2.1.4 Potencia Eléctrica

Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/s) y se representa con la letra P.

Un J/s equivale a 1 watt (W), por tanto, cuando se consume 1 joule de potencia en un segundo, estamos gastando o consumiendo 1 watt de energía eléctrica. La unidad de medida de la potencia eléctrica P es el watt, y se representa con la letra W o kW para cantidades grandes.

2.1.5 Demanda Eléctrica

Valor de la potencia eléctrica requerida por una instalación eléctrica, elemento de red o dispositivo eléctrico en un instante dado.

La demanda eléctrica se determina a partir del consumo de energía de un equipo o máquina y equivale al valor promedio de potencia eléctrica en un intervalo de tiempo. Para calcularla se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Energía (kWh)}}{\text{Intervalo (h)}} \quad (1)$$

2.1.6 Demanda Máxima

En el caso de Costa Rica, la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) es la encargada de establecer las pautas en la facturación del servicio eléctrico por parte de las compañías eléctricas, mediante la Norma de Uso, Funcionamiento y Control de Contadores de Energía Eléctrica (AR-DTCON), del 21 de diciembre del 2001, publicada en La Gaceta No. 5 del 8 de enero 2002, la cual establece en la página 58 que:

“Para los servicios en los que las empresas eléctricas facturan, además de la energía consumida, la potencia, la demanda a facturar será la máxima que se

registre en un intervalo de integración de quince minutos (15), durante el período a facturar.”

Por lo tanto, así, la demanda de un equipo eléctrico corresponde a su potencia promedio en un intervalo de 15 minutos. Los medidores eléctricos toman lecturas cada 15 minutos, es decir, que en una hora hay 4 valores y en 24 horas, 96 valores de demanda.

En un mes de 30 días, por lo tanto, hay 2,880 valores de demanda. Para efectos de facturación, el medidor guarda en su memoria interna el valor máximo de demanda registrada entre todos estos 2,880 valores a lo largo del mes. La demanda máxima se factura a partir de los consumos superiores a los 3,000 kWh.

2.1.6 Perfil de Carga

Los medidores eléctricos registran el consumo de energía de los clientes y en forma indirecta, determinan la demanda de cada cliente cada 15 minutos. Algunos medidores tienen la capacidad de almacenar hasta 3 meses de datos de demanda en su memoria interna, permitiendo conocer el comportamiento de la demanda.

Este comportamiento se conoce como curva o perfil de carga y es muy útil para determinar anomalías en el consumo de energía esperado de un equipo o sistema específico, a partir del consumo total de un inmueble. Para efectos de ahorro, sirve para establecer los parámetros con los cuales se determinará el monto ahorrado.

El estudio de un perfil de carga se puede obtener para un día en específico y así determinar el comportamiento de la demanda en los diferentes horarios del día. Además, se puede obtener un comportamiento de la demanda máxima registrada durante un periodo de tiempo en meses o años para las aplicaciones de control.

En el caso de los estudios de perfil diarios es importante la instalación de medidores de energía consumida que permitan la monitorización de la demanda y si fuera el caso que provean de un gráfico de tal estudio, asimismo para el caso de los estudios mensuales o anuales es necesario un historial, que igualmente puede

obtenerse de un medidor o de la consulta de las anteriores facturaciones por parte de la compañía eléctrica.

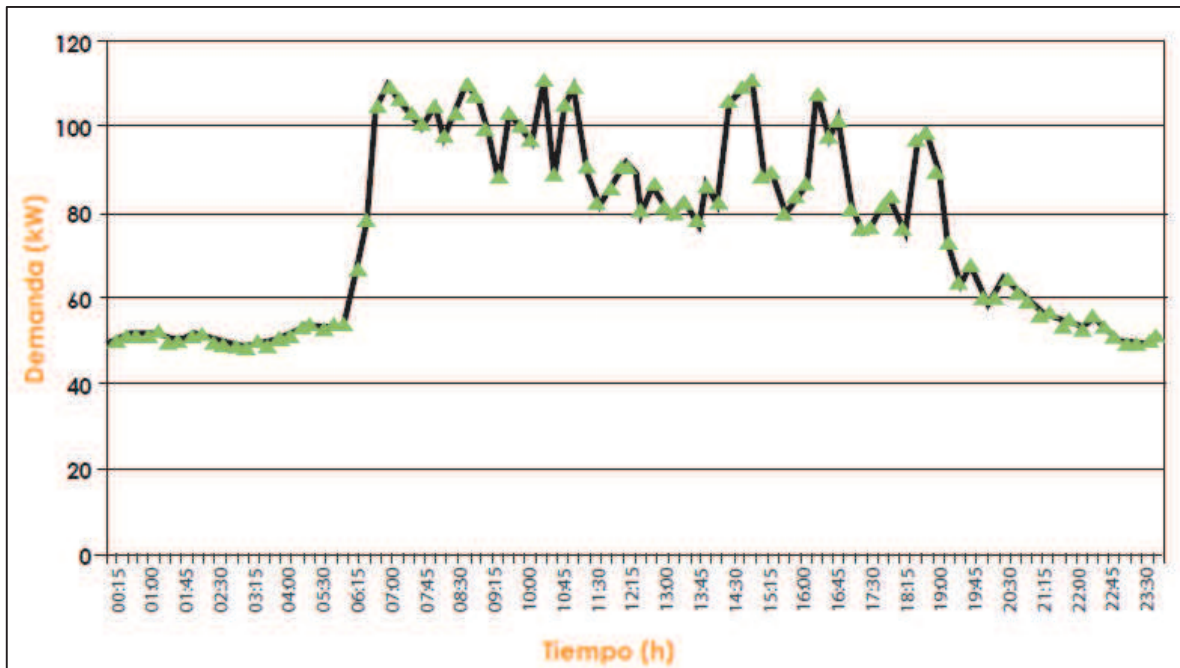


Figura 2.1. Ejemplo de Perfil de Carga
(Fuente: <https://www.cnfl.go.cr/index.php/glosario-de-terminos-y-definiciones-os>)

2.1.7 Control de demanda máxima

El control y administración de la demanda, son todas las actividades, encaminadas a optimizar el uso de la capacidad del equipo instalado, tanto de los usuarios como de los suministradores de energía eléctrica, que consiste en reducir o controlar la demanda en kW durante un período de tiempo, optimizando la operación de los equipos eléctricos sin afectar el proceso de producción o el confort de las actividades diarias.

Administrar las cargas no es consumir menos energía, se trata de hacer un uso más eficiente y efectivo de la potencia que se demanda. Sin embargo, en el proceso de análisis, para controlar las cargas se encontrarán innumerables vicios ocultos, que podrán ser evaluados por los expertos de cada proceso para

erradicarlos y de esta manera reducir significativamente el uso de energía eléctrica.

La siguiente imagen muestra la idea que persigue el control de demanda, la cual es controlar la demanda durante las horas donde la facturación es mayor y así reducir los altos montos en la factura eléctrica y como se indicó anteriormente, no es apagar cargas sin ningún sentido, si no saber cuáles y en qué momento es oportuno utilizar cada carga.

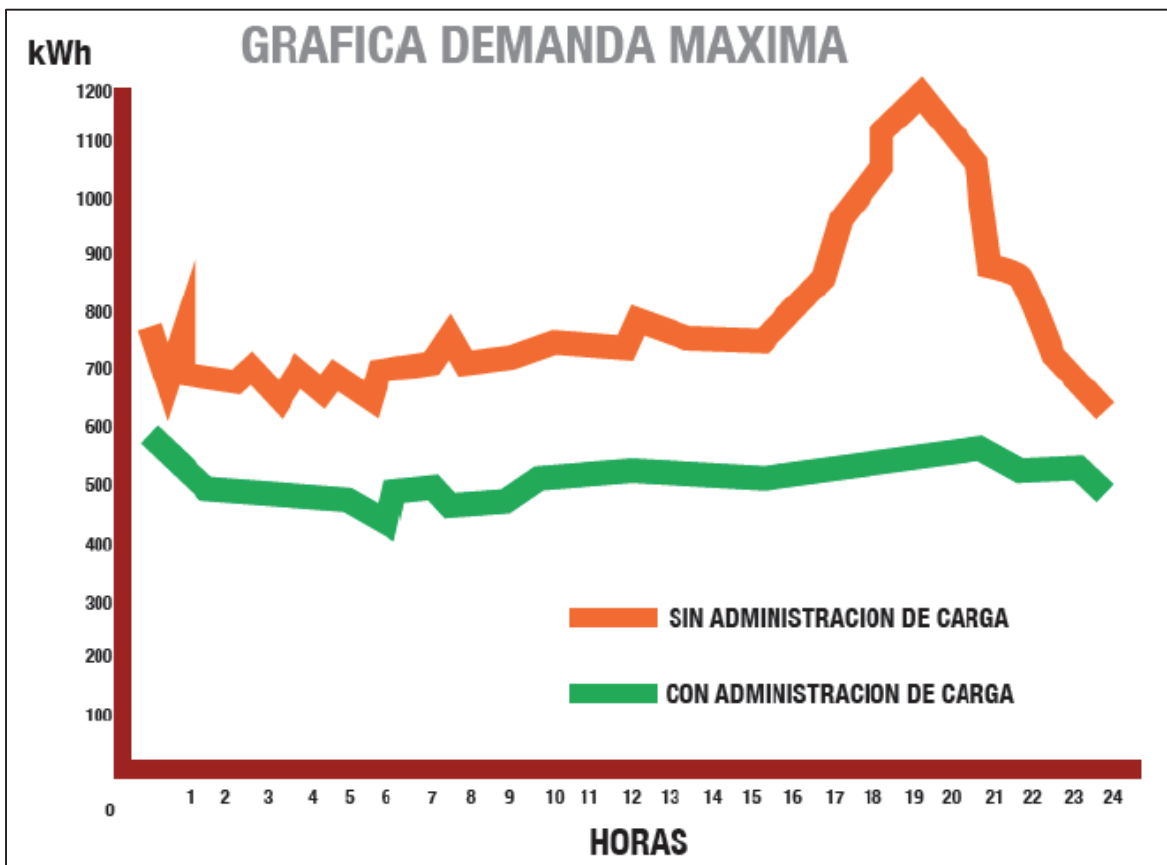


Figura 2.2. Ejemplo de consumo con y sin control de demanda
(Fuente: <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia>)

2.1.8 Tarifas Eléctricas

Cada una de las compañías distribuidoras de energía eléctrica establecen las tarifas que pondrán a disposición de los clientes, esto acorde con lo que regule la ARESEP. Es así como para cada compañía se encontrarán diferentes tarifas con diferentes valores para cada uno de los rubros que se incluyen en la facturación. A continuación, a manera de ejemplo se expondrá el sistema tarifario de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, para la elaboración del proyecto. Los precios de cada tarifa al primer trimestre del 2016 se expondrán de manera detallada en los anexos del documento.

La potencia a facturar será la máxima medición registrada durante cada período del mes. La definición de los periodos (para servicios que se facturan bajo esta modalidad):

Período punta: Se define como período punta al comprendido entre las 10:01 y las 12:30 horas y entre las 17:31 y las 20:00 horas, es decir, 5 horas del día. Se facturará la máxima medición de potencia registrada durante el mes, exceptuando la registrada los sábados y domingos.

Período valle: período comprendido entre las 6:01 y las 10:00 horas y entre las 12:31 y las 17:30 horas, es decir, 9 horas del día. Se facturará la máxima medición de potencia registrada durante el mes.

Período nocturno: Se define como período nocturno al comprendido entre las 20:01 y las 6:00 horas del día siguiente, es decir, 10 horas del día. Se facturará la máxima medición de potencia registrada durante el mes.

Las tarifas están divididas en tres servicios:

Servicios Residenciales: Destinados a hogares que sirven exclusivamente de alojamiento.

En cada tarifa de este servicio se cobrará como suma mínima mensual el equivalente a los primeros 30 kWh.

Por lo tanto, para este tipo de servicio, se tienen las siguientes tarifas:

- *Tarifa Residencial:* Se entiende por residencial, el servicio para casas de habitación o apartamentos que sirven exclusivamente de alojamiento. No incluye cabinas y áreas de recreo, moteles, hoteles, hospitales, hospicios, servicios combinados, casa, pulpería, etc., ni edificios de apartamentos servidos por un solo medidor. En este caso, el cobro será solamente el de energía con un valor mínimo y que por cada kWh adicional tendrá un valor adicional.
- *Tarifa Residencial Horaria:* Esta tarifa es exclusiva para clientes residenciales servidos en baja tensión y consumo superior a 200 kWh por mes. Aunque este servicio no factura el rubro de demanda eléctrica, si establece diferentes valores para la energía dependiendo del bloque de consumo y el rango de energía consumida.
- *Tarifa Preferencial:* Este aplica estrictamente a los sectores de bombeo de agua potable, educación, religión, protección a la niñez y vejez o personas con soporte ventilatorio domiciliario por discapacidad respiratoria transitoria o permanente. La tarifa se ajusta a los diferentes rangos de consumo de energía con valores moderados de facturación y donde no se toma en cuenta el bloque de consumo.

Servicios Comerciales: Aplicable estrictamente a todos aquellos clientes no residenciales en todo el sistema de distribución y que no son especificados en otras tarifas. Incluye cabinas, áreas de recreo, moteles, hoteles, locales, talleres, servicios combinados, casa, pulpería, etc.

El horario de los bloques de consumo son los mismos que en el servicio residencial.

- *Tarifa General:* El cobro de la energía y la demanda se establecen con un mínimo. La demanda es cobrada con el valor más alto sin importar el bloque de consumo, pero cuando el consumo por energía es mayor a los

3000 kWh. En el caso de valores menores a los 3000 kWh solamente se factura la energía consumida.

- **Tarifa Media Tensión:** Tarifa opcional para clientes servidos en media tensión con una vigencia mínima de un año, prorrogable por períodos anuales, debiendo comprometerse los clientes a consumir como mínimo 120000 kWh por año calendario. Si dicho mínimo no se ha cumplido por el cliente, en la facturación del doceavo mes se agregarán los kWh necesarios para complementarlo, a los que se les aplicará el precio de la energía en período punta. La energía y la demanda tendrán un valor diferente para cada valor de consumo.
- **Tarifa Promocional:** Los clientes que se comprometan con reducir el valor de la demanda en un 80% en periodo punta con respecto a los demás periodos de consumo y que superen los 3000 kWh mensuales, podrán optar por esta tarifa, en donde solo se facturará la demanda en el periodo punta de acuerdo con el valor de la tarifa general, en caso de no cumplirlo serán facturados en la que se encontraban anteriormente.
- **Tarifa Preferencial:** Rige lo mismo que en el caso de la tarifa residencial.

Servicios Industriales: Servicios aplicables al sector manufacturero o dedicado a la construcción, minería, agricultura, pesca, explotación forestal y otros.

En el caso del desglose de las diferentes tarifas para este servicio es el mismo que se presenta para el comercial, solamente que varían los precios para las diferentes tarifas.

2.2 Automatización Industrial

La automatización industrial es una disciplina de la ingeniería encargada de controlar máquinas o procesos industriales de forma óptima, mejorando la calidad del producto y su productividad.

Los sistemas de automatización pueden ser divididos en distintos niveles. Estos niveles son:

Nivel de campo:

Es el nivel inferior donde podemos encontrar actuadores lineales o rotativos, válvula de proceso, sensores, motores eléctricos, etc.

Nivel de control:

En este nivel están los distintos dispositivos de control y monitoreo, tales como PLC, HMI, variadores de frecuencia, servo drive, etc. Este nivel se encarga de monitorear y controlar todos los dispositivos del campo.

Nivel de supervisión:

Es el encargado de controlar la interacción entre los distintos dispositivos ubicados en el nivel de control. De esta forma, se puede controlar y monitorear diferentes procesos al mismo tiempo. Incluye PLC's maestros y sistemas SCADA.

Nivel de gestión:

Este es el nivel más alto y es el que se encarga de controlar toda la planta. En este nivel también se puede vincular una planta con sistemas de control y monitoreo externos. Contiene PC's industriales.

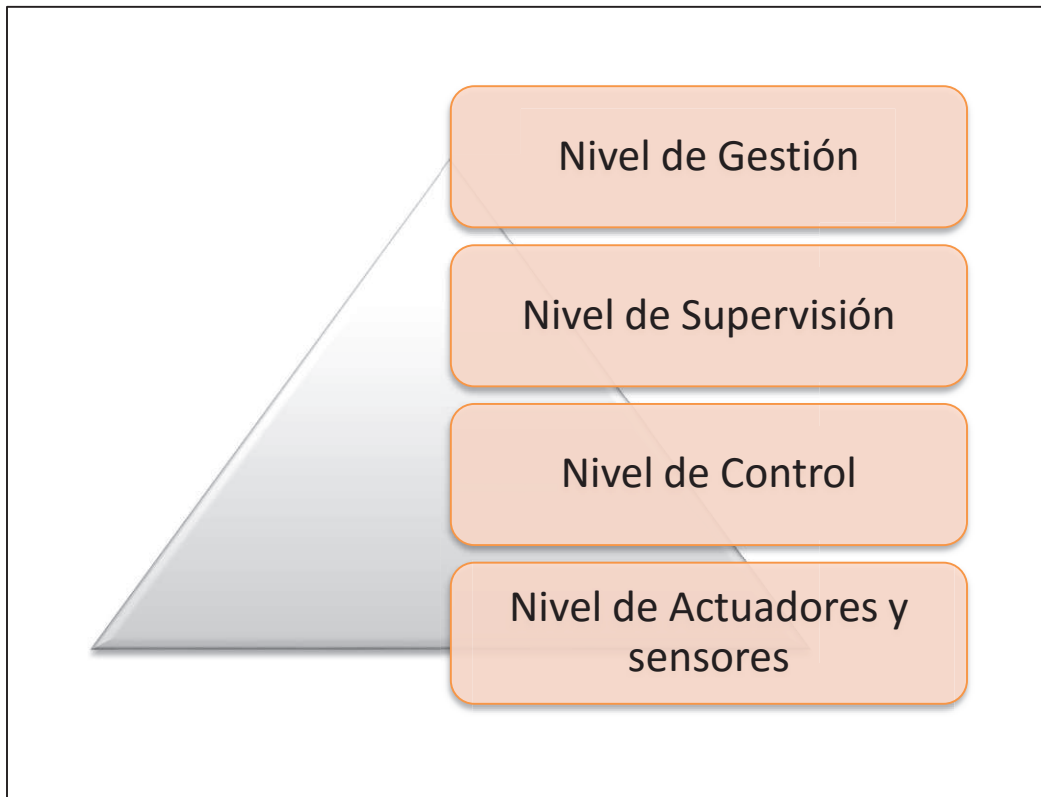


Figura 2.3. Pirámide de Automatización

(Fuente: Elaboración Propia)

Los niveles de la pirámide de automatización se vinculan entre sí por medio de distintos lenguajes de comunicación, conocidos como “protocolos de comunicación”. Entre los distintos niveles de la pirámide hallamos distintos protocolos acordes con las necesidades (cantidad de datos a enviar y la velocidad con la que se envían estos datos). Los protocolos más utilizados en la industria son: Profibus DP, Devicenet, Modbus, Can Open, AS-i, Ethernet/IP, Modbus TCP/IP. Con esta organización estructural se pueden controlar y monitorear desde pequeños automatismos hasta procesos de grandes envergaduras, consiguiendo reducir los tiempos de mantenimiento y optimizar los niveles de productividad.

Enfocando la atención en el nivel de control y supervisión, se comentará sobre los diversos equipos que se encuentran en estos niveles.

2.2.1 Controladores Lógicos Programables (PLC)

Es un aparato digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas, a saber: lógicas, secuencias, temporizados, conteos y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. Los PLC son utilizados donde se requiera tanto de controles lógicos como secuenciales, o ambos a la vez.

❖ Estructura de un PLC

La estructura básica de un PLC se puede ejemplificar con la siguiente figura:

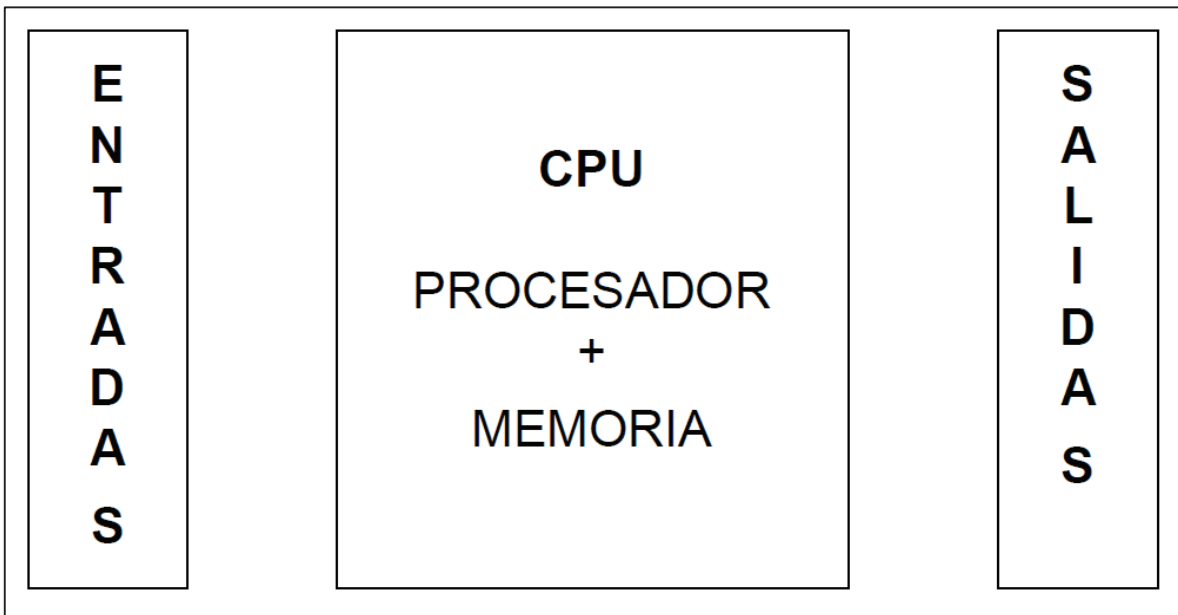


Figura 2.4. Estructura de un PLC
(Fuente: Elaboración Propia)

CPU:

La CPU es el cerebro del PLC, es responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario. Este se encuentra formado por dos partes fundamentales: el o los procesadores y las memorias. También puede contener otros elementos como puertos de comunicaciones, circuitos de diagnóstico, fuentes de alimentación, etc.

Entradas y salidas:

Las entradas y salidas son los elementos del PLC que lo vinculan al campo. En el caso de las entradas, deben ser adecuadas a las tensiones y corrientes que maneja el procesador, para que éste las pueda reconocer. Y en el caso de las salidas, las señales del procesador deben ser modificadas para actuar sobre algún dispositivo del campo. Esto se puede realizar con el uso de transistores, triacs o relés.

Como no todas las señales que van o vienen del campo son de igual tipo, las interfaces de entrada o salida cumplen un rol fundamental. A continuación, se expone una clasificación de las entradas y salidas:

a) Discretas: también llamadas binarias, lógicas, digitales u on-off. Son las que pueden tomar solamente dos estados.

b) Analógicas: pueden tomar una cantidad de valores intermedios dentro de un rango. Por ejemplo, de 4 a 20 mA, 0 a 5Vcc o 0 a 10 Vcc.

c) Especiales: son variantes de las analógicas como ser las entradas de pulsos de alta velocidad, termocuplas, RTD, etc.

2.2.2 Interfaz Hombre - Máquina (HMI)

Como su nombre lo indica es un dispositivo o sistema que permite la interacción entre el hombre y la máquina de manera muy gráfica e intuitiva. Este dispositivo es programable y posee infinidad de bibliotecas, en las cuales podemos encontrar pulsadores, llaves, imágenes prediseñadas, display, teclados, gráficos de barras, animaciones, etc., posibilitando también importar imágenes desde un archivo y, de este modo, poder armar el entorno gráfico lo más claro para el usuario.

La HMI tiene incluido un conjunto de herramientas que simplificarán el trabajo de los programadores, haciéndolas mucho más versátiles e intuitivas; entre ellas podemos tener:

Data Logger: Se pueden obtener datos históricos de los procesos y almacenarlos de la manera más conveniente.

Recetas: Varias veces, para hacer distintos productos, se utilizan los mismos materiales, pero con diferentes proporciones, velocidades o temperaturas. En este punto, es donde las pantallas pueden aplicar una receta, permitiendo la calibración de la máquina con solo apretar un botón.

Cambio de idiomas: Esta herramienta logra cambiar el idioma de las distintas páginas de la HMI.

Animaciones: Facilita realizar animaciones, las cuales se pueden asociar a un evento ocurrido en el proceso.

Macros: Admite efectuar una programación en C, la cual se asocia a distintos eventos.

Seguridad: Teniendo en cuenta la seguridad, se permite controlar distintos niveles de seguridad por medio de distintos passwords.

Comunicación: Poseen distintos puertos de comunicación para armar diferentes redes. Cuenta con Modbus incorporado o Ethernet/IP, dependiendo de la necesidad.

Estas pantallas posibilitan vincular dispositivos variados: inverters, PLC, servo drive, etc., que pueden ser de distintas marcas, ya que tiene múltiples licencias. De este modo, se logra vincular la pantalla a un proyecto existente.

2.2.3 Variadores de Frecuencia

El variador de frecuencia es una herramienta en la automatización industrial usada para controlar la velocidad de un motor de corriente alterna trifásica. Antiguamente, para poder tener un motor de velocidad variable era necesario recurrir al uso de motores de corriente continua con un sistema de control asociado. Estos tipos de motores requerían niveles altos de mantenimiento y costos elevados.

El motor de corriente alterna (por más que era un motor muy robusto, con muy bajos niveles de mantenimiento; compacto y de bajo costo) no podía reemplazar, en su totalidad, al motor de corriente continua. Asimismo, el motor de corriente alterna era muy rígido respecto a la velocidad, la cual solo podía variar por medio de la variación de frecuencia o a través de la modificación de sus bobinados. El bobinado era predefinido al momento de fabricar el motor, y la frecuencia era la que proveía la compañía suministradora del servicio eléctrico.

Gracias a las nuevas tecnologías de los variadores de frecuencia, se puede modificar la velocidad de los motores de corriente alterna muy fácilmente. Los VFD (drive de frecuencia variable) trabajan modificando la tensión y la frecuencia entregada al motor. De este modo, permiten controlar, de manera simple, la velocidad y el torque del motor de corriente alterna.

2.2.4 Controladores Digitales

Los controladores digitales son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de un sensor, un indicador digital y una salida de regulación. Existen controladores digitales para diferentes trabajos de medición y regulación. Los controladores digitales se configuran a través de las teclas del propio controlador.

Existe la posibilidad de establecer valores nominales para definir así el proceso de regulación. Varios controladores digitales disponen, además de la salida de regulación, salidas para señales normalizadas, a las que puede conectar un sistema de visualización para controlar el proceso de regulación.

Controlador de Temperatura:

El controlador de temperatura es un dispositivo con el cual se establece la temperatura que se desea de un medio ambiente, con este dispositivo se monitorea la temperatura, y se produce una orden de cambio de ésta misma, que se hace mediante un control inalámbrico o una computadora, en ambos controles (computadora y control inalámbrico) se observa en todo momento la temperatura actual.

Se pueden conectar a los reguladores de temperatura diferentes tipos de sensores. Los reguladores de temperatura ofrecen la posibilidad de procesar señales de sensores de resistencia o de termoelementos.

2.2.5 Contactores

El contactor es un aparato de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores o cargas de gran potencia.

Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito.

La bobina es un electroimán que acciona los contactos, abriendo los cerrados y cerrando los contactos abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo.

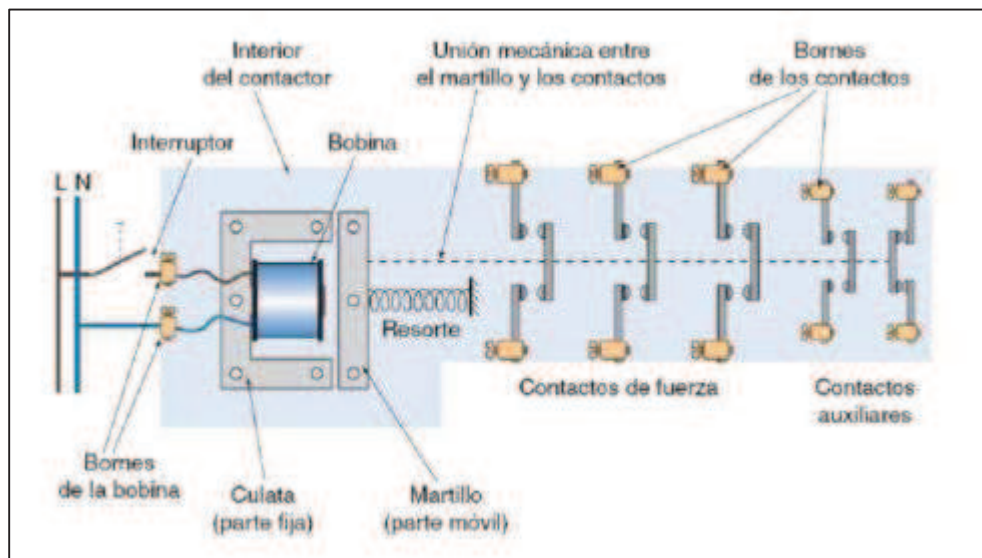


Figura 2.5. Partes de un contactor
(Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>)

El funcionamiento es bastante sencillo, cuando es accionado el interruptor, la corriente energiza a la bobina y esta crea un campo magnético que trae hacia la

culata el martillo, este se encarga de movilizar igualmente los contactos y los que estaban abiertos pasarán a cerrados y los cerrados pasarán a abiertos. El proceso inverso ocurre cuando se anula el paso de corriente a la bobina.

2.2.6 Redes de comunicación Industrial

Para la comunicación entre los equipos que conforman los diferentes niveles de la pirámide de automatización, las empresas han creado diferentes redes con sus respectivos protocolos de comunicación. Esto es esencial, debido a que la estandarización permite la configuración de cualquier equipo con otro que no necesariamente sea del mismo fabricante.

Se han desarrollado diversos protocolos de comunicación como los mencionados al principio, pero a continuación se explica también el protocolo Modbus y TCP/IP, esto debido a que serán utilizados en el desarrollo del proyecto.

2.2.6.1 Modbus

Es un protocolo de comunicación serie desarrollado y publicado por Modicon en 1979. En su origen el uso de Modbus estaba orientado exclusivamente al mundo de los controladores lógicos programables o PLC's de Modicon. Actualmente el protocolo Modbus es uno de los protocolos de comunicación más común utilizados en entornos industriales, sistemas de telecontrol y monitorización.

El objeto de este protocolo es bien sencillo el cual consiste en una transmisión de información entre distintos equipos electrónicos conectados a un mismo bus. Existiendo en dicho bus un solo dispositivo maestro y varios equipos esclavos conectados. En su origen estaba orientado a una conectividad a través de líneas serie como pueden ser RS-232 o RS-485, pero con el paso del tiempo han aparecido variantes como la Modbus TCP, que permite el encapsulamiento del Modbus serie en tramas Ethernet TCP/IP de forma sencilla.

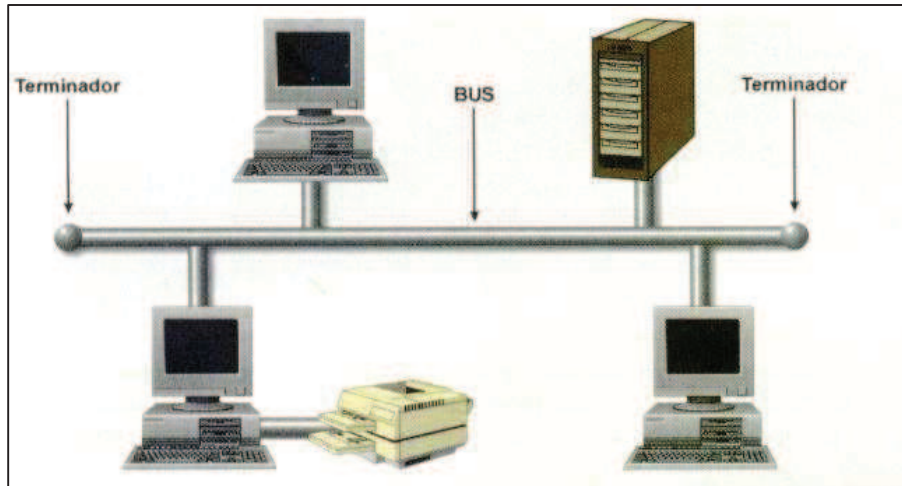


Figura 2.6. Topología de Red Bus
(Fuente: albertosantamariacabanes.blogspot.com)

En una red Modbus existen 1 estación principal y hasta 247 estaciones subordinadas (direcciones en el rango 1 a 247). Sólo la principal puede iniciar una transacción. Para comunicarse con las estaciones esclavas, la maestra envía unas tramas que llevan: la dirección del receptor, la función a realizar, los datos necesarios para realizar dicha función y un código de comprobación de errores.

Los datos anteriores son esenciales para poder llevar a cabo de manera eficaz la comunicación, por lo tanto, serán parámetros por configurar cada vez que se realicen las conexiones. A continuación, se explica cada uno:

Velocidad de transmisión (baud rate): Hace referencia al número de bits por segundo que se transfieren y se mide en baudios (bauds).

Bits de datos: Indica la cantidad de bits en la transmisión, las cantidades más usuales de bits por paquete son 7 y 8 bits. Un paquete se refiere a una transferencia de byte, incluyendo los bits de inicio/parada, bits de datos y paridad.

Bits de parada: Se utiliza para indicar el fin de la comunicación de un solo paquete, los valores más usuales son 1 ó 2. Puede darse la posibilidad de que los dispositivos no se encuentren sincronizados, por lo tanto, estos de bits de parada permiten un rango de tolerancia para la sincronía de los relojes de los dispositivos.

Paridad: Es una forma de verificar si hay errores en la transmisión serial. Existen 4 tipos de paridad: par, Impar, marcada y espaciada. Esta parida se encarga de verificar si existe ruido que ha ingresado a la comunicación, por ejemplo, si la paridad es par tratará de mantener el número de bits en estado alto lógico en un número par y así podrá supervisar que todas las comunicaciones puedan ser transmitidas de esa forma y de encontrar alguna irregularidad, podrá corregirla y tener las repercusiones más bajas por ruido.

Cuando la trama llega a la estación esclava direccionada, ésta lee el mensaje, y si no ha ocurrido ningún error, realiza la tarea indicada. Entonces la subordinada envía una respuesta formada por: la dirección de la esclava, la acción realizada, los datos adquiridos como resultado de la acción y un código de comprobación de errores.

En Modbus existen dos posibles modos de transmisión para las estructuras de las unidades de información (caracteres) que forman el mensaje:

- ASCII (American Standard Codefor Information Inérchange). El sistema de codificación es hexadecimal y cada carácter consta de 1 bit de inicio, 7 bits de codificación de los datos, 1 bit de paridad (opcional) y 1 ó 2 bits de parada, o sea, un total de 9 a 11 bits por carácter.
- RTU (Remote Terminal Unit). El sistema de codificación es binario y cada carácter consta de 1 bit de inicio, 8 bits de codificación de los datos, 1 bit de paridad (opcional) y 1 ó 2 bits de parada, o sea, un total de 10 a 12 bits por carácter. Los dispositivos Modbus usan interfaces serie compatibles con RS- 232C y RS-485, siendo el bus capaz de transferir datos a velocidades de 19'2 Kbps y alcanzar distancias de 1 Km.

2.2.6.2 TCP/IP

El Protocolo de Control de Transmisión (TCP) permite a dos anfitriones establecer una conexión e intercambiar datos. El TCP garantiza la entrega de datos, es decir, que los datos no se pierdan durante la transmisión y también garantiza que los paquetes sean entregados en el mismo orden en el cual fueron enviados.

El Protocolo de Internet (IP) utiliza direcciones que son series de cuatro números octetos (byte) con un formato de punto decimal, comúnmente esto es lo que se conoce como direcciones IP.

Es así como el protocolo TCP/IP se refiere a una transferencia de información de un equipo a otro identificados con una dirección IP, mediante la utilización de internet. Por lo tanto, es indispensable que los autómatas industriales que se empleen tenga una conexión directa a Ethernet o que sean ajustables a este protocolo mediante convertidores de señales.

2.2.7 Virtual Network Computing (VNC)

Es un programa de libre acceso que se basa en la estructura cliente-servidor, el cual permite tomar el control de un equipo remotamente a través de un ordenador o un dispositivo inteligente. No existen restricciones en cuanto al sistema operativo tanto en el lado del cliente como del servidor.

Este tipo de programa es útil para el acceso remoto a equipos industriales a distancia y ofrece una llamativa opción para ejercer el control desde los niveles de gestión y supervisión hacia el área de control y actuadores.

Los diferentes equipos que permiten la configuración de VNC establecen una serie de registros internos para efectuar dicha función, por ello, es importante conocer estos registros para la respectiva configuración.

VNC emplea los puertos 5900 para la transferencia de información, entonces, a la hora de configurar la red local para el acceso remoto desde el exterior, es fundamental la configuración del Firewall de la red local donde se ubica el instrumento por monitorear, para que permita conectar mediante este puerto a los equipos previamente configurados a dicho puerto para tal función.

Existen diversos programas desarrollados para este protocolo, podemos mencionar VNC Viewer que está disponible en la web de manera gratuita y en el

que se puede desarrollar una amplia variedad de opciones de monitorización de equipos.

2.2.8 Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP)

El protocolo FTP define la manera en que los datos deben ser transferidos a través de una red TCP/IP. El objetivo de este protocolo es:

- Permitir que equipos remotos puedan compartir archivos.
- Permitir la independencia entre los sistemas de archivo del equipo del cliente y del equipo del servidor.
- Permitir una transferencia de datos eficaz.

FTP usa TCP como protocolo de transporte para proporcionar conexiones fiables entre los extremos. Se emplean dos conexiones: la primera es para identificar el equipo que desea la transferencia y la segunda es para gestionar la transferencia de datos. Como es necesario hacer un inicio de sesión en el host o servidor remoto, el usuario debe tener un nombre de usuario y una contraseña para acceder a ficheros y a directorios. El usuario que inicia la conexión asume la función de cliente, mientras que el host remoto adopta la función de servidor.

En ambos extremos del enlace, la aplicación FTP se construye con intérprete de protocolo (PI), un proceso de transferencia de datos, y una interfaz de usuario.

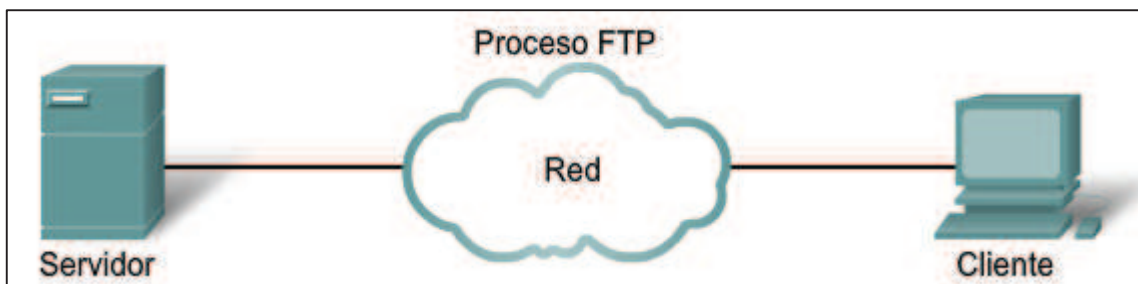


Figura 2.7. Protocolo FTP
(Fuente: albertosantamariacabanes.blogspot.com)

2.2.9 SCADA

Son las iniciales de **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**dquisition (Control Supervisorio y Adquisición de Datos). Es una interface gráfica humano – máquina para la automatización industrial en el control de procesos y monitoreo supervisorio.

Dentro de la automatización, se requiere como primer paso de un personal que sea eficiente en las labores de monitoreo, con el aumento de sensores, actuadores y demás variables que se deben de controlar, se requiere de un medio donde todas estas estén a disposición de un operador que pueda tomar decisiones con respecto a un proceso, pero que no requiera ir de equipo en equipo para obtener los datos, es por ello que el control de todas las variables de un computador es de gran ayuda.

La computadora puede suministrar las siguientes funciones:

- ∞ Monitoreo: Es la habilidad de desplegar información en tiempo real del piso de planta a los operadores.
- ∞ Control Supervisorio: Es la capacidad de monitorear datos en tiempo real unido a la destreza de los operadores para cambiar los valores prefijados y otros valores claves del proceso directamente desde el computador.
- ∞ Alarmas: Proporcionan la capacidad de reconocer eventos excepcionales e inmediatamente reportarlos.
- ∞ Control: Este se encarga de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y a la vez mantener estos valores dentro de los límites establecidos, no requiere de la interacción humana para ejecutar las acciones y realiza los cambios con una precisión de tiempo muy exacta.
- ∞ Generación de reportes: Esta función es de gran importancia para el Departamento de Mantenimiento, ya que permite llevar un historial del proceso y así de esa manera poder llevar la gestión de activos de la planta de una forma ordenada y precisa.

Elementos que conforman un Sistema SCADA

- a) **Unidad Central o MTU:** Cuando hablamos de la Unidad Terminal Maestra nos referimos a los servidores y al software responsable para comunicarse con el equipo del campo (RTU's, PLC's, etc.). En estos se encuentra el software HMI corriendo para las estaciones de trabajo en el cuarto de control o en cualquier otro lado. En un sistema SCADA pequeño, la Unidad Terminal Maestra puede estar en una sola, pero en un sistema SCADA a gran escala, la Unidad Terminal Maestra puede incluir muchos servidores, aplicaciones de software distribuido, y sitios de recuperación de desastres. Esta terminal ejecuta las acciones de mando (programadas) con base en los valores actuales de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- b) **Unidad Remota o RTU:** RTU es un dispositivo instalado en una posición remota que obtiene datos, los descifra en un formato y transmite los datos de nuevo a una unidad terminal maestra (MTU). La RTU también recoge la información del dispositivo principal y pone los procesos en ejecución, los cuales son dirigidos por la MTU. La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como abierto/cerrado desde una válvula o un intercambiador, lee las medidas como presión, flujo, voltaje o corriente y así la RTU puede enviar señales que pueden controlar los dispositivos para abrirlos, cerrarlos, intercambiar las válvulas, configurar la velocidad de una bomba, etc.
- c) **Interfaz HMI:** Software encargado de interactuar con el Operador del sistema. Provee de información y variables de control a través de gráficos, esquemas, pantallas y menús.
- d) **Sistema de Comunicación:** Proveen el canal de comunicación entre la MTU y los dispositivos remotos. Los sistemas de comunicación pueden implementarse sobre redes cableadas, de fibra óptica, enlaces

inalámbricos, líneas telefónicas, enlaces de radio y microondas, enlaces satelitales e internet.

- e) **Transductores:** Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza, aunque no necesariamente la dirección es la misma. Es un dispositivo usado para obtener la información de entornos físicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos o viceversa. En este caso permitirá la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.

2.2.10 Código C

Un programa es un conjunto de órdenes para un ordenador, que puede ser un computador, una HMI, PLC o cualquier instrumento capaz de ejecutar órdenes. Estas órdenes se le deben dar en un cierto lenguaje, que el ordenador sea capaz de comprender.

El problema es que los lenguajes que realmente entienden los ordenadores resultan difíciles para nosotros, porque son muy distintos de los que nosotros empleamos habitualmente para hablar. Escribir programas en el lenguaje que utiliza internamente el ordenador (llamado "lenguaje máquina" o "código máquina") es un trabajo duro, tanto a la hora de crear el programa como en el momento de corregir algún fallo o mejorar lo que se hizo. Por eso, en la práctica se emplean lenguajes más parecidos al lenguaje humano, llamados "lenguajes de alto nivel". Normalmente, estos son muy parecidos al idioma inglés, aunque siguen unas reglas mucho más estrictas.

Dentro de los lenguajes de programación que fueron desarrollados en las etapas iniciales de la computación se encuentra el llamado C, este goza de gran prestigio y es utilizado por una gran gama de dispositivos para su funcionamiento y la ejecución de instrucciones para realizar funciones externas como el caso de HMI o PLC's.

Dentro de los programas que se desarrollan en estos dispositivos, llamados macros, es importante el manejo adecuado de las variables. Las variables son una posición en la memoria de un dispositivo con un nombre que se usa para mantener un valor que puede ser modificado por el programa constantemente. Cada una de las variables debe ser declarada antes del inicio de la programación, por ello es importante darle un nombre o tag y especificar el tamaño de este dato.

Para la selección del tamaño del dato, se debe de escoger el rango en el cual trabajará esta variable y los tipos de datos u objetos que se presentan en la siguiente lista.

Tabla 2.2.1. Tipos de Datos en Lenguaje C
(Fuente: Elaboración Propia)

Tipo	Tamaño en Bits	Rango
char	8	-127 a 127
unsigned char	8	0 a 255
signed char	8	-127 a 127
int	16	-32767 a 32767
unsigned int	16	0 a 65535
signed int	16	-32767 a 32767
short int	16	-32767 a 32767
unsigned short int	16	0 a 65535
signed short int	16	-32767 a 32767
long int	32	-2147483647 a 2147483647
signed long int	32	-2147483647 a 2147483647
unsigned long int	32	0 a 4294967295
float	32	Seis dígitos de precisión
double	64	Diez dígitos de precisión
long double	64	Diez dígitos de precisión

Una vez que se escoge el nombre y el tipo de dato, se inicia con la programación de cada macro que se necesite, siguiendo las pautas que el lenguaje establece para dicha programación.

La siguiente imagen muestra una pequeña secuencia desarrollada en C. Cada una de las programaciones son iniciadas haciendo el llamado a las correspondientes bibliotecas en donde se encuentran los comandos que son necesarios para la ejecución de los programas.

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("Hola");
    return 0;
}
```

Figura 2.8. Ejemplo de programación en Lenguaje C
(Fuente: Fundamentos de programación en C, Ignacio Cabanes)

3 Desarrollo

3.1 Estudio del proyecto implementado en la Casa Club del Residencial.

Como primer paso para el desarrollo del proyecto, se realizó un estudio detallado del trabajo que se había realizado y que no había llenado las expectativas de la empresa. Para ello se contó con las lógicas programadas, la lista de los equipos utilizados y una visita al lugar donde estaba instalado el sistema.

Luego de realizar un análisis de lo hecho en esta primera versión del sistema, se encontraron muchas opciones de mejora, además de algunas otras funciones extras que podían ser implementadas para mejorar el rendimiento del sistema.

El sistema que se encontraba instalado, administraba las cargas que mediante un estudio previo se habían determinado, conectándolas y desconectándolas en tiempos establecidos para lograr los objetivos del caso. Esto era realizado por una HMI, conectado a dos PLC's, quienes a través de un conjunto de relés eran los encargados de llevar la señal de encendido o apagado a las respectivas cargas.

En la HMI, se programaban los horarios de administración, se visualizaba las cargas que estaban habilitadas o deshabilitadas y se podía obtener los reportes de los datos de demanda. Esta HMI enviaba los datos a los PLC's según correspondía la carga, el PLC tomaba los datos de horario de encendido, más otras opciones como podía ser indicaciones de forzado para el apague o encendido y ejecutaba la lógica programada en él para realizar la administración de las cargas. Por su parte, el medidor de energía enviaba el dato de demanda instantánea para que la HMI la transmitiera a los PLC's.

De esta manera, la programación estaba dividida en dos equipos, una parte en la HMI y la otra en los PLC's instalados, esto ocasionaba que la programación dependiera de la sincronización de los equipos.

A continuación, se detallan los puntos reportados por la empresa en cuanto al mal funcionamiento del sistema.

- Desincronización entre el PLC y la HMI en cuanto a la hora, en muchas ocasiones el PLC tenía una hora diferente a la que estaba manejando la HMI, esto por consiguiente ocasionaba que no se realizara de forma correcta la administración de las cargas, lo que provocaba que no hubiera un control de la demanda confiable; para poder resolver de cierta manera el proyecto se instaló un temporizador exterior para el PLC, pero no representaba una buena solución al problema.
- Programación del PLC muy complicada. Al ser Ingeniero el que empezó la programación del proyecto y al tener que cambiar de programador a mitad del trabajo, la continuación de la lógica no fue posible por el siguiente Ingeniero, esto llevó a realizar una programación que no fue eficiente y que para el análisis de cualquier error era demasiado complicado.
- Algunos equipos no cumplían la función principal para la cual fueron instalados, ejemplo de ello es el medidor instalado que provee de la información de la demanda en tiempo real, este en el caso del control de la demanda no proveía de esa información al resto del sistema, el sistema actuaba de manera fija en un horario establecido sin tomar en cuenta la información de demanda que este proveía.

La empresa no solo requería de mejorar el sistema instalado, sino que requerían de la creación de un modelo de este sistema para los futuros proyectos, por lo que las recomendaciones de mejora giran en torno a dos contextos: La creación de un modelo de controlador de demanda máxima y el mejoramiento del sistema instalado en el residencial.

La siguiente imagen muestra una foto tomada en el lugar donde se logra observar la desincronización de la pantalla HMI y el PLC.

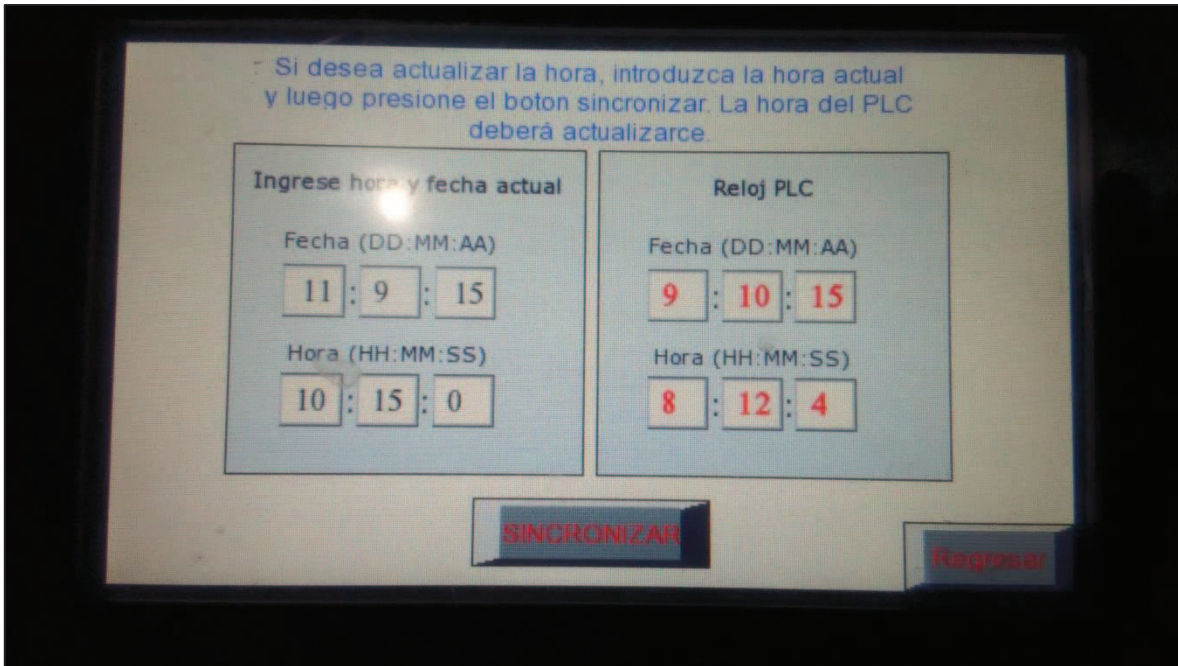


Figura 3.1. Foto de Pantalla HMI anterior: Ventana de sincronización de hora
(Fuente: Tomado en el lugar del proyecto)

3.2 Programación

3.2.1 Etapas del Proceso

El nuevo sistema se compone de varias etapas que se encargan de la correcta regulación de la demanda eléctrica máxima que se consume, ya sea en una industria, un comercio o en aplicaciones residenciales.

Una parte esencial para la implementación de un sistema de control de demanda máxima, es el estudio del perfil de carga del usuario, esto conlleva a determinar, mediante el histórico de las anteriores facturaciones, el valor promedio de la demanda que ha sido requerida y de esta manera, seleccionar las cargas que pueden ser controladas durante los periodos punta, es así como la primera parte de la implementación, es realizar una visita al usuario y efectuar una correcta documentación del contexto operacional presente, para así determinar la metodología a seguir.

En la siguiente lista se muestra la secuencia del proceso automático, para poder realizar una regulación de la demanda en cualquier aplicación que se desee.

1. Una verificación del horario, esto para comprobar si se encuentra en un período punta de cobro de demanda.
2. Una revisión del valor de demanda actual del sistema eléctrico.
3. Comparar el anterior dato con el valor de demanda máxima permitida, comúnmente llamada "Set Point".
4. Una vez hecha la comparación, se obtiene el dato de la diferencia y se determina si es sobrepasado el límite o si aún falta para llegar a dicho valor.
5. Cuando se ha determinado el estado de demanda, si el límite es sobrepasado, se debe de verificar de las cargas seleccionadas para el control de demanda y con respecto a la potencia consumida por cada una, y seleccionar cual debe ser apagada o regulada para disminuir el valor de demanda consumida.
6. En caso de que no se sobrepase el límite, se debe de seleccionar cargas que puedan ser conectadas o reguladas, pero no que lleguen a sobrepasar este.

Todo este proceso descrito en los pasos anteriores debe realizarse cada segundo, ya que como se dijo anteriormente, la idea no es apagar cargas en un horario definido, sino estar realizando un estudio continuo del estado y desconectar o conectar las cargas que mantengan el valor de demanda por debajo del valor del Set Point.

Se deben establecer prioridades para que el sistema pueda ejercer el control con un orden.

3.2.2 Diagrama de Entradas y Salidas

Para el inicio de las propuestas de mejora y programación, se debía de establecer las variables que influyen en el control de demanda máxima, para ello, a manera de esquema, se muestra el siguiente diagrama de entradas y salidas del proceso.

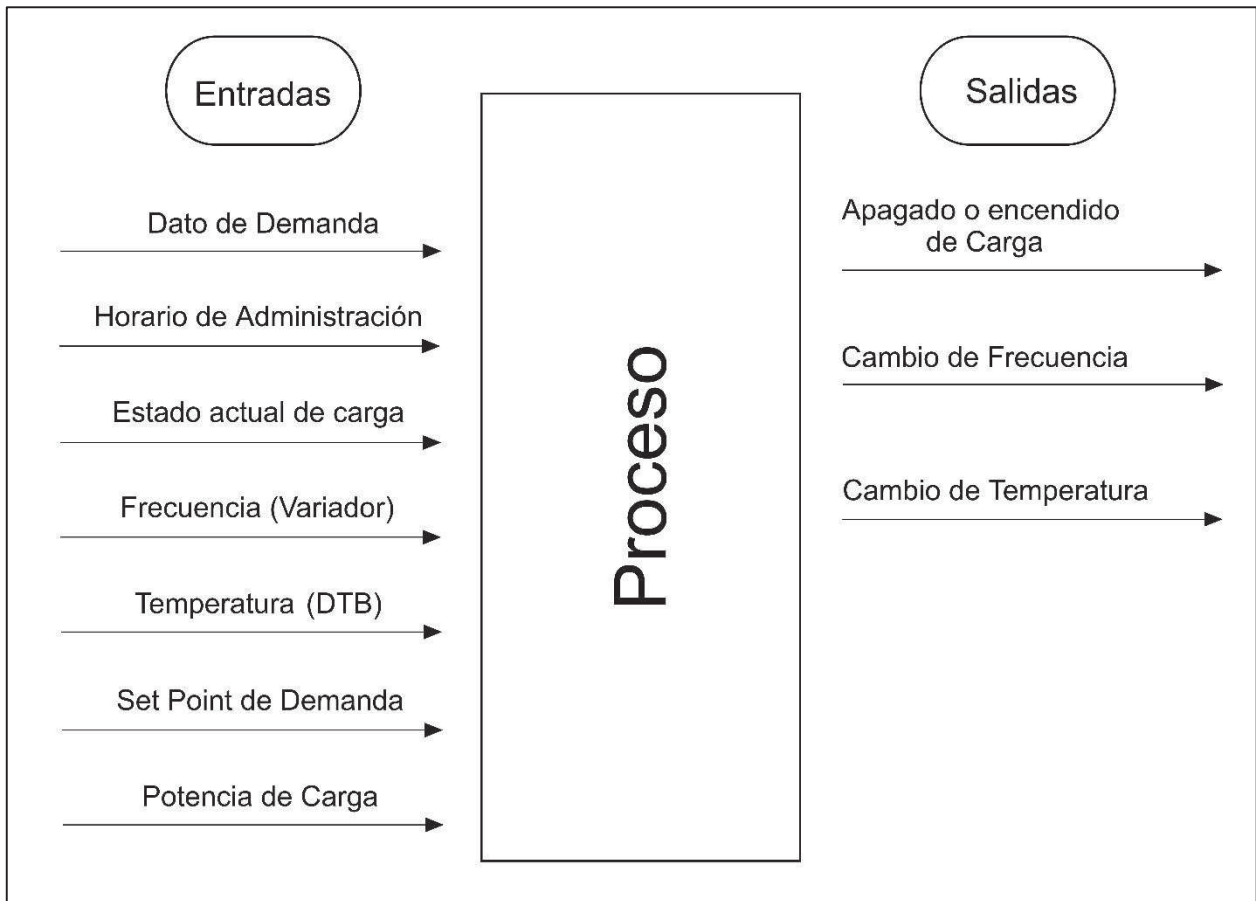


Figura 3.2. Diagrama de entradas y salidas del sistema.
(Fuente: Elaboración Propia)

Cada una de los anteriores datos de entradas y salidas se explica a continuación:

Entradas:

- Medidor de Energía: Este es el encargado de proveer los datos de demanda al sistema, conectado en paralelo al medidor instalado por la compañía eléctrica suministradora de energía, este representa una entrada al sistema.

- Variador de frecuencia: Se requiere que el sistema, pueda regular la velocidad de motores en horario punta de demanda, por lo tanto, se necesita obtener los valores de frecuencia de variadores, para así conocer el estado actual de los motores.
- Controlador de temperatura: Otro requerimiento es la posibilidad de manejar escenarios donde sea necesario controlar la temperatura de algún proceso, al igual que en el caso de los variadores, existe un equipo intermedio entre los instrumentos de campo (sensor, resistencia), que nos provee la posibilidad de manipular el valor de temperatura de manera digital, por lo tanto, como entrada se obtiene el estado actual de temperatura de un proceso.
- Horarios de administración: Estos datos deben ser ingresados al sistema a través de un régimen de interfaz para el usuario, que este caso viene a ser la HMI (Human Machine Interface), la cual da la posibilidad de ingresar estos tipos de datos al sistema.
- Set Point: Valor de máxima demanda permitida. Este dato debe ser ingresado igualmente mediante la pantalla HMI, este será la comparación con el dato de demanda entregado por el medidor, que dará como resultado si hay una demanda superior o no a la requerida.
- Valores de potencia de cada carga: Para cada carga, se debe conocer la potencia que consume en operación normal, esto para decidir cuál carga se debe de apagar comparando con la diferencia de la operación de las demandas. Este dato puede ser ingresado por la HMI, luego del estudio de la carga a controlar u obtener ese dato mediante un medidor instalado para cada carga.
- Estado actual de las cargas discretas: Esto se obtiene mediante una señal que proviene de un PLC, donde indica cuales cargas están conectadas y cuales no lo están.

Todo lo anterior son los datos que se ocupan de entrada para el sistema, ahora se explicarán las salidas respectivas.

Salidas:

- Apagado o encendido de cargas: Luego del proceso de comparación de la demanda actual con el valor establecido, se obtiene como resultado una o un conjunto de cargas que pueden ser controladas para regular la demanda.
- Cambio de frecuencia: Si del análisis resulta que es necesario regular la velocidad de un motor, una salida será un valor diferente de frecuencia para un variador.
- Cambio de temperatura: Al igual que el caso anterior, un cambio de temperatura puede ser necesario para el control de la demanda.

Para la creación de un modelo del sistema, la principal función de este sistema sería la de proveer a los técnicos que instalan el sistema la mayor facilidad a la hora de la programación, por lo que se debía buscar una forma de realizar la programación de manera que fuera predeterminada para cada caso y que requiriera de solamente una pequeña configuración para que entrara en funcionamiento. Esto planteó la tarea de estudiar los equipos para fijar, cuál de ellos permitía que el desarrollo de la lógica pudiera hacerse de manera predeterminada, en otras palabras, funcionará como una plantilla para los diversos proyectos.

Otro punto de gran importancia para el diseño del modelo, es que este sistema no sería solamente de apagar o encender cargas en horarios establecidos, la función principal es la de regular esas cargas en un horario establecido, lo que significa que durante un período de tiempo debe de estar verificando la demanda que existe, el set point establecido y con base en la diferencia, tomar la decisión de cuál carga sacar de funcionamiento o en el otro caso cual carga sumar al sistema.

Luego de un exhaustivo análisis, se determinó utilizar la HMI como maestro, esto debido a que permitía la realización de la mayoría de la programación mediante macros en código C. Esto es una ventaja muy grande, ya que reduce considerablemente la programación en un PLC, y provee de una manera fácil de

ajustar a cualquier proyecto, ya no realizando una programación en código, sino simplemente configurando los diferentes parámetros desde las ventanas creadas en la HMI. Sumado que, para los requerimientos del sistema, la lógica era mucho más sencilla desarrollarla en código C, contrario a ser programada en diagramas de bloques como en el caso de un PLC, todo esto debido a la rapidez con la que se deben de realizar las programaciones e instalaciones de los proyectos.

3.2.3 Propuestas de mejora al sistema de control de demanda máxima

Con base en el estudio anterior, se logró plantear las acciones de mejora propuestas para la realización del modelo:

- Programación principal en HMI, se propuso realizar una programación del sistema a base de macros en la HMI, donde esta se encargue de realizar la lógica del sistema y enviar las señales correspondientes al PLC, el cual poseerá la lógica que responda ante las señales de la HMI de apagado y encendido, esto nos solventaría la falta de sincronización entre el PLC y la HMI y, por otro lado, al plantearse un modelo, ahorraría el tiempo de programación del sistema al ser instalado.
- Ingreso de cantidad de cargas desde una ventana de configuración, esto permitirá que, a la hora de realizar la configuración del sistema inicial, poder ingresar la cantidad de cargas que se van a administrar, despliegue un cuadro con la cantidad de cargas seleccionadas y se pueda digitar el nombre de cada una. Igualmente, en la pantalla de visualización de las cargas (conectadas o no conectadas) se actualice con la correspondiente cantidad de cargas. Esto permitirá actualizar cada vez que se desee la cantidad de cargas del sistema y que no se tenga que realizar modificaciones en el código de las macros para cada caso. A la vez añadir la opción de prioridad para las cargas. Este punto es crucial para la creación del modelo, ya que la programación no dependerá de una cantidad fija de cargas, sino que será variable acorde con las necesidades del cliente.

- Modelo de programación de PLC, ya que no se puede realizar una programación de este dispositivo como se puede hacer para la pantalla para adecuarlo rápidamente a la cantidad de cargas a administrar, se detallará una guía para la programación, de manera que nada más se agreguen los bloques correspondientes y no se tenga que gastar tiempo pensando en cómo realizar la programación.
- Monitoreo de la pantalla en tiempo real, una nueva aplicación de las pantallas HMI empleadas en el proyecto, permite que estas se puedan visualizar y manipular desde distancia grandes mediante conexión Ethernet, esto dependerá si el usuario cuenta con esta posibilidad, con lo que se podrá realizar el monitoreo y el correspondiente cálculo del ahorro desde un lugar lejos del sistema, esto servirá tanto para el cliente como para la empresa proveedora del sistema. Además de la posibilidad en la HMI para obtener la información dentro de ella mediante el protocolo FTP, para obtener si se desea desde un lugar remoto, archivos como los CSV de los reportes.
- Interfaz de pantalla común, esto será igual para todos los proyectos, ahorrará tiempo en la configuración inicial, se solicitará información del cliente, esto se puede realizar previamente antes de la instalación, para así poder ingresar ya sea un logo o imagen alusiva al cliente.
- Creación de manual, tanto para la instalación por parte del equipo técnico como para el cliente para su utilización donde especifique los cambios necesarios en la configuración para cada uno de los proyectos y así ahorrar tiempo y evitar que modifiquen configuraciones que no deben ser manipuladas.
- Equipos restantes y materiales, recomendaciones sobre tipo de relés a utilizar, fuentes de energía y materiales como cables o gabinetes para la correspondiente instalación.
- Habilitar la opción para el control de variadores de frecuencia y controladores de temperatura en horario punta.
- Proveer de un plan de mantenimiento para el sistema creado.

En este caso, tenemos tres equipos que son los que van a llevar la parte fundamental del proyecto, a saber: Medidor de energía, HMI, PLC. A parte de estos equipos tenemos todo el conjunto de relés, fuentes de poder, transformadores de corriente, entre otros que complementan la funcionalidad de estos equipos, pero serán ellos los verdaderos protagonistas de llevar a cabo el control de la demanda.

Dentro de las recomendaciones se citó el hecho de utilizar un equipo como maestro y los otros dos como esclavos, tal como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 3.3. Jerarquía de equipos automatizados.
(Fuente: Elaboración Propia)

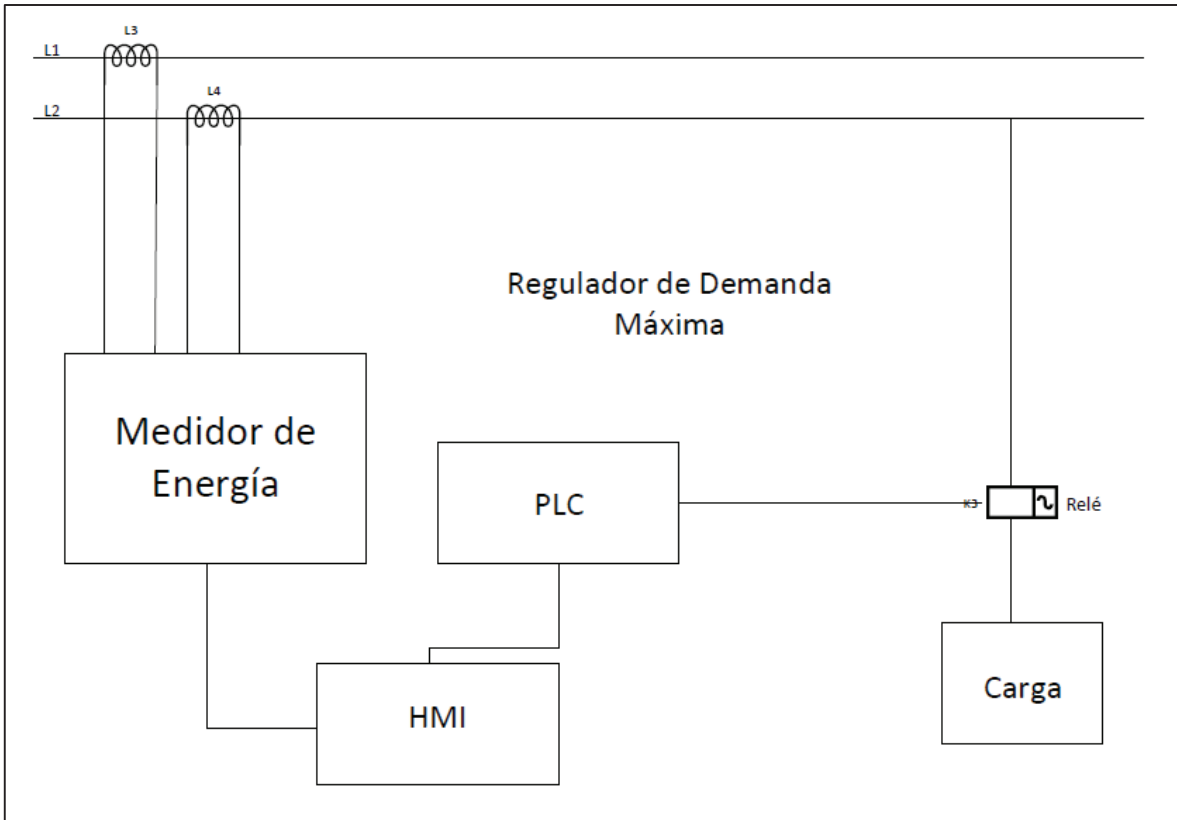


Figura 3.4. Diagrama de secuencia de la lógica en los equipos
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez definido la función de cada equipo, se debía de plantear la programación que llevaría cada uno de ellos, que como se indicó, era desarrollada en un gran porcentaje en la HMI a base de macros, por lo tanto, a continuación, se muestra lo desarrollado en cada equipo.

3.2.4 Equipos y programación

a) HMI (Human Machine Interface)

Se emplea una pantalla HMI, marca Kinco, modelo MT4220TE, esto debido a que son una marca distribuida por la empresa y que ofrece tanto confiabilidad como rentabilidad.



Figura 3.5. HMI Kinco MT4220TE
(Fuente: <http://www.kinco.cn/product/hmi>)

Una vez que se seleccionó la HMI, es necesario definir la información que se ingresará a través de ella y cómo será realizada esa acción, al respecto, se definieron los siguientes puntos que debían ser configurados en la HMI:

- ❖ Horario de los períodos punta a lo largo del día.
- ❖ Días de funcionamiento.
- ❖ Ingreso de la cantidad de cargas a administrar y sus parámetros de funcionamiento.
- ❖ Valor de “Set Point” o demanda máxima permitida.
- ❖ Días feriados en los cuales no se ejercerá el control de demanda.
- ❖ Configuración de los parámetros de red para la comunicación.
- ❖ Configuración para el control remoto mediante el protocolo VNC.

Además, debía ofrecer:

- ❖ Reportes diarios o mensuales de la demanda controlada.
- ❖ Supervisión en tiempo real del funcionamiento del control de cargas.

Su principal función es la de ofrecer una interfaz gráfica amigable con el usuario y, además, ejercer de maestro para el sistema, por lo que a continuación se explican ambas funciones.

➤ Gráfica:

Para ello empleamos el software desarrollado por la empresa diseñadora de la HMI, llamado *HMIware*, el cual se puede descargar gratuitamente de la página web de la empresa Kinco.



Figura 3.6. Ventana Principal HMI
(Fuente: Elaboración Propia)

La programación fue dividida en tres secciones:

→ Configuración

Dentro de la sección de configuración, la cual posee una contraseña, con el fin de que solamente personal autorizado pueda realizar cambios, se encuentran diversas ventanas que permiten asignar parámetros para que posteriormente, ya sea la HMI a través de las macros o el PLC con su programación, puedan ejercer el control de la demanda.

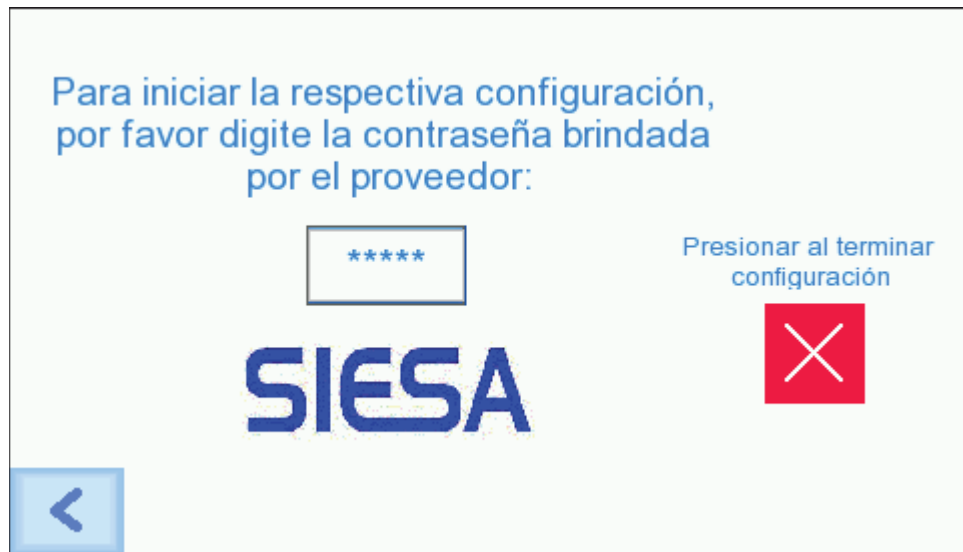


Figura 3.7. Ventana Contraseña del Sistema
(Fuente: Elaboración Propia)

En todo proceso productivo donde existen sistemas de control medulares, se requieren implementar niveles de seguridad, esto para evitar que cualquier operario, ya sea con buena intención o de manera maliciosa, modifique los datos de configuración y altere el proceso, por lo tanto, es recomendable instalar contraseñas que permitan el paso a secciones de la configuración esencial.



Figura 3.8. Ventana Menú de configuración
(Fuente: Elaboración Propia)

Se empieza por la asignación de los días de la semana, en los cuales se desea que se ejecute el análisis de demanda, esto da la posibilidad de deshabilitar algún día por motivos de fuerza mayor, tomando en consideración que el valor de demanda es tomado en un periodo de 15 minutos de cualquier día de facturación del mes.



Figura 3.9. Ventana Días de Funcionamiento
(Fuente: Elaboración Propia)

En la siguiente ventana se puede establecer el período de los diferentes horarios punta a lo largo del día, en los cuales se va a ejercer el análisis. Aunque en la mayoría de los casos los horarios punta son los mismos para las diferentes compañías eléctricas, aun así, es importante dejar como configurable el horario de estos periodos, ya que dependerá de la naturaleza de las cargas a administrar si se establece algún periodo previo y posterior a los horarios punta para el inicio de la administración. Generalmente se realiza el análisis unos 5 minutos antes del inicio del período punta y otros 5 minutos después de terminado este, pero quedará a criterio del experto realizar el estudio de las cargas y el horario de administración de dichas cargas.

Ahora bien, el punto principal de la configuración es establecer el punto límite de la demanda a la cual se le permitirá llegar, este punto es comúnmente llamado "Set

Point”, para ello existe una ventana donde se puede ingresar ese valor y además configurar la velocidad a la cual se ejecutará el análisis.

Establezca los horarios de administración de la cargas:

Horario Control Mañana		Horario Control Tarde
Inicio: <input style="width: 30px;" type="text" value="8"/> : <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>		Inicio: <input style="width: 30px;" type="text" value="12"/> : <input style="width: 30px;" type="text" value="31"/>
Final: <input style="width: 30px;" type="text" value="12"/> : <input style="width: 30px;" type="text" value="30"/>		Final: <input style="width: 30px;" type="text" value="20"/> : <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>

Digitar las horas en formato de 24 horas

Nota: Los períodos punta comprenden las siguientes horas:
Mañana: (10:00) a (12:30) Tarde: (17:30) a (20:00)



Figura 3.10. Ventana Días de funcionamiento
(Fuente: Elaboración Propia)

<p style="text-align: center;">Ingrese el valor de la máxima demanda permisible para la regulación del sistema:</p> <p style="text-align: center;"><input style="width: 80px;" type="text" value="200.00"/> kW</p>	<p style="text-align: center;">Ingrese el valor de tiempo en segundos para el inicio de desconexión de cargas:</p> <p style="text-align: center;"><input style="width: 50px;" type="text" value="1"/> D</p> <p style="text-align: center;">Ingrese el valor de tiempo en segundos para el inicio de conexión de cargas:</p> <p style="text-align: center;"><input style="width: 50px;" type="text" value="1"/> C</p>
--	--




Figura 3.11. Ventana Establecimiento del Set Point
(Fuente: Elaboración Propia)

Igualmente, dentro de la configuración se encuentran otras opciones para la configuración del acceso remoto mediante VNC. Esta aplicación permitirá la monitorización en tiempo real del sistema desde un lugar remoto al instalado, lo que lleva a poder verificar el correcto funcionamiento, ya sea desde la administración del usuario o desde la empresa proveedora del sistema, es útil también para obtener los reportes diarios o mensuales y efectuar el análisis de los ahorros obtenidos. Una opción que permite este tipo de HMI es la conexión como servidor y mediante el protocolo FPT con un programa para tal efecto es posible obtener los reportes de la HMI en formato de CSV y ahorrar así el tiempo que invierte el personal técnico en desplazarse hasta el lugar para solamente obtener este archivo.



Figura 3.12. Ventana Configuración de VNC Viewer
(Fuente: Elaboración Propia)

La opción para la configuración de días feriados es importante, ya que el cobro de demanda en las compañías distribuidoras exceptúan los días feriados establecidos por el código de trabajo en el artículo 148 de la ley 8442. Aunque en una industria podría ser importante ahorrar aun en días feriados, en el caso de un residencial donde las personas puedan hacer uso de las instalaciones en su día libre, sí sería importante.

Días Feriados (STOP)

	Día	Mes		Día	Mes		Día	Mes
1.	23	4	6.	0	0	11.	0	0
2.	0	0	7.	0	0	12.	0	0
3.	0	0	8.	17	4	13.	12	4
4.	0	0	9.	0	0	14.	0	0
5.	0	0	10.	0	0	15.	0	0

De conformidad con lo que establece el artículo 148 del Código de Trabajo y su reforma, según la Ley 8442. Año: 2016

Figura 3.13. Ventana Configuración de Días feriados
(Fuente: Elaboración Propia)

Para lo descrito en la sección del monitoreo remoto y transferencia de archivos, se necesita configurar la HMI a una red local, la siguiente ventana se encarga de asignarle una dirección IP, configurar el Gateway y el puerto. Además, se tiene la opción de configurar los puertos seriales, en los cuales se conectarán los demás equipos esclavos.

Parámetros de configuración de red

Dirección IP: 192 . 168 . 0 . 100

Gateway: 192 . 168 . 0 . 1

Puerto: 0

Configuración Puertos Seriales

COM 0 COM 1 COM 2

Figura 3.14. Ventana Configuración de parámetros de red
(Fuente: Elaboración Propia)

Por supuesto, parte fundamental, es la configuración de las cargas, esto se hace ingresando los datos que pide el sistema. Podemos elegir entre cargas puntuales o discretas (Apagado o encendido) o cargas donde sea la temperatura o la frecuencia el valor a regular.



Figura 3.15. Ventana Selección del tipo de cargas
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 3.16. Ventana Configuración de carga discreta en modo de control demanda
(Fuente: Elaboración Propia)

En el momento de realizar la configuración de las cargas, se tiene que definir el modo de control de la respectiva carga, esto permite elegir entre modo manual y por demanda.

En modo demanda, ejerce el control en horario punta, administrando las cargas que pueden entrar en funcionamiento de acuerdo con la demanda existente, para este fin es desarrollada una macro en código C, que será explicada más adelante. Solamente cargas que por su fabricación y naturaleza permitan apagados y encendidos constantes pueden ser clasificadas dentro de este tipo de administración, ejemplo de ellos pueden ser luminarias, aires acondicionados, entre otras.

En modo manual se asigna un horario específico para cada carga independientemente del horario punta, esto da la posibilidad de accionar las cargas en diferentes horarios a lo largo del día y, por lo tanto, ofrece la posibilidad de controlar demanda de forma fija. Esto será para el caso donde las cargas que se van a administrar no permiten que se estén realizando apagados y encendidos de manera constante y que afecten su vida útil, ejemplo de ello pueden ser motores de bombas o calentadores de gran potencia.



Figura 3.17. Ventana de configuración de carga discreta en modo de control manual (Fuente: Elaboración Propia)

Configure el horario que desea para Luminarias Piscina 1 y 2

	Inicio		Final			Inicio		Final	
	H	M	H	M		H	M	H	M
#1	0	0	0	0	#5	0	0	0	0
#2	0	0	0	0	#6	0	0	0	0
#3	0	0	0	0	#7	0	0	0	0
#4	0	0	0	0	#8	0	0	0	0

 **Digitar las horas en formato de 24 horas**

Figura 3.18. Ventana de configuración de horarios en modo de control manual
(Fuente: Elaboración Propia)

Para el caso de las cargas para el control de variadores de frecuencia y controladores de temperatura, la idea que se persigue no es apagar o encender estas, sino regular el valor de frecuencia, en el caso de los variadores, a uno de frecuencia menor donde el consumo del motor sea menor y en el caso de los controladores de temperatura, regular el valor de temperatura a otro menor para igualmente obtener un ahorro en la energía que consume el dispositivo, que puede ser un calentador de agua o algún horno industrial.

El valor de frecuencia o de temperatura al que se lleva el dispositivo en el momento del control de demanda, igualmente requiere de un estudio previo donde se determine ya sea el mínimo o el máximo valor al cual se regulará, esto teniendo en cuenta que no sea afectado ni la vida útil del equipo ni repercuta en el proceso productivo o el confort de las personas.

Estos equipos igualmente poseerán dos tipos de control de demanda, que funcionan igual que el caso de cargas discretas.



Figura 3.19. Ventana Configuración de variador de frecuencia
(Fuente: Elaboración Propia)

Para la configuración de las cargas que se refieren a motores y temperatura, se debe ingresar dos tipos de valores para frecuencia o temperatura. Uno es de operación para períodos donde no se ejerce control de demanda y otro de control para períodos de control de demanda.

→ Reportes

Aquí se pueden obtener los historiales de los datos de interés, se pueden acceder a reportes mensuales o diarios, a la vez se pueden acceder a la visualización de los archivos que posee en memoria la HMI.

Es aquí donde entra en función el datalogger¹ de la HMI, por lo tanto, para la creación de cada reporte dependerá del medidor que sea instalado y a la hora de realizar la programación, buscar en el manual las direcciones de interés para la creación de los reportes y así realizar la configuración adecuada.

¹ Datalogger: Historial de los datos que provee un equipo de medición.



Figura 3.20. Ventana Generación de Reportes
(Fuente: Elaboración Propia)

No.	Date	Time	Voltaje (V)	Corrient
0	30/11/99	00:00	0	0
1	30/11/99	00:15	0	0
2	30/11/99	00:30	0	0

Fecha de Consulta: AAAAMMDD

Figura 3.21. Ventana de generación de reporte
(Fuente: Elaboración Propia)

Para la generación de reportes, se tiene la opción para guardar los datos en un archivo de Excel, este será guardado en la memoria de la HMI. Luego mediante la opción de transferencia de archivos por el protocolo FTP y conexión a internet, se puede obtener este archivo desde un lugar remoto y así ahorrar en el tiempo de traslado hasta el lugar para consultar los valores de los reportes históricos.

→ Supervisión

Se accede a una visualización del RTC² de la HMI, además de los datos en tiempo real del medidor de energía. Una ventana permite la visualización de las cargas asignadas al control y además el estado, por consiguiente, se obtiene en tiempo real el funcionamiento del sistema.



Figura 3.22. Ventana de supervisión del sistema
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 3.23. Ventana de supervisión de cargas
(Fuente: Elaboración Propia)

² RTC: Real Time Clock

➤ Maestro:

La utilización de las macros es fundamental en esta parte, aprovechar la función de este equipo es crucial para la creación del modelo, ya que es necesario que toda la información anterior sea tomada por un maestro y realice el análisis necesario. Ahora bien, como la meta perseguida es que la programación realizada se ajuste a cualquier escenario de este tipo de control, el desarrollo en código C de las macros son una opción que no se puede dejar escapar.

En cada una de las ventanas que se desarrollaron, los datos que se ingresan se direccionan a un registro interno de la HMI, que posteriormente se llaman desde las macros para ejercer la lógica, de ahí depende un fuerte control de las direcciones o tags como se conocen comúnmente, para lograr así la correcta ejecución de la programación.

De manera resumida se expone a continuación lo desarrollado en cada macro creada, no se pueden brindar detalles del código de manera completa debido a un acuerdo de confidencialidad con la empresa para la protección del sistema desarrollado.

- Primera Macro (Detección de Día): Dentro de las configuraciones se puede escoger el día que se desea que ejerza el control de demanda, para eso existe una ventana en la sección de configuración que permite seleccionar los días de la semana que funciona el sistema. Al ser seleccionado un día, la macro lo detectará y enviará la señal a la macro responsable de la administración de la demanda.

En la siguiente imagen se muestra una parte del desarrollo en código de la macro. No se pueden brindar los detalles de manera específica, pero se muestra la forma en que estas son programadas siguiendo las pautas de programación de código C con las respectivas librerías y comandos propias de este lenguaje.

```

1  #include "macrotypedef.h"
2  #include "math.h"
3
4  /*
5   Controlador de Demanda
6
7   Esta macro de encarga de verificar que días estan activados para el análisis
8   y con esta información, enviar a la macro que se llama "macro.horarios.c" el correspondiente
9   bit indicando que se efectue para ese día el análisis de las cargas.
10
11   Juan C.
12
13  */
14  int MacroEntry()
15  = {
16  = if (lunes==1){
17  =     lunesactivado=1;           // Si lunes (LB 0) esta activado, envía la señal de lunesactivado (LB 7) a la "ma
18  = }
19  = else{
20  =     lunesactivado=0;           // De lo contrario, mantiene el bit (LB 7) en cero para que no efectué el análisis
21  = }
22
23  = if (martes==1){
24  =     martesactivado=1;         // Si martes (LB 1) esta activado, envía la señal de martesactivado (LB 8) a la
25  = }
26  = else{
27  =     martesactivado=0;         // De lo contrario, mantiene el bit (LB 8) en cero para que no efectué el análisis
28  = }
29

```

Figura 3.24. Macro de detección de días
(Fuente: Elaboración Propia)

- Segunda Macro (Horarios): Como bien se sabe, el horario punta donde se controla la demanda, tiene dos períodos a lo largo del día, por lo que una ventana dentro de la configuración permite conformar el horario en donde se hará el control, esta macro al igual que la del día, enviará una señal para que la macro de control inicie su ejecución en el horario establecido.

```

1  #include "macrotypedef.h"
2  #include "math.h"
3
4  /*
5   Controlador de Demanda
6
7   Esta macro de encarga de realizar el análisis de cargas según el horario que el usuario halla
8   establecido, recordando que al día existen dos horarios punta, este realizará el análisis durante
9   los dos períodos establecidos. Se manejan los horarios mediante matrices, debido a que es necesario
10  que tome el dato completo de hora, minutos y segundos para efectuar la comparación, de lo contrario
11  realizará las comparaciones de forma errónea al considerar cada dato aislado.
12
13  Juan C.
14
15  */
16  int MacroEntry()
17  = {
18
19  = switch (dia){
20  = case 0:
21  =     if (((Horario_manana[0]==Hora_actual[2] && Horario_manana[1]<Hora_actual[1]) || Horario_manana[0]<Hora_actual[2]) && (
22  =         estado=1;
23  =     else if ((Horario_manana[0]==0 && Horario_manana[1]==0) && (Horario_manana[2]==0 && Horario_manana[3]==0) && (Horar
24  =         estado=0;
25  =     else{
26  =         estado=0;
27  =     }
28  =     break;
29

```

Figura 3.25. Macro Horarios
(Fuente: Elaboración Propia)

- Tercera Macro (Administración): El desarrollo de esta macro se hace consiguiendo la creación de un vector con las cargas que se han determinado para el análisis, donde siempre entrará un vector con el estado de las cargas y saldrá otro con el nuevo valor del estado de estas una vez ejecutado el análisis. Cuando es recibida la señal de las dos macros anteriores, se procede a realizar el control de las cargas que han sido seleccionadas para la administración. Es así como inicia un control por ciclos, donde se estará determinando las cargas que se apagan, encienden o regulan dependiendo de la comprobación de la demanda actual y el valor del Set Point. En caso de cargas puntuales, se envía la señal de apagado y encendido y el caso de variadores de frecuencia para el control de motores se envía una señal para que el cambio de frecuencia se efectuó de acuerdo con los parámetros configurados. Esto mismo sucede para los controladores de temperatura, donde la variable de temperatura es modificada según los valores preestablecidos.

Al terminar el análisis de las cargas, se obtiene como resultado una o un conjunto de cargas controladas de manera que la demanda es regulada a un valor correspondiente.

Para esta macro no se especificará el código desarrollado, pero se expondrá un diagrama más adelante correspondiente al flujo de la lógica que se siguió.

- Cuarta Macro (Variadores y Controladores de temperatura): Esta macro se encarga de recibir la señal de la macro de administración para el control de un variador de frecuencia o un controlador de temperatura y en vez de apagar o encender este, lleva la variable (Frecuencia o Temperatura) al valor deseado para el control de la demanda.

Además, se encuentran un conjunto de macros secundarias, por ejemplo, una macro se encarga de simplemente formar el vector de cargas, donde se asigna la dirección del PLC correspondiente al estado de las cargas hacia direcciones propias de la HMI, asimismo sirve para la asignación del registro de frecuencia de

los variadores o temperatura de los DTB's a las direcciones seleccionadas para tal función en la HMI.

```
1  #include "macrotypedef.h"
2  #include "math.h"
3
4
5  int MacroEntry()
6  = {
7  PLC1[0]=HMI[0]; // Luminaria Piscina 1 y Luminaria Piscina 2
8  PLC1[1]=HMI[1]; // Luminaria Piscina 3 y Luminaria Piscina 4
9  PLC1[2]=HMI[2]; // Bomba de Aspirado
10 PLC1[3]=HMI[3]; // Bomba de Rebalse
11 PLC1[4]=HMI[4]; // Bomba de Jacuzzi
12 PLC1[5]=HMI[5]; // Calentador
13 PLC2[0]=HMI[6]; // Tomas Pergola
14 PLC2[1]=HMI[7]; // Luces Malla
15 PLC2[2]=HMI[8]; // Luces Piscina
16 PLC2[3]=HMI[9]; // Luces de Jardín
17 PLC2[4]=HMI[10]; // Luces malla 1 y luces malla 2
18 PLC2[5]=HMI[11]; // Luces malla 3 y luces malla 4
19     return 0;
20 }
21
```

Figura 3.26. Macro de Asignación de direcciones
(Fuente: Elaboración Propia)

La principal novedad en la programación de las macros es la utilización de vectores, por eso en la mayoría de la programación se hace referencia a elementos de vectores y se designan en la posición dentro del vector mediante paréntesis cuadrados.

A continuación, se muestra a manera de diagrama de flujo, la lógica que persigue el sistema para la administración de las cargas y que es ejecutada en la macro número 3 de administración. Estas macros representan una función dentro de la HMI, por lo tanto, es de vital importancia configurar el inicio y el tiempo mediante el que se ejecuta la macro, que generalmente se hace mediante un timer³ propio de la HMI.

³ Timer: Temporizador interno de la HMI que define el tiempo cíclico de la ejecución de la macro.

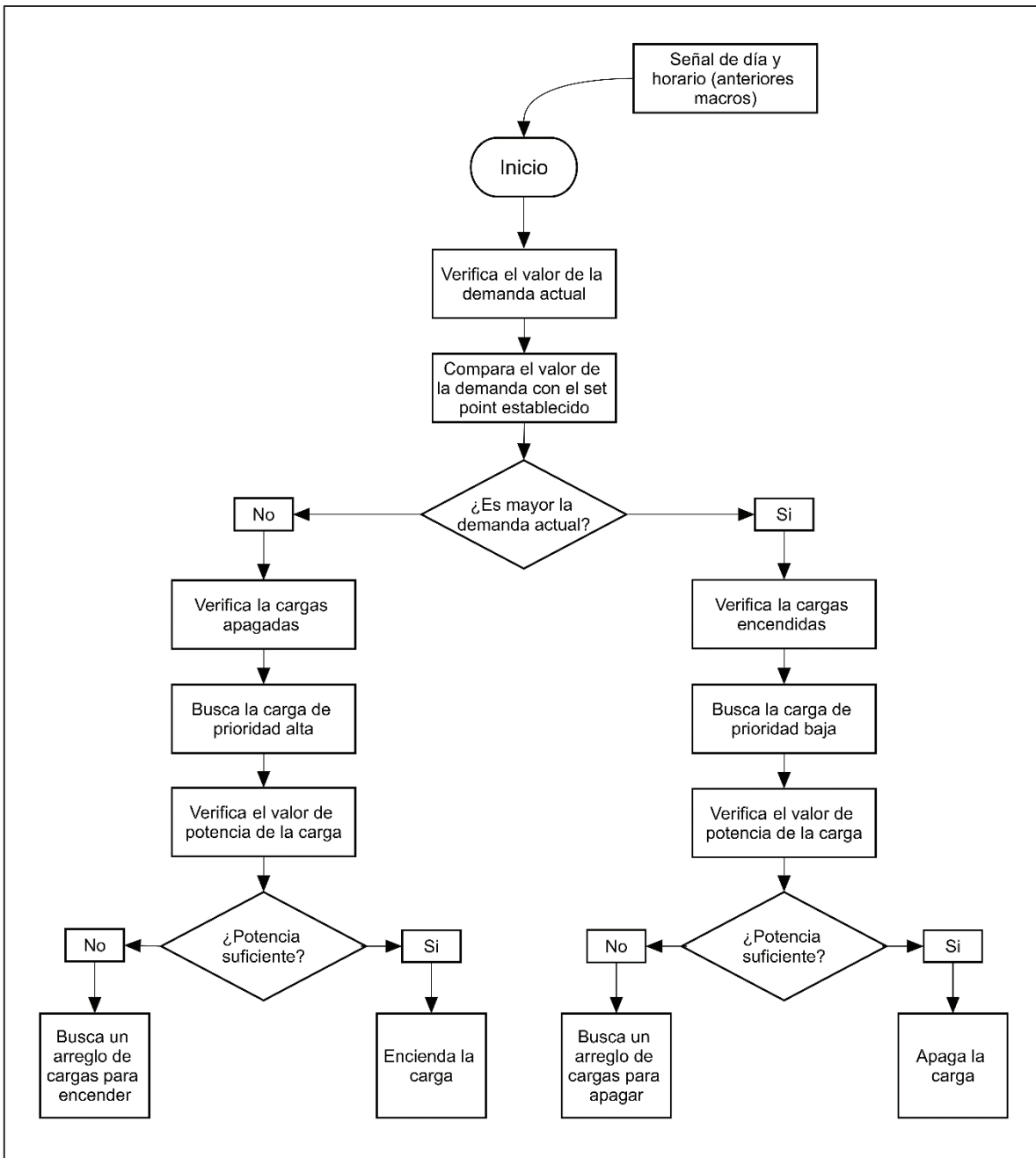


Figura 3.27. Diagrama de flujo de la macro desarrollada para la administración de cargas (Fuente: Elaboración Propia)

b) PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC empleado es de la marca Delta, modelo DVP-14SS2, el cual presenta las siguientes características:

Tabla 3.1. Especificaciones PLC DVP14SS2
 (Tomado de: <http://www.deltaww.com/Products/>)

Especificaciones	Valor
Alimentación:	20.4 - 28.8 VDC
Entradas Digitales:	8 entradas, 24 VDC
Salidas Digitales:	6 salidas de relé
Comunicación:	RS-232 and RS-485, Modbus ASCII/RTU maestro o esclavo
Capacidad de Programa:	8 k pasos
IO salidas:	Hasta 238 vía módulos de expansión



Figura 3.28. PLC Delta DVP-14SS2
 (Fuente: <http://www.deltaww.com/Products/>)

En este caso el PLC estará funcionando como esclavo, el cual se encargará de informar a la HMI del estado de las cargas y luego de que este ejecute su análisis, enviará al PLC la información de las cargas por encender o apagar. Esto lleva a una programación sencilla del PLC, en donde se puede realizar un bloque poco complejo para cada una de las cargas que se conectará, como lo podemos ver en la siguiente figura.

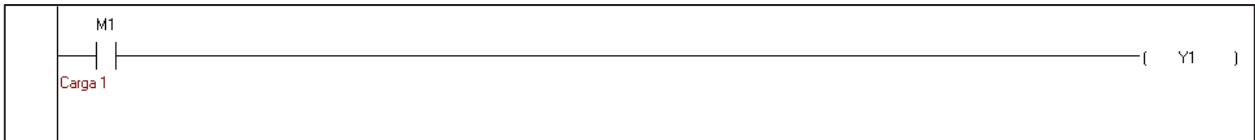


Figura 3.29. Programación de bloque para cada carga
(Fuente: Elaboración Propia)

La marca que se denota como M1, es la que se encargará de abrir o cerrar la salida Y1 que corresponde a la salida del PLC que encenderá o apagará la carga, por lo tanto, será esta marca M1 la que se manipulará desde la HMI para la administración y la salida Y1, con el propósito de conocer el estado de la carga.

Aparte de la programación de los bloques, es importante realizar la configuración de las opciones de comunicación con la HMI, que para el caso del modelo emplea el protocolo modbus con RS-232, por lo tanto, es necesario tener claro los datos de transferencia e incluirlos en la configuración del PLC.

Es válida la sugerencia de utilizar en este punto un relé inteligente en vez de un PLC, esto es permitido en casos donde se manejan cargas puntuales, pero en este caso se prevé emplear una lógica más compleja para el manejo de una carga, ejemplo de ello pueda ser que se encuentre con una carga analógica y esto hará que se tenga que realizar un tratamiento más extenso y por lo tanto complicado de hacer en un relé inteligente.

El software empleado para la programación de este PLC se llama *WPLSoft*, el cual provee la empresa Delta Electronics y está a disposición del público gratuitamente en la página web de dicha empresa.

c) Medidor de Energía

El sistema está abierto para que pueda ser cualquier medidor el que se instale, desde luego que debe ser compatible con los protocolos de comunicación de la HMI, bien podría ser mediante Modbus o Ethernet. Es importante contar con los registros correctos para cada parámetro y ser configurado en el datalogger de la memoria de la HMI.

Para el caso de la práctica, se desarrolló considerando un Medidor Marca Archmeter PA-330. Esto debido a que es la marca que distribuye la empresa y es el que por ende utiliza en la mayoría de sus proyectos.



Figura 3.30. Medidor Archmeter PA330
(Fuente: <http://www.archmeter.com/style/frame/templates1/>)

Este medidor es conectado a la red eléctrica mediante transformadores de corriente, comúnmente llamados “Donas”, estos se encargan de enviar la información necesaria para el procesamiento del medidor, por lo tanto, debemos conocer la relación de transformación de los transformadores y ser configurado en el medidor para la correcta interpretación de los datos.

La conexión a la pantalla HMI se realiza utilizando el protocolo de comunicación Modbus, donde se utiliza el puerto serial RS-485. En caso de contar con la posibilidad de realizar la conexión mediante Ethernet, es importante el manejo de la dirección IP de cada equipo para evitar problemas en la transferencia de información.

d) Contactores

Cada salida del PLC, irá conectada a contactores de interfaz que son puestos en las líneas de las cargas para realizar el respectivo cierre o la apertura de la conexión. Esto se realiza para no comprometer las salidas de los PLC por las altas

potencias que se pueden llegar a administrar. Por lo tanto, se requiere de una correcta selección de los contactores, dependiendo de la potencia de cada carga.

e) Equipo Adicional

Aparte de los equipos que se describieron, existen muchos más que son necesarios para poder llevar a cabo la totalidad del proyecto, pero que serán utilizados en marca y cantidad dependiendo de la disponibilidad de la empresa y los requerimientos del usuario. Se enlistan los más principales de ellos:

1. Transformadores de corriente (Donas).
2. Tableros de distribución.
3. Tubería o ductos.
4. Tornillería.
5. Conectores de comunicación.
6. Cable de control.
7. Bornes.
8. Fuentes de potencia.
9. Uniones de empalme.
10. Rieles.

Es importante añadir que dentro de las consideraciones para la elaboración de un presupuesto se debe considerar aspectos como la mano de obra de ingenieros y técnicos, además de otros servicios como el transporte y arreglo de configuraciones existentes en el lugar de instalación.

f) Comunicación

El siguiente diagrama muestra los protocolos de comunicación que se utilizan con estos equipos, es importante destacar que, si se desea modificar algún equipo del modelo creado, el protocolo de comunicación puede cambiar, pero mientras se mantengan los mismos equipos, estos serán los que se recomiendan para la operación óptima de cada aparato.

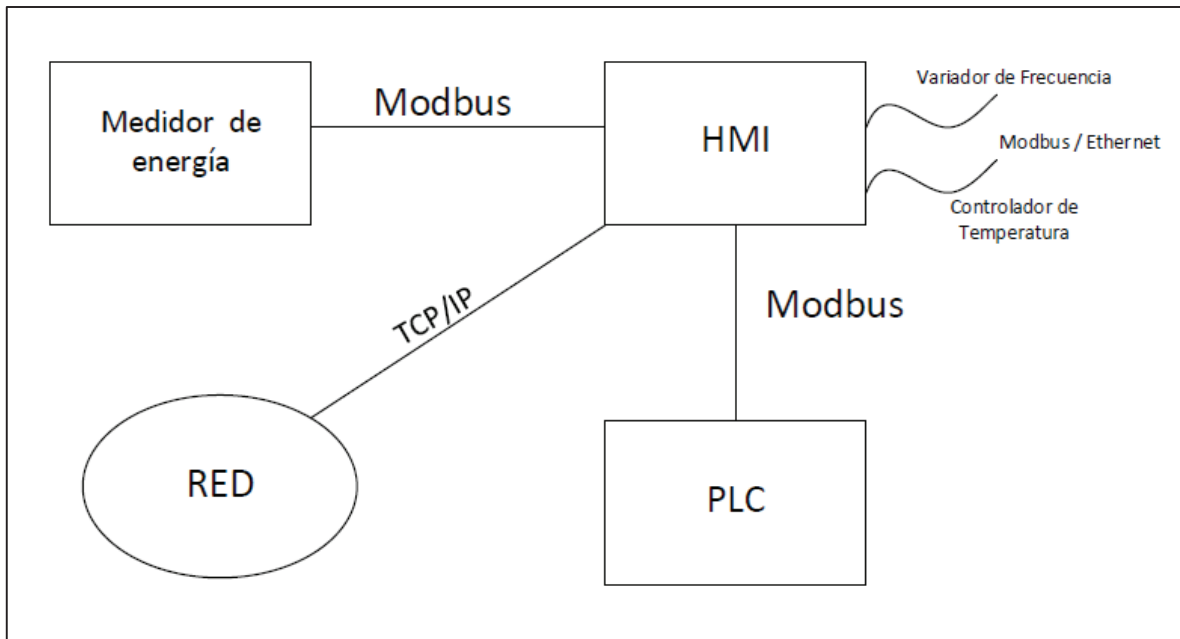


Figura 3.31. Diagrama de conexión de comunicaciones Modbus y TCP/IP
(Fuente: Elaboración Propia)

3.3 Mantenimiento

El mantenimiento de un equipo como estos no debe considerarse solamente cuando este se encuentre instalado, si no debe de planearse desde las etapas iniciales del diseño y configuración. Es por ello que cada decisión que se tome en cuenta a la hora del diseño debe ir acompañada de cómo en el futuro realizar un correcto mantenimiento del sistema.

Consideraciones para la Instalación

- El tablero debe ser instalado en un lugar seguro, libre de cualquier agente ambiental que ocasione la degradación de este y por consiguiente ponga en peligro los equipos dentro de él.
- Una enumeración adecuada de cada uno de los conductores y equipos de control, esto para facilitar la detección de algún error a la hora del cableado o en posteriores sustituciones de equipo, para realizar las conexiones con éxito.

- La instalación de los transformadores de corriente (Donas) se debe realizar lo más cercano al tablero siempre y cuando sean conectados sobre las líneas principales donde está instalado el medidor de la compañía eléctrica. Debe de considerarse que estas no estén expuestas a algún agente ambiental dañino o que, por el contrario, sean instaladas en un lugar donde dificulte las posteriores revisiones o sustituciones de estos.
- La distancia a la que se encuentre el o los PLC's, debe ser tal que no sobrepase los límites de eficiencia para el protocolo de comunicación escogido, igualmente, si es instalado en un lugar lejano al centro de control donde se ubica el maestro, considerar que el trayecto del cableado esté protegido contra cualquier daño por el ambiente o accidentes con personas.

Consideraciones para rutinas de mantenimiento

- Verificar el estado físico del tablero, para así detectar alguna avería causada por humedad o exposición prolongada al sol. Esto dará un primer análisis de las condiciones a las cuales se encuentra el tablero y el resto del equipo.
- Es importante revisar el estado de cada componente dentro del tablero, para ello se puede emplear una inspección visual de cada uno y en el mejor de los casos acompañarlo con análisis de termografía, esto será esencial para verificar si existe algún sobrecalentamiento que sea ocasionado por corrientes excesivas que puedan dejar fuera de funcionamiento algún equipo esencial para el control de la demanda.
- Si después de revisar las instalaciones físicas del sistema controlador persiste alguna falla en el control de demanda, es importante verificar que la hora y la fecha (RTC) se encuentran bien configuradas, esto es posible realizarlo desde la ventana de supervisión de la HMI.
- Corroborar que los datos que el medidor despliega sean los mismos que la pantalla HMI está recibiendo, esto da un estado de la comunicación entre el medidor y la HMI. En caso de encontrar que los datos no coinciden se debe revisar que los puertos de comunicación se encuentran en buen

funcionamiento y verificar que los registros de comunicación de cada parámetro no se hayan desconfigurado.

- En caso de encontrar alguna anomalía con la comunicación del PLC, igualmente es necesario primero revisar las conexiones físicas y luego la configuración de los registros y las características de comunicación como son la velocidad de transmisión, bits de datos, bits de parada y la paridad. Estos tienden a cambiar si existen pérdidas de energía en los equipos y vuelven a sus valores predeterminados, por eso es conveniente no modificar estos valores a la hora de realizar la programación siempre y cuando sea posible.
- Es recomendable revisar todos los datos que han sido configurados en la HMI, esto ofrecerá un panorama del correcto funcionamiento del sistema. Esto debe de realizarse con el correspondiente cuidado para no modificar los existentes y que se encuentran bien.

Consideraciones para el cambio de equipo

- El sistema tendrá un disyuntor o breaker que protegerá la fuente de potencia, por lo tanto, en casos de necesitarse la sustitución de algún equipo como primer paso es el suprimir de toda potencia a los equipos de control, esto se hará por medio del breaker instalado.
- Cuando se haga la sustitución de un equipo por otro de diferentes características, es necesario configurar los demás equipos que tienen conexión con el nuevo equipo. Estos podrían ser datos de comunicación o incluso podría tratarse de espacio dentro del tablero.

4 Implementación

4.1 Contexto

Un Residencial ubicado en Santa Ana, en San José de Costa Rica, del cual no se especificará el nombre por acuerdos de confidencialidad, requería de implementar un sistema de ahorro de energía y control de demanda máxima en las instalaciones de la Casa Club del mismo. En dicho establecimiento se encuentra un salón para eventos sociales, una cocina, baños, una piscina, un jacuzzi, y zonas verdes para entretenimiento. Dentro de las cargas de energía que se encuentran instaladas se encuentran luminarias perimetrales a la piscina y dentro de ella, además de luminarias, una pérgola, una malla y el jardín. Como cargas principales se encuentran los sistemas de abastecimiento, mantenimiento y tratado del agua de la piscina, como lo son, bombas de aspirado, de rebalse y del jacuzzi; además de un calentador para la piscina.

La empresa que se encarga de suministrar energía eléctrica al condominio es la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). La tarifa que se encontraba vigente antes de la instalación del sistema era la T-GE General y entre los acuerdos por parte de la empresa y la administración de la Casa Club del Residencial para generar un ahorro aún mayor en el manejo de la demanda, era el cambio de tarifa, pasando de la General, la cual factura la demanda máxima sin importar el período, a la promocional, la cual establece:

“La demanda máxima que se facturará será la carga promedio más alta en kW, para cualquier intervalo de quince minutos durante el mes, que se registre entre las 10:00 y las 12:30 horas o entre las 17:30 y las 20:00 horas (horas punta), siempre y, cuando la potencia registrada en las horas pico sea al menos un 80% menor que la potencia máxima del período. De no cumplirse con las condiciones antes mencionadas, la potencia facturada será la más alta registrada en el período de facturación, independientemente de la hora punta. No se tomarán en cuenta para efectos de facturación, las demandas registradas los días sábados, domingos y los días feriados, estos últimos de conformidad con

lo que establece el artículo 148 del Código de Trabajo y su reforma, según la Ley 8442, lo anterior aplica solamente a los feriados de pago obligatorio.”⁴

Aparte del control de la demanda en este horario, se debía garantizar que el ahorro en este período iba a ser del 80% de los otros períodos, por lo que se debía de realizar un análisis de las cargas y en un período ya sea nocturno o valle hacer la conexión de la mayor cantidad de cargas durante un lapso de 15 minutos o más, para que, a la hora de reducir estas en el horario punta, se registrara ese 80% de ahorro. Cabe aclarar que resulta más económico mantener esas cargas conectadas en esos horarios, que lo que registrarían en demanda si se realiza la conexión en el horario punta.

Para el inicio de una implementación de un sistema como el diseñado, es importante iniciar por un análisis del perfil de carga por parte del usuario, para llegar así a establecer criterios de funcionamiento acordes con las necesidades reales presentes en el contexto por mejorar.

4.2 Estudio del Perfil de Carga

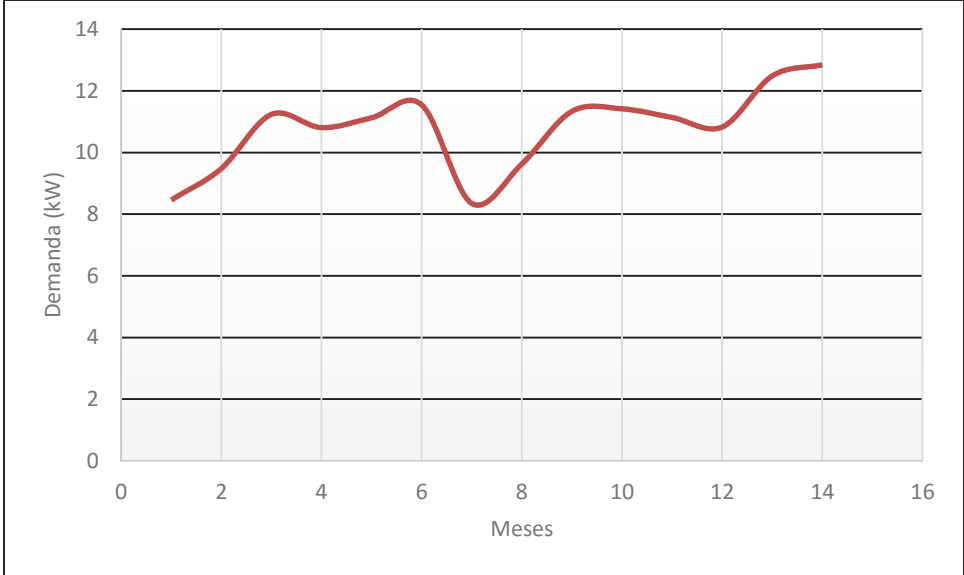
Para el estudio de perfil de carga se solicitaron a la administración del Residencial los recibos correspondientes a los 12 meses anteriores a la fecha de instalación, esto para obtener un histórico tanto de energía como de demanda y así conseguir los valores promedios de cada uno y trabajar con base en estos para la regulación de la demanda y la energía. Muy importante aclarar que algunos meses registraron valores de demanda y energía más altos de lo normal, esto respondía a un período de construcción dentro del residencial, por lo tanto, para el estudio del perfil de carga no fueron tomados en cuenta.

En este caso como se presenta un contexto donde lo primordial es la regulación de la demanda en el horario punta, el análisis del perfil de carga se realiza con el

⁴ Tomado de la página web de la CNFL: www.cnfl.go.cr/index.php/servicios-cnfl

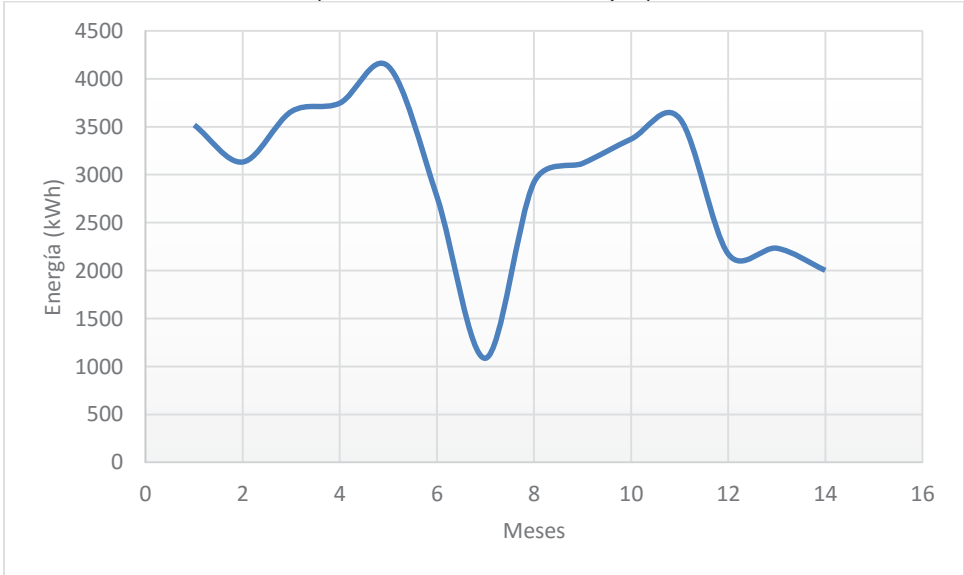
historial de los datos mensuales, esto debido a que es muy variable el horario de estas cargas durante el día para efectuar el estudio de manera diaria.

Gráfico 4.1. Histórico de Demanda Casa Club
(Fuente: Elaboración Propia)



A partir de los datos anteriores se obtiene un promedio de demanda de 10,75 kW. Este valor será el que se utilizará para calcular los ahorros posteriores a la instalación del sistema en cuanto a demanda.

Gráfico 4.2. Histórico de Energía Casa Club
(Fuente: Elaboración Propia)



El anterior gráfico muestra el historial de la energía consumida en los mismos meses que se registró la demanda, este análisis arrojó un promedio de 3440 kWh. Igual que el anterior, será útil para el cálculo correspondiente del ahorro generado una vez que se obtengan los datos con el sistema instalado.

4.3 Cargas Seleccionadas

Como se indicó, una de las metas era la reducción de la demanda en horario punta de un 80% con respecto a los demás períodos, esto llevó a un análisis detallado de las cargas que se encontraban en la Casa Club que presentaban las mayores demandas y prioridades moderadas.

Tabla 4.1. Cargas administradas en la Casa Club
(Fuente: Elaboración Propia)

1. Tomacorrientes Pérgola	2. Luminarias Piscina 1
3. Luminarias Malla Principal	4. Luminarias Piscina 2
5. Luminarias Perimetrales Piscina	6. Bomba de Aspirado
7. Luminarias Jardín	8. Bomba Rebalse
9. Luminarias Secundarias Mallas 1	10. Bomba Jacuzzi
11. Luminarias Secundarias Mallas 2	12. Calentador

De las cargas seleccionadas, cuatro de ellas presentan las mayores demandas, estas son obtenidas a partir de los datos de placas de cada equipo, la cuales se enlistan a continuación.

Tabla 4.2. Datos de demanda de cargas principales
(Fuente: Elaboración Propia)

Carga	Demanda (kW)
Bomba de Rebalse	2,24
Bomba de Aspirado	1,49
Bomba de Jacuzzi	0,75
Calentador	5,69
Total	10,17

Si consideramos 10,75 kW como la demanda máxima que se debe controlar y que representa el 100%, los cálculos correspondientes muestran que los 10,17 kW, que corresponden a las cargas de mayor consumo, representan un 94,6%. Estos resultados muestran a su vez que el control de estas cargas en los horarios punta es el punto clave para lograr el objetivo del cambio de tarifa, además de ellas, se pueden añadir al control las demás cargas en lista y que ofrecerán un respaldo al control de la demanda.

Al ser un sistema que ya fue implementado, el nuevo sistema debía ajustarse a las conexiones ya existentes, en donde se había efectuado dos PLC's, esto debido a la ubicación de las cargas dentro de la casa club, por lo tanto, las cargas se encuentran divididas como lo muestra la siguiente tabla, con respecto a cada PLC, esto en tableros aparte.

Tabla 4.3. Distribución de cargas para los PLC.
(Fuente: Elaboración Propia)

PLC #1	PLC #2
Tomacorrientes Pérgola	Luminarias Piscina 1
Luminarias Malla Principal	Luminarias Piscina 2
Luminarias Perimetrales Piscina	Bomba de Aspirado
Luminarias Jardín	Bomba Rebalse
Luminarias Secundarias Mallas 1	Bomba Jacuzzi
Luminarias Secundarias Mallas 2	Calentador

La HMI, como se explicó en el desarrollo del sistema, ejercerá la labor de maestro, debe de tomar cada una de esas cargas independientemente del PLC, formar un vector del estado de estas para empezar el análisis y según lo que sea configurado en el modo de control, si es por demanda en un horario punta establecido o si es por un horario fijo como se pretende en algunas de ellas, controlar la potencia demandada.

La metodología desarrollada en la macro #3 (Administración), emplea un vector formado por el estado de cada una de las cargas conectadas al controlador, es así, como en la HMI existen un vector de bits predeterminados que se encargan

de llevar la señal de cada carga. Luego del análisis un nuevo vector con los nuevos estados es el responsable de la ejecución del control.

Ejemplo de lo anteriormente descrito y como sucede en este caso, la bomba de aspirado representa la tercera salida del PLC 2, el estado de esta carga es administrado por la marca M3. Una vez designado esto, en la HMI mediante la configuración de la macro respectiva, se asigna esta marca a un bit interno de la HMI, que en este caso corresponde a la LB 686 y de esta manera el algoritmo se encarga de tomar las decisiones para cada una de las cargas que se asignan de esta manera.

La elaboración de esta macro que se encarga de la asignación de cada estado de las cargas es de los pocos pasos que el programador debe realizar en los ajustes de programación en el software de la HMI.



Figura 4.1. Tablero 1
(Fuente: Tomado en el lugar de Proyecto)



Figura 4.2. Tablero 2
(Fuente: Tomado en el lugar del Proyecto)

4.4 Equipos Instalados

Los equipos instalados en el lugar para el anterior sistema de control de demanda eran los siguientes:

Tabla 4.4. Equipos instalados en la casa club
(Fuente: Elaboración Propia)

Cantidad	Equipo
1	Medidor de Energía Archmeter PA - 330.
1	PLC Delta DVP14EC00R3.
1	PLC Delta DVP14SS211R.
1	Controlador de Temperatura Delta DTB
1	Pantalla Touch screen HMI Kinco MT4220TE
14	Contactores Silenciosos Chint NCH8
2	Transformadores de corriente

Aparte de eso, existe una gran variedad de accesorios que acompañan estos equipos como lo son cables, tuberías, conectores de comunicación, tornillería, entre otros.

Por lo tanto, la nueva versión del sistema, como requisito, era el no modificar ninguno de los equipos que se encontraban en el lugar. Esto era necesario porque no se podía hacer una nueva cotización para el residencial y era necesario aprovechar al máximo los que ya están instalados. Es así como las nuevas programaciones desarrolladas de la HMI y de los PLC, se debían de descargar en los equipos y hacer así, que funcionaran de manera adecuada.

4.5 Modo de Control

En este caso, las cargas que existían y que se debían de controlar para cumplir con lo requerido para la tarifa de facturación nueva, serían controladas en ambos modos. Unas son controladas en modo manual como algunas luminarias, esto significa que estratégicamente se van a encender o apagar en horarios distintos para garantizar el ahorro del 80% de la demanda, las restantes serían controladas en modo de demanda, donde en horarios punta vigilará que no se sobrepasa un set point establecido y serán solo estas las que regule en caso de encontrarse con valores altos de demanda.

Durante el desarrollo del proyecto, la empresa distribuidora hizo un cambio con respecto a la tarifa promocional, donde estableció un mínimo en el valor de demanda a 8 kW. En el caso de la Casa Club, al reducir un valor de 10,75 kW a un 80%, no era tan considerable el ahorro que se daría y considerando el valor de energía consumida que era 3440 kWh, el objetivo planteó la necesidad de regular este valor a números inferiores a los 3000 kWh y así no entrar dentro de la categoría de cobro de demanda.

En el análisis de las cargas seleccionadas, se concluyó que era necesario efectuar el control sobre las cuatro cargas principales, ya que garantizaba una reducción importante de la demanda, por lo tanto, estas cargas van a ser encendidas en horas que no corresponden al horario punta y luego, cuando se está en horario

punta estas cargas se regularán mediante un set point. Para lograr tal efecto es necesario establecer un set point durante el periodo punta, en el cual no permita que ninguna de estas cargas llegue a activarse.

Tabla 4.5. Horarios Punta Establecidos.
(Fuente: Elaboración Propia)

Casa Club de Residencial		
Descripción	Horario Encendido (hh:mm:ss)	Horario Apagado (hh:mm:ss)
Hora Punta Medio Día	9:55:00 a. m.	12:35:00 p. m.
Hora Punta Tarde	5:25:00 p. m.	8:05:00 p. m.

Las demás cargas que se incluyen serán controladas en modo de manual de manera que sea regulable el horario en que entrarán en funcionamiento, siempre y cuando no se vea perjudicada la demanda en el horario punta.

5 Análisis Financiero

5.1 Ahorro en programación

El proyecto tiene como uno de sus requisitos, la obtención de los mismos resultados que el anteriormente instalado, aunque ahora funciona de manera diferente, lo que garantiza una programación más eficiente y que no presente averías constantes debidas a ejecución de la lógica.

Por ello, una mejoría presentada es el ahorro en las horas de programación por parte del personal de la empresa para futuros proyectos. Según los datos recolectados en una entrevista a los ingenieros que desarrollaron el proyecto anterior y que se enfrentan día a día con proyectos de este tipo, un proyecto de controlador de demanda conlleva aproximadamente 48 horas (1 semana) de trabajo. El nuevo sistema está realizado para una duración de 12 horas en programación, esto en los ajustes correspondientes para cada equipo y escenarios diferentes que puedan surgir.

Con la nueva programación solo se duraría un 25 % del tiempo anterior, lo que representa un ahorro en la programación del 75 % del tiempo. En la mayoría de los casos, se debe de enviar técnicos al lugar donde han sido instalados estos sistemas para la verificación del correcto funcionamiento de este. En casos donde el sistema se halla instalado en el GAM⁵, implica un gasto en tiempo de unas 4 a 6 horas dependiendo del lugar, aparte de eso se deben de contemplar los gastos en combustible y viáticos en los que se incurren. Con la nueva aplicación de monitoreo remoto estas visitas se reducirían considerablemente, ya que las únicas que se deben de hacer son las que se encargan de dar mantenimiento a las instalaciones físicas.

⁵ GAM: Gran Área Metropolitana, comprende las 4 provincias principales: San José, Heredia, Alajuela y Cartago.

5.2 Ahorro en facturación

Para efectos de la importancia de la implementación de sistemas como el diseñado, se presenta algunos datos de interés del ahorro generado en el sistema de control de demanda instalado en la casa club del residencial; no se pueden presentar explícitamente cada uno de los rubros por acuerdos de confidencialidad, pero, se expone un resumen general.

Dentro de la factura que extiende la compañía suministradora de energía eléctrica, que en este caso es CNFL, se encuentran diversos rubros que son importantes considerar a la hora de la generación del ahorro, entre los cuales podemos citar:

- Energía.
- Demanda.
- Multa por bajo Factor de Potencia.
- Costo Variable de combustible.
- Alumbrado Público.
- Impuesto de Ventas.
- Tributo de Bomberos.

Dentro de ellos, el de mayor importancia para el sistema diseñado es el de demanda, y que tendrá repercusiones en el de energía, pero será este el principal rubro a regular y el cual dará los ahorros significativos.

Para generar un reporte de ahorro, es preciso obtener del estudio de perfil de carga del cliente, el valor de demanda y energía de los meses anteriores, los cuales pueden ser del último año y a partir de estos datos históricos, obtener un promedio del valor de demanda y energía y con respecto a estos valores comparar los nuevos valores una vez instalado el sistema, y así obtener un porcentaje de ahorro.

La siguiente tabla muestra la distribución de la factura de la Casa Club antes de la implementación del sistema anterior, los datos son el promedio del estudio realizado en el rango de un año de registros.

Tabla 5.1. Distribución de la factura eléctrica antes de control de demanda
(Fuente: SIESA)

Detalle	Monto	Porcentaje
Energía	₡ 234 717.5	55%
Demanda	₡ 127 208.7	30%
Otros	₡ 62 426.3	15%
Total	₡ 424 352.5	100%

En el estudio del perfil de carga se obtuvo como resultado que el valor de demanda correspondía a un 30% de la facturación y se si pretende hacer una reducción en el 80% de la demanda para el ahorro, esto significaría que la demanda ahora debería de ser solamente de un 6% en la nueva facturación.

Los siguientes datos son tomados de los registros guardados por la empresa en los meses de funcionamiento del sistema anterior, no sobra recalcar que el nuevo sistema debe de garantizar la continuidad del ahorro que se ha venido gestando.

Gráfico 5.1. Ahorro Generado en Energía de la Casa Club
(Fuente: Elaboración Propia)

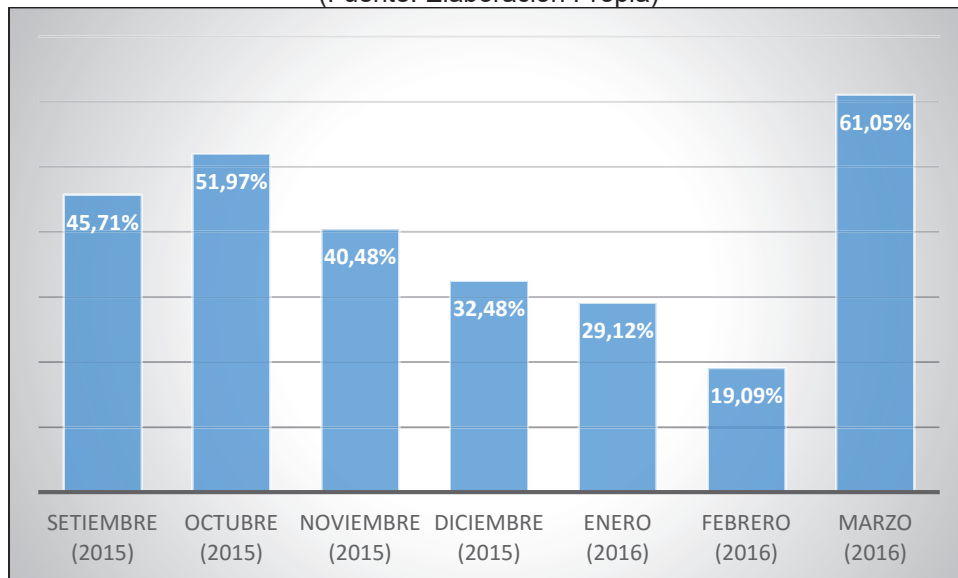


Gráfico obtenido de los reportes mensuales entregados por la empresa a la administración del residencial.

Del gráfico podemos verificar los ahorros mensuales que se han generado con la regulación de la demanda eléctrica, es preciso notar que entre los meses de diciembre y febrero se obtuvieron los ahorros más bajos, pero esto coincidió con la época seca donde por los fuertes vientos y el cambio de temperatura en la piscina, se utilizó mayormente el calentador de agua, además por estar en periodo de vacaciones se utiliza más frecuentemente la piscina, las luces, el salón de eventos y en general la mayoría de las cargas, sin embargo, aun así se registró un ahorro significativo en comparación con el valor promedio de demanda que se había obtenido del último año, en el cual no había sido instalado el sistema.

En el transcurso del proyecto, la empresa distribuidora hizo un cambio que no era muy beneficioso, ya que anteriormente se facturaba en la tarifa promocional el valor de demanda que se había registrado en el horario pico sin la consideración de un mínimo, la nueva regulación en la facturación establece un mínimo de 8 kW en la demanda y esto no es beneficioso para el proyecto, ya que si se considera reducir el valor de demanda en un 80% con respecto a los 10,75 kW considerados, el ahorro no se verá reflejado en gran escala.

La nueva alternativa surge al controlar por completo las cargas en los horarios punta, y con una estricta administración de las cargas lograr reducir la energía a valores menores a los 3000 kWh y así no obtener la facturación por demanda y lograr un ahorro significativo.

El proyecto implementado incluyendo mano de obra y materiales, presenta un valor aproximado de ₡3 980 539.05, siendo claros en que este valor puede variar dependiendo de las necesidades del cliente, donde se puede mencionar el número de cargas o los equipos con los que se cuenta en el lugar, pero que para el caso del residencial considerado, representa ese monto que será descontado a la empresa con base en los ahorros mensuales obtenidos con el sistema.

La reducción promedio en la factura por el concepto de demanda y energía con el controlador de demanda es de un 35%, en donde la nueva distribución en la factura es la siguiente:

Tabla 5.2. Distribución de la factura con el control de demanda
(Fuente: SIESA)

Datos	Monto	%Porcentaje
Energía	₡ 232,461.2	83%
Demanda	₡ 000,000.0	0%
Otros	₡ 45,109.4	17%
Total	₡ 277,570.6	100%

De la traducción de ese 35% a valores económicos, se obtiene un ahorro mensual de ₡ 146 782.5 lo que representa un 3,7% de la inversión inicial del proyecto.

Lo anterior, visto de manera anual y realizando un flujo de efectivo, viendo los ahorros como un ingreso neto al proyecto, a un periodo de 5 años y con una tasa de interés del 9%, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 5.3. Flujo neto de efectivo para el proyecto con tasa de interés
(Fuente: Elaboración Propia)

Año	Flujo neto de Efectivo	VAN
0	-₡ 3.980.539,05	
1	₡ 1.761.390,00	-₡ 2.169.343,96
2	₡ 1.761.390,00	-₡ 809.227,70
3	₡ 1.761.390,00	₡ 438.585,38
4	₡ 1.761.390,00	₡ 1.583.368,02
5	₡ 1.761.390,00	₡ 2.633.627,33

La tabla anterior muestra el flujo neto de efectivo para el caso del residencial si el producto se vendiera de contado y se realizará la inversión. En el caso de la empresa, en la contratación de este tipo de productos, la forma de pago se hace con los ahorros mensuales, donde la empresa recibe ese ahorro por mes y se va descontando del valor del proyecto. Por supuesto que ese ahorro se calcula

considerando los valores promedios de energía y demanda y se toma el precio actual para esos rubros a la hora de calcular ese ahorro cada mes. Es así como no se considera una tasa de interés en los pagos.

La tasa interna de retorno (TIR) es de un 34% al cabo del tiempo considerado, aun así, con el mantenimiento adecuado la vida útil del proyecto puede ser mayor aumentando la rentabilidad del proyecto. Además, el tiempo real de amortización es de 2 años y 3 meses en la modalidad de pagos con base en los ahorros mensuales, mientras si no se ofreciera esta alternativa el tiempo del retorno de la inversión visto desde el propio cliente es de 2 años y 6 meses. De lo anterior se puede observar como el tiempo de amortización varía en 3 meses de una forma a otra. Aun así, cada vez el monto de ahorro puede ser mayor en dinero por las actualizaciones en el cobro de las tarifas eléctricas por parte de las compañías distribuidoras.

Para el caso del cliente, sí es importante considerar la tasa de interés, esto para una correcta interpretación de los valores actuales netos de los flujos de efectivo al cabo de los años indicados.

Dependerá igualmente de una correcta monitorización, para lograr así que los ahorros perseguidos sean cumplidos en los montos deseados y así lograr descontar la inversión inicial y llegar a obtener los ahorros reflejados en la economía del cliente.

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se logró la creación de un modelo para el control de demanda eléctrica en sistemas residenciales, comerciales e industriales.
- A partir del estudio de las diferentes tarifas de facturación por parte de las empresas, se logró determinar el período de mayor facturación de demanda para las consideraciones de diseño del modelo.
- Se efectuó un análisis de los proyectos similares realizados por la empresa y se determinaron los puntos por reforzar en el modelo.
- Se hizo una visita al lugar del residencial y se tomaron los puntos débiles del proyecto anterior y se lograron incluir dentro de las mejoras.
- De la información encontrada en los proyectos anteriores, se hizo una lista de puntos por mejorar y estos fueron resueltos.
- Dentro de la programación, se incluyeron funciones extras para ampliar los contextos de aplicación del modelo.
- El equipo a utilizar en este proyecto fue seleccionado acorde con su rentabilidad y confiabilidad en la ejecución de estos proyectos.
- Los equipos fueron oportunamente programados para dejar la base de programación para los futuros proyectos.
- Se realizó un manual de instalación para el equipo técnico de la empresa para las posteriores instalaciones.
- Se realizó un manual de operación para la configuración en el sitio y la manipulación del producto por parte del cliente.
- El proyecto fue implementado en la Casa Club del Residencial obteniendo resultados satisfactorios, lo cual demuestra la funcionalidad del modelo.
- Se logró un 35% en la facturación con el controlador de demanda en la casa club del residencial.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio adecuado del perfil de carga para la posterior configuración del set point, este dependerá del ahorro que se desee.
- Las cargas que se conecten en la categoría de cargas puntuales deben permitir que puedan ser accionadas y apagadas en repetidas ocasiones, de lo contrario deben ser configuradas en otra sección como en el caso de motores o controladores de temperatura.
- Es importante seguir al pie de la letra los manuales de instalación y operación, para no incurrir en un error de comisión u omisión en la configuración del sistema.
- Para la potencia de cada carga es de utilidad comprobar los datos de placas con los valores reales de potencia medidos con un instrumento para tal fin, esto con el propósito de corroborar los datos del estudio de perfil.
- La frecuencia para los variadores en los periodos de control no debe comprometer la vida útil del motor en control, se recomienda no trabajar valores menores del 50% de la diseñada para el motor.
- Si dos o más cargas tienen el mismo valor de prioridad, el sistema escogerá la carga que repercuta en mayor grado en el control de la demanda. Por tanto, a la hora de escoger las prioridades se debe considerar este aspecto.

7 Bibliografía

- Archmeter Corporation. (abril de 2016). *Archmeter*. Obtenido de Archmeter: www.archmeter.com
- Area Tecnología. (abril de 2015). *Tecnología*. Obtenido de Tecnología: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>
- Cabanes, A. S. (Abril de 2015). *Topología de Redes*. Obtenido de Topología de Redes: <http://albertosantamariacabanes.blogspot.com/>
- Cabanes, N. (22 de marzo de 2016). *Fundamentos de Programación en C*. Obtenido de Fundamentos de Programación en C: www.nachocabanes.com
- CENCE (ICE). (2015). *Generación y Demanda: Informe Anual*. San José, Costa Rica.
- CNEE. (2010). *Curso Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica. Modulo 3: Administración de la demanda y la optimización del factor de potencia*. Guatemala.
- CNFL. (diciembre de 2015). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Obtenido de Compañía Nacional de Fuerza y Luz: <https://www.cnfl.go.cr/index.php/glosario-de-terminos-y-definiciones-os>
- Comisión Federal de Electricidad de México. (s.f.). *Administración y Control de su demanda de energía*. México.
- Delta Electronics. (diciembre de 2015). *Delta Electronics*. Obtenido de Delta Electronics: www.delta.com.tw
- Hurtado, J. (enero de 2016). *infoPLC.net/comunicaciones industriales*. Obtenido de [infoPLC.net/comunicaciones industriales](http://infoPLC.net/comunicaciones-industriales): www.infoPLC.net
- International Energy Agency. (enero de 2016). *Monthly Electricity Statistics*. Obtenido de Monthly Electricity Statistics: www.iea.org/statistics/topics/electricity
- Kinco Automation. (2008). *HMIware User Manual*. Shanghai.
- La Gaceta. (1994). *Ley 7447: Regulación del uso racional de energía*. San José, Costa Rica.

Madriz, A. V. (2005). *Implementación del sistema de control de demanda eléctrica a partir de la demanda predictiva de un medidor ION8500*. Cartago, Costa Rica.

Micro Automation. (03 de abril de 2016). *Micro*. Obtenido de Micro: www.microautomacion.com

Morera, A. L. (2015). *Curso de Automatización*. Cartago, Costa Rica.

National Instruments. (Marzo de 2016). *National Instruments*. Obtenido de National Instruments:

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D>

1

8 Anexos

Anexo 1: Desglose de la facturación para los servicios comerciales e industriales por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y luz.⁶

Tarifa General (T-GE)

Tabla A8.1. Tabla de facturación de la CNFL para servicios comerciales e industriales
(Fuente: www.cnfl.go.cr/index.php/servicios-cnfl/servicios-industriales)

Pliego Tarifario (rige a partir del viernes 01 de abril 2016)			
Gaceta N° 62 del jueves 31 de marzo del 2016 - Alcance Digital N° 47			
Bloques de consumo			
Menores o Iguales que 3.000 kWh	Mínimo 30kWh	¢ 3,679,20	
	Adicional	¢122,64	
Mayores a 3.000 kWh	Cargo por energía	Primeros 3.000 kWh	¢ 221,490.00
		Cada kWh adicional a	¢73,83
	Cargo por demanda	Primeros 8 kW o menos	¢ 92.469.36
		Cada kW adicional a	¢ 11.558.67

Tributo a Bomberos

Se crea, como fuente complementaria de ingresos para la operación y el crecimiento sostenibles del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, un tributo equivalente al uno coma setenta y cinco por ciento (1,75%) de la facturación mensual por consumo de electricidad que pague cada abonado o consumidor directo de energía eléctrica. La CNFL, así como todas las empresas distribuidoras

⁶ Tomado textualmente de la página de la CNFL: www.cnfl.go.cr/index.php/servicios-cnfl/servicios-industriales

de servicio eléctrico del país, deberá recaudar mensualmente a partir de diciembre el Impuesto de Bomberos, según ley 8992.

El tributo del uno coma setenta y cinco por ciento (1,75%) se aplicará desde el primer kilowatt hora consumido y hasta un máximo de mil setecientos cincuenta kilowatts hora (1750 kWh). No estarán sujetos al pago de dicho tributo los abonados cuyo consumo mensual sea igual o inferior a cien kilowatts hora (100 kWh).

Será agente de percepción de este tributo toda institución, compañía, empresa o similar que brinde el servicio de suministro de energía eléctrica. Todo agente de percepción deberá transferir la totalidad del dinero recaudado directamente al Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, sin costo alguno para este último dentro de los primeros diez días hábiles por el total de tributo percibido en el mes anterior, en los medios, la forma y las condiciones que establezca el Cuerpo de Bomberos. De este tributo se excluye el monto cancelado por concepto de impuesto sobre las ventas.

Cálculo para Clientes con Tarifa Residencial

- Monto Energía (en colones) x 1.75%

Cálculo para Clientes no residenciales con consumos superiores a los 1750 kW

- Monto de Energía (en colones) ÷ consumo de energía total x 1750 x 1.75%

Alumbrado Público

Esta tarifa se debe aplicar a los consumidores directos de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. en los lugares, donde por contrato con las municipalidades, se haga cargo del alumbrado público.

Por cada kWh consumido = ₡3.51

Costo Variable del Combustible (CVC)

El Costo Variable del Combustible (CVC) es una metodología aprobada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) desde Julio 2014, para el ajuste extraordinario de las tarifas del servicio eléctrico, con el fin de compensar los costos de la generación térmica por el uso de combustibles derivados del petróleo por parte del ICE, especialmente en la temporada seca. Con esta metodología se prevén incrementos en las tarifas de generación y distribución de electricidad, permite que se realicen ajustes a las tarifas del sistema de generación eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) de forma automática. Estos ajustes, hechos cada trimestre, generan variaciones directas, de incrementos o disminuciones en las facturaciones y aplica para todos los abonados o usuarios de las 8 empresas distribuidoras del país.

Tarifa Promocional (T6)

1. Aplicación

Para clientes con consumos mensuales mayores a 3000 kWh, con un contrato especial de duración mínima de un año, el cual se considera renovado a su vencimiento por períodos iguales, si ambas partes no hacen indicación de lo contrario tres meses antes de su vencimiento.

2. Cargo de demanda:

La demanda máxima que se facturará será la carga promedio más alta en kW, para cualquier intervalo de quince minutos durante el mes, que se registre entre las 10:00 y las 12:30 horas o entre las 17:30 y las 20:00 horas (horas punta), siempre y cuando la potencia registrada en las horas pico sea al menos un 80% menor que la potencia máxima del período. De no cumplirse con las condiciones antes mencionadas, la potencia facturada será la más alta registrada en el período de facturación, independientemente de la hora punta.

No se tomarán en cuenta para efectos de facturación, las demandas registradas los días sábados, domingos y los días feriados, estos últimos de conformidad con

lo que establece el artículo 148 del Código de Trabajo y su reforma, según la Ley 8442, lo anterior aplica solamente a los feriados de pago obligatorio.

3. Características del servicio:

Rige lo aplicable a la tarifa T-GE

4. Precios mensuales:

La potencia máxima así establecida y la energía se facturará de acuerdo con la tarifa T-GE.

Anexo 2. Especificaciones técnicas de los equipos empleados

1. HMI Kinco MT4220TE

Tabla A8.2. Especificaciones Técnicas HMI Kinco MT4220TE
(Tomado de: en.kinco.cn)

Model	MT4210T	MT4220TE
Performance specification		
Display	4.3" TFT	
Resolution	480×272 pixels	
Color	65536 colors	
Backlight	LED	
Brightness	300cd/m ²	
Backlight life	50000 hr.	
Touch Panel	4-wire precision resistance network	
Processor	32-bit RISC CPU 400MHz	32-bit RISC CPU 800MHz
Memory	128M FLASH + 64M SDRAM	
Expandable memory	None	1 USB host, 1 SD card
Recipe memory & RTC	512KB + RTC	
Printer port	Serial port	Serial port/USB port
Ethernet	None	Support
Program download	USB SLAVE/Serial port	USB SLAVE/Serial port/Ethernet port
COM port	COM0:RS232/RS485-2/RS485-4, COM2:RS232	
Electrical specification		
Rated power	4.8 W	
Rated voltage	DC24V	
Input range	12~28VDC	
Power down allowed	<5ms	
Insulation resistance	Greater than 50MΩ @ 500V DC	
Dielectric strength test	500VAC 1 minute	
Structure specification		
Shell color	Black	
Shell material	ABS	
Dimensions(mm)	154×89×60	
Cutout size(mm)	145×81	
Weight	0.34kg	
Environment specification		
Operating temperature	-20~55℃	
Operating humidity	10~90% non-condensing	
Storage temperature	-25~60℃	
Storage humidity	10~90% non-condensing	
Shockproof test	10~25Hz (X, Y, Z direction, 2G, 30 minutes)	
Cooling method	Natural air cooling	
Certification		
Degree of protection	IP65 (front panel)	
CE certification	Comply with EN61000-6-2:2005 and EN61000-6-4:2007standards	
FCC compatibility	Complies with FCC Class A	
UL certification	Comply with UL 508	None

2. PLC Delta DVP14SS

Tabla A8.3. Especificaciones Técnicas PLC Delta DVP14SS2
(Tomado de: www.delta.com.tw)



Módulos CPU				
	DVP-SS	DVP-SA	DVP-SX	DVP-SC
Entradas digitales	8	8	4	8
Salidas digitales	6	4	2	4
Frecuencia máxima entradas rápidas	20 kHz	20 kHz	20 kHz	100 kHz
Frecuencia máxima salidas rápidas	10 kHz	50 kHz	50 kHz	100 kHz
Nº máx. de E/S digitales	238	236	230	236
Entradas analógicas integradas	-	-	2 (12 bits)	-
Salidas analógicas integradas	-	-	2 (12 bits)	-
Reloj de tiempo real (RTC)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Display numérico de 2 dígitos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Puertos serie integrados	RS-232 + RS-485 (ModBus ASCII/RTU)			
Capacidad de programa (pasos)	4K	8K		
Dimensiones (mm):				
- Altura			90	
- Anchura	25,2			37,4
- Profundidad			60	

3. Medidor Archmeter PA-330

Tabla A8.4. Especificaciones Técnicas Medidor Archmeter PA 330
(Tomado de: www.archmeter.com)



Aux Power	AC80-264V/DC100-300V, Max.2.3W
Input Voltage	CATIII 10V-600V L-L
Input Current	2mA-5A
V input burden	$\geq 2M\Omega$ (per channel), max 0.18VA
I input burden	$\leq 5m\Omega$ (per channel), max 0.125VA
Accuracy	V · I 0.2% · W 0.5% (PF=1.0)
Frequency	45-65Hz
Measures	V, I, kW, kvar, kVA, kWh, kvarh, kVAh, PF, Frequency, Demand, Running hour
Alarms	NONE · OVER V/I · OVER F · UNDER V /I · UNDER F · OVER Dmd · ANY
Power Quality	V/I THD: accumulate up to 54 orders, 5400/second sampling rate V/I unbalance · V Eligibility · Min.& Max. parameters
Display	Mono 68X59 LCD
Communication	RS485, Lon(option)
Timer	RTC
Wiring Ports	Aux Power · Voltage · Current · DO*2 · RS485 · LON
I/O	DO OUTPUT*2 : DO1 Alarm output · DO2 Pulse/ Alarm output
Operation Temperature	-20°C -70°C
Storage Temperature	-25°C -80°C
Humidity	20-90%RH
Dust/Water Proof Rating	Panel : IP52 · Case : IP20
Size	96(W) × 96(H) × 97(L) mm
Power consumption	0.45~0.7W (Backlight off) 1.3~1.7W (Max. ,Backlight) 2.3W (Max. Backlight & Lon module)
Environmental Conditions	Indoor use Altitude up to 2000M Transient overvoltage on the mains supply is 2500V Pollution degree : 2

Anexo 3. Manual de Operación diseñado para el sistema.

Soluciones Industriales Electromecánicas S.A.

SIESA

Manual de Operación
Regulador de Demanda Eléctrica

Versión 1.0

Santa Ana, Costa Rica

2016

Todos los derechos reservados. Cualquier modificación o reproducción a este manual debe realizarse con previa autorización por parte de la dirección de la empresa.

Elaborado por:

Juan Carlos Valverde Elizondo

Proyecto: “Regulador de Demanda Eléctrica”

Versión 1.0

Junio 2016

Contenido

Introducción.....	4
Estudio de Perfil de carga.....	5
Entorno del sistema.....	6
Conociendo el entorno del sistema	7
Configuración.....	8
Reportes	22
Supervisión	26
Monitoreo y mantenimiento.....	29

Introducción

Estudio de Perfil de carga

Antes de iniciar la instalación de un sistema cómo el que se mostrará en este manual, es importante mencionar que una de las actividades previas es realizar un estudio del perfil de carga del usuario que desea implementar una regulación de la demanda. Esto consiste en estudiar y obtener una curva de la demanda que se presenta en el sistema eléctrico a controlar, esta proveerá de los valores de demanda en las diferentes horas del día y así determinar los horarios en los cuales es necesario un control de la potencia demandada para evitar así los altos valores en la factura por este factor.

El segundo paso es estudiar el historial de demanda y energía en meses a partir de los recibos anteriores en un periodo ya sea de 6 meses o un año. A partir de estos datos se obtiene un valor promedio de demanda y energía y con respecto a este valor se establecerán los límites de control para el nuevo sistema y sirve igualmente para el cálculo de los posteriores ahorros.

Una vez seleccionado el horario en el cual es oportuno el control de demanda, es necesario hacer una selección de las cargas que se van a controlar. Este estudio debe contemplar la importancia que representa cada una de ellas dentro del contexto seleccionado, ya que no es viable intervenir en procesos que afecten ya sea la producción o el confort de las personas, por lo tanto, cada carga que es seleccionada es el resultado de un análisis que incluyen a todos los sectores involucrados en el control de demanda.

Igualmente este estudio proveerá de un valor de demanda que se llamará "Set Point", el cuál será el valor máximo de demanda que podrá ser consumido para evitar las altas multas y proveer de una estabilidad del sistema eléctrico del usuario.

Entorno del sistema

Conociendo el entorno del sistema

El sistema es diseñado para mejorar de forma significativa la programación que conlleva proyectos de alta complejidad, por lo tanto, es de vital importancia que se siga al pie de la letra cada una de las instrucciones que aquí se detallan para la correcta configuración del sistema y así evitar inconvenientes con su funcionamiento.

Su entorno está desarrollado en tres secciones:

- Configuración
- Reportes
- Supervisión

A continuación se presenta una imagen de la ventana principal del sistema, la cual muestra las tres opciones con las cuales cuenta el sistema para su funcionamiento.



Figura 1. Ventana Principal del Sistema

Ahora, se explicará ampliamente lo que conlleva cada sección y cómo debe de ser configurado.



Configuración

En esta sección es donde se configura los parámetros para el funcionamiento del sistema, por lo tanto es de vital importancia que los datos que son ingresados en esta sección sean los correctos y de la forma indicada. Cualquier modificación que se realice repercutirá en el funcionamiento del sistema.

Es debido a lo anterior que, para el ingreso a esta sección es necesario el uso de una contraseña, esto protegerá de cualquier mal uso o daño al funcionamiento correcto del controlador de demanda. Esta contraseña será extendida por parte de la empresa proveedora del sistema, aun así, si existe un acuerdo mutuo entre empresa y cliente, se puede configurar una contraseña de preferencia por parte del usuario. Esta contraseña solo podrá ser conocida por el personal calificado y autorizado para la configuración de algún parámetro del sistema.



Figura 2. Ventana de ingreso de contraseña

Como dato importante, es necesario a la hora de culminar la respectiva configuración, presionar sobre el botón rojo que se muestra en la ventana, esto cerrará la opción de entrar al menú de configuraciones y evitará cualquier inconveniente del caso.

Una vez digitada la contraseña, se habilitará la opción de continuar a la siguiente ventana donde se encuentra el menú de configuraciones.

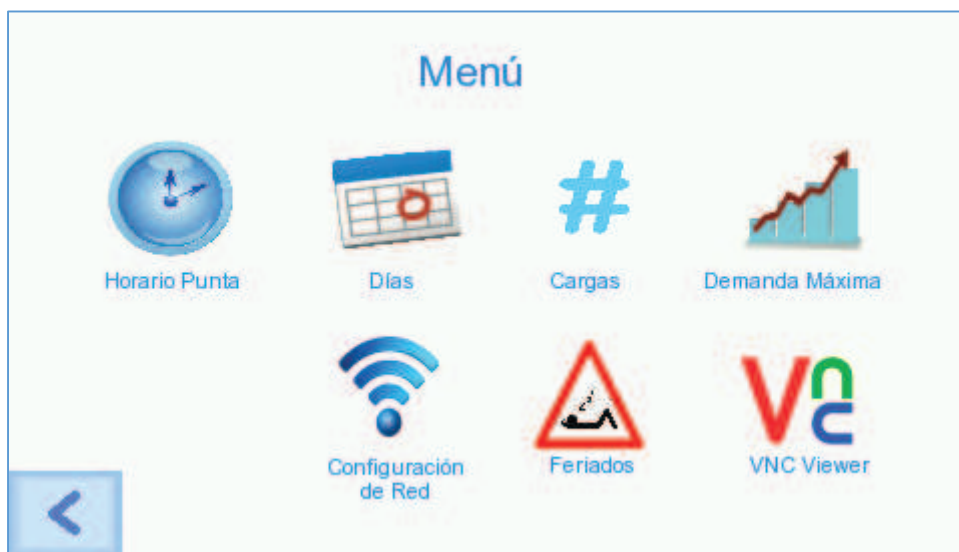


Figura 3. Ventana de Menú de configuración

Una vez ingresado al menú de configuraciones, tenemos diferentes secciones de configuración para el sistema. Cada una ellas debe de realizarse de forma completa, si alguna no es configurada, el sistema no contará con los datos necesarios para el correcto funcionamiento y por consiguiente una adecuada regulación de la demanda eléctrica no podrá efectuarse.

- a) El primer paso de la configuración es establecer el horario punta en el cual el sistema ejercerá el control de la demanda. Este horario generalmente es establecido por la compañías eléctricas y aunque en la mayoría es el mismo, es importante primero hacer un análisis del tipo de cargas que se van a administrar para llegar a un acuerdo de cuánto tiempo antes del inicio del periodo punta iniciará el control de demanda, igualmente cuánto tiempo después de concluido el periodo punta culminará el control de demanda. Esto es importante porque algunas cargas necesitan de un lapso de tiempo para llegar un punto de consumo de potencia establecido, pero será el criterio de un experto el que dictará la mejor opción de los horarios a establecer. Cada horario debe ser establecido en un formato de 24 horas.

**Establezca los horarios
de administración de la cargas:**

Horario Control Mañana		Horario Control Tarde
Inicio: <input type="text" value="0"/> : <input type="text" value="0"/>		Inicio: <input type="text" value="0"/> : <input type="text" value="0"/>
Final: <input type="text" value="0"/> : <input type="text" value="0"/>		Final: <input type="text" value="0"/> : <input type="text" value="0"/>

Digitar las horas en formato de 24 horas

Nota: Los periodos punta comprenden las siguientes horas:
Mañana: (10:00) a (12:30) Tarde: (17:30) a (20:00)

Figura 4. Ventana de configuración de horarios punta

Cada horario será establecido por una hora y una cantidad de minutos.

- b) El segundo paso es establecer los días de la semana en los cuales el sistema ejercerá el control de la demanda, esta opción es de vital importancia, ya que con la anterior configuración del horario, establecen un punto de partida para la ejecución del control de demanda.



Figura 5. Ventana de configuración de días de control

Esta opción permite que durante fines de semana o en el caso de un día en específico por razones propias del usuario, se pueda deshabilitar el control de la demanda.

- c) Como tercer paso, y quizás uno de los esenciales es configurar cada una de las cargas con las cuales se va a realizar el control de demanda, por lo tanto es esencial el estudio del perfil de carga del usuario y así hacer una selección adecuada de las cargas que cumplen con el perfil y que permiten ser intervenidas en un horario.

La configuración permite controlar las cargas mediante dos modos:

Apagado o Encendido: Son cargas que en un horario establecido pueden ser intervenidas en diferentes ocasiones a lo largo de ese período y que por su naturaleza y su importancia no repercute en daños al sistema o en la producción el hecho de ser apagadas o encendidas en diferentes ocasiones. Ejemplos pueden ser: Aires acondicionados, ventiladores, luminarias, bombas, entre otras que un experto consideré adecuadas.

Variadores de frecuencia: En muchos casos, puede ser que una carga no sea conveniente apagarla o encenderla en diferentes ocasiones, más bien surge la necesidad de regular el consumo de energía regulando una variable, que este caso es la frecuencia con la que podemos regular la velocidad de un motor y así por ende la potencia que demanda.

Controladores de Temperatura: Al igual que el caso anterior, ciertos dispositivos permiten la modificación del valor de la temperatura, estos a la vez se encargan de la regulación de otros actuadores como lo pueden ser resistencias, calentadores, etc. Por lo tanto, al igual que los variadores, durante un periodo de demanda se llevará el valor de temperatura a un valor seteado en vez de llevar el dispositivo a un apagado total.



Figura 6. Ventana de selección de tipo de carga

Una vez que se ha elegido el tipo de carga, se presenta una ventana para cada una de ellas, donde podemos ingresar cada una de las cargas. En el caso de cargas puntuales, tenemos la posibilidad de ingresar una cantidad de 15 cargas, en el caso de control de temperatura de 2 y para el control de motores se pueden controlar 3 de ellos.



Figura 7. Ventana de ingreso de cantidad de cargas puntuales

En el caso de las cargas puntuales, la ventana siguiente a su selección permite que se ingrese la cantidad de cargas que se van a administrar. Dato importante de aclarar es la posibilidad de controlar una cantidad más extensa de cargas aparte de 15 que son predeterminadas, por ejemplo, aunque del controlador se externe una señal de encendido o apagado, podemos tomar esa salida y ser conectada a un arranque secuencial de motores; por lo tanto, depende de la pericia del encargado de hacer la selección de las cargas si aparte de 15 cargas puntuales, puede controlar una mayor cantidad.

Una vez ingresado la cantidad de cargas que se van a administrar, las siguientes ventanas, que en número van a ser acorde a la cantidad ingresada, permitirán la configuración de cada carga.

Se debe de ingresar el nombre de la carga, luego el valor de la potencia que consume la carga, esta puede ser fija si sabemos el valor de la potencia que consume la carga cuando está activa, si se desea esta opción puede ser un dato que llegue de un medidor en tiempo real de la carga, pero por lo general representa un valor fijo que resulta del estudio previo del perfil de carga del usuario.

La siguiente opción es de seleccionar el modo de control de la carga, por un lado podemos decidir si se realiza mediante el método que hemos venido exponiendo, que corresponde al modo de demanda, el otro modo es llamado

“manual”, ya que no tomara en cuenta los anteriores parámetros ingresados de horarios, días y demanda y se podrá configurar una serie de horarios fijos para esa carga. Esto resulta útil debido a que en muchas ocasiones es necesario modificar el perfil de carga con alguna razón, por lo tanto el horario de funcionamiento de una carga debe ser fijo y en horarios diferentes independientes del valor de demanda actual.

Otra opción importante es poder ingresar un valor de prioridad para cada carga si el modo de control es el de demanda, esto permitirá al sistema tener una prioridad en las cargas que se administran y llevar un orden.



Figura 8. Ventana de Configuración de Cargas puntuales

Como ejemplo, la figura 8, muestra la configuración de una carga en el modo de demanda, donde se ingresó el nombre, el valor de potencia en estado activado y la prioridad que le corresponde en la regulación de la demanda.

En el caso de ser necesario la administración de modo manual, la parte inferior de la ventana cambiará y esta nos llevará a otra ventana donde podemos configurar los horarios de funcionamiento.



Figura 9. Ventana de configuración de cargas en modo manual

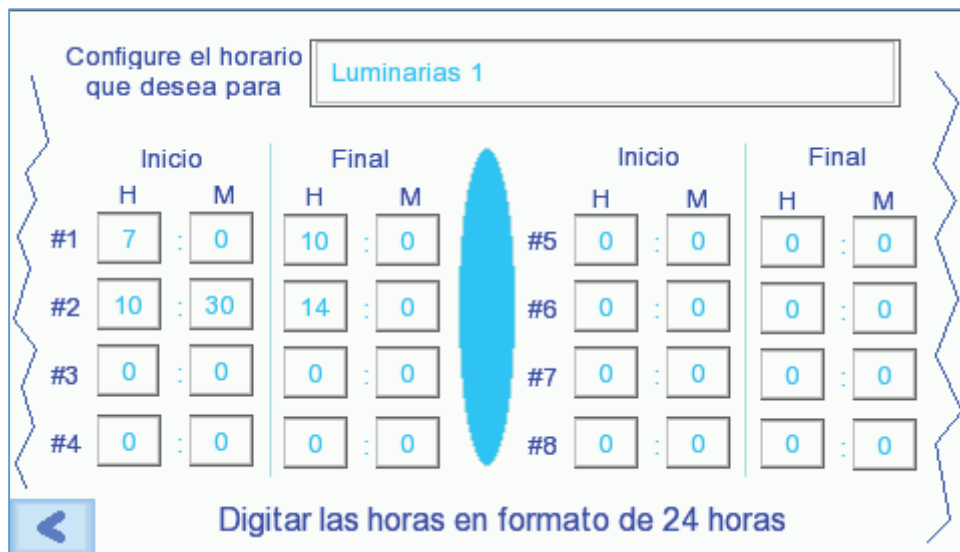


Figura 10. Ventana de configuración de horarios para el modo manual

Al final de la configuración de las cargas, podemos visualizar en conjunto las cargas que fueron configuradas. El resumen ofrece los datos configurados y una opción de ir a cada una de ellas por si se requiere hacer una breve corrección a algún dato.

Cargas	Potencia (kW)	Modo de control	
Luminarias 1	1.00	Manual	Ir
Cocina	250.00	Demanda	Ir
Caseta Guarda	200.00	Demanda	Ir
refrigeracion	400.00	Demanda	Ir
Bombas 1	450.00	Demanda	Ir
Luces exterior	100.00	Demanda	Ir
Deshumificador	360.00	Demanda	Ir
casa 1	220.00	Demanda	Ir

Finalizar

Figura 11. Ventana resumen de cargas puntuales configuradas

En el caso de cargas a ser controladas por medio de temperatura, cuando se selecciona el tipo de carga, tendremos una ventana como la siguiente:

Carga #1

Nombre:

Potencia: kW

Modo de Control: Demanda

Temperatura

Operación
 °C

Control
 °C

Actual
 °C

Digite la Prioridad que le corresponde a la carga:

Figura 12. Configuración de carga a controlar por temperatura

Se configura de manera similar a las cargas puntuales con la particularidad de que en este caso debemos configurar dos valores de temperatura.

Temperatura de Operación: Este valor de temperatura será el que tendrá configurado el controlador cuando la carga este fuera de la orden de control por parte del sistema.

Temperatura de Control: Este valor de temperatura será al que será llevado el dispositivo en el caso de que reciba la señal de parte del sistema para ser regulado.

Para el caso del manejo de motores, es similar al punto anterior, solamente que la variable a controlar es la frecuencia y así regular la velocidad de un motor.

The image shows a software interface for configuring a frequency inverter. The main window is titled "Carga #1" and is divided into two main sections. On the left, there are input fields for "Nombre:" (empty), "Potencia:" (100.00 kW), and "Modo de Control:" (set to "Demanda" via a toggle switch). On the right, under the heading "Frecuencia", there are three numerical displays: "Operación" (60.00 Hz), "Control" (45.00 Hz), and "Actual" (45.00 Hz). At the bottom, there is a prompt "Digite la Prioridad que le corresponde a la carga:" with a numeric input field containing the value "8". Navigation arrows are visible on the left and right sides of the interface.

Figura 13. Ventana de configuración de variador de frecuencia

Es así como se logra una configuración adecuada de las cargas a controlar en momentos de alta demanda.

d) El cuarto punto de la configuración consiste en definir el llamado “Set Point”, este va a ser el valor máximo de demanda que se puede permitir y al cual el sistema tratara de llevar el valor de la demanda. Este valor debe ser definido por parte del personal que realiza el estudio del perfil de carga y el cual es considerado moderado para el contexto estudiado.

Otros parámetros configurables son los tiempos de apagado y encendido de las cargas, estos son definidos en segundos y representan la velocidad con las que el sistema realiza el proceso de regulación. Es el tiempo que transcurre entre el apagado de una carga y otra, sucede de la misma forma con el encendido.

The screenshot shows a configuration window with a light green background. On the left, a box contains the text "Ingrese el valor de la máxima demanda permisible para la regulación del sistema:" above a text input field containing "200.00 kW". To the right, there are two stacked boxes. The top box contains "Ingrese el valor de tiempo en segundos para el inicio de desconexión de cargas:" above a text input field containing "1" and the label "D". The bottom box contains "Ingrese el valor de tiempo en segundos para el inicio de conexión de cargas:" above a text input field containing "1" and the label "C". A blue back arrow button is located in the bottom-left corner of the window.

Figura 14. Ventana Configuración del Set Point

- e) La quinta etapa consiste en configurar los parámetros de la red, esto si existe la posibilidad de conexión a red para la HMI, además es posible una configuración de los puertos seriales.

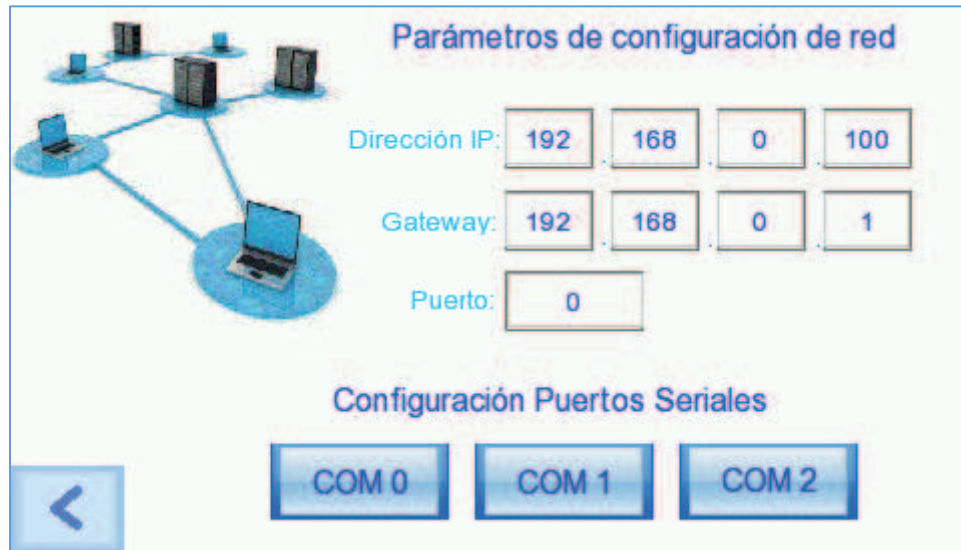


Figura 15. Ventana de Configuración de red

- f) Otra ventana de configuración es la de los días feriados, generalmente las tarifas que facturan demanda no toman en cuenta las demandas de los días festivos, por lo que existe esta posibilidad si el usuario lo desea. En esta ventana se podrá ingresar los días con los meses. Su configuración es anual.

Días Feriados

	Día	Mes		Día	Mes		Día	Mes			
1.	23	/	4	6.	0	/	0	11.	0	/	0
2.	0	/	0	7.	0	/	0	12.	0	/	0
3.	0	/	0	8.	17	/	4	13.	12	/	4
4.	0	/	0	9.	0	/	0	14.	0	/	0
5.	0	/	0	10.	0	/	0	15.	0	/	0

De conformidad con lo que establece el artículo 148 del Código de Trabajo y su reforma, según la Ley 8442. Año: 2016

Figura 16. Ventana de configuración de feriados

g) Por último, es importante configurar la opción de VNC Viewer, esto permitirá una monitorización del sistema remotamente, en este caso, ya sea para agilizar las labores de mantenimiento de la empresa proveedora del sistema.

Open VNC Function 

Mask User Operation

Operation Password Enable

Inquiry Password Enable

Figura 17. Ventana de configuración de VNC Viewer

Tenemos dos opciones:

1. Controlar la HMI desde un ordenador a distancia, en este caso la manipulación puede realizarse ya sea desde la computadora y de la HMI misma. Para esto se debe de:
 - a. Habilitar la opción “Open VNC Function”.
 - b. Habilitar la opción “Operation Password Enable” y digitar una contraseña, la misma que se deberá digitar en el ordenador de donde se desea controlar.
2. Visualizar la HMI desde un ordenador a distancia, esto permite solo la visualización de lo que está pasando en al HMI, pero no se podrá manipular desde un ordenador. Para ello:
 - a. Habilitar la opción “Open VNC Function”.
 - b. Habilitar la opción “Inquiry Password Enable” y digitar una contraseña, la misma que se deberá digitar en el ordenador de donde se desea controlar.

Es importante rescatar que, para cada función se debe habilitar lo que se indica, la omisión o el configurar otro dato de más provocará un funcionamiento incorrecto de la función VNC Viewer.

Para el monitoreo y control de una HMI mediante esta aplicación desde una red local (LAN) es sencillo, ya que solamente sería asignar una dirección IP a la HMI, ingresar al programa de VNC Viewer desde un ordenador, ingresar los datos que se solicitan como lo es la contraseña y el IP y listo. Para acceder desde el exterior de una empresa (WAN) a través de la red pública es necesario que el encargado de redes habilite los puertos necesarios para el firewall, que en este caso es el puerto 5900, y así en el ordenador de donde se quiere controlar, en vez de poner la IP de la HMI, se ingresa la IP pública del usuario.

Una vez que hemos ingresado los datos en todas las demandas, el sistema ha sido configurado, ahora será importante observar las demás funciones.



Reportes

Esta sección nos permite obtener información histórica del funcionamiento del sistema, por lo tanto es esencial para los cálculos posteriores de ahorro generado por el control de la demanda, al igual ofrece un reporte del funcionamiento del sistema eléctrico del usuario, ya que se puede observar el comportamiento de ciertas variables durante un período determinado.



Figura 18. Ventana de generación de reportes

Reporte Diario:

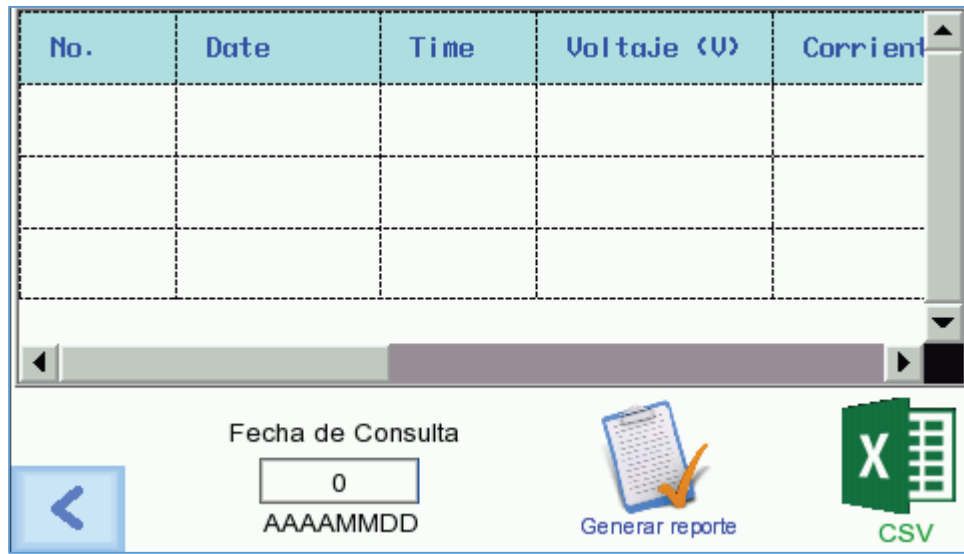


Figura 19. Ventana de reporte diario.

Los reportes están hecho para que registren el valor promedio de cada variable en un lapso de 15 minutos, esto debido a que las compañías así toman el valor de la demanda para la correspondiente facturación, por tanto es conveniente utilizar esta forma de la generación de los reportes.

Las variables que se registran son las siguientes:

- Voltaje (VL)
- Corriente (A)
- Frecuencia (Hz)
- Potencia (kW)
- Factor de Potencia
- Energía (kWh)
- Demanda (kW)

Par generar el reporte de debe de ingresar una fecha de consulta en el formato que se pide, por ejemplo, si queremos hacer un reporte del día 14 de abril del 2016, debemos digitarlo de la siguiente manera: 20160414, luego presionamos sobre el botón de generación de reporte. Una vez que se realiza esta acción el reporte es generado. Si deseamos obtener esa información, podemos presionar sobre el botón CSV y obtendremos esa información en un archivo de Microsoft Office Excel que será guardado en la memoria de la HMI, por lo tanto corresponde luego traspasar ese archivo al destino deseado.

Reporte Mensual:

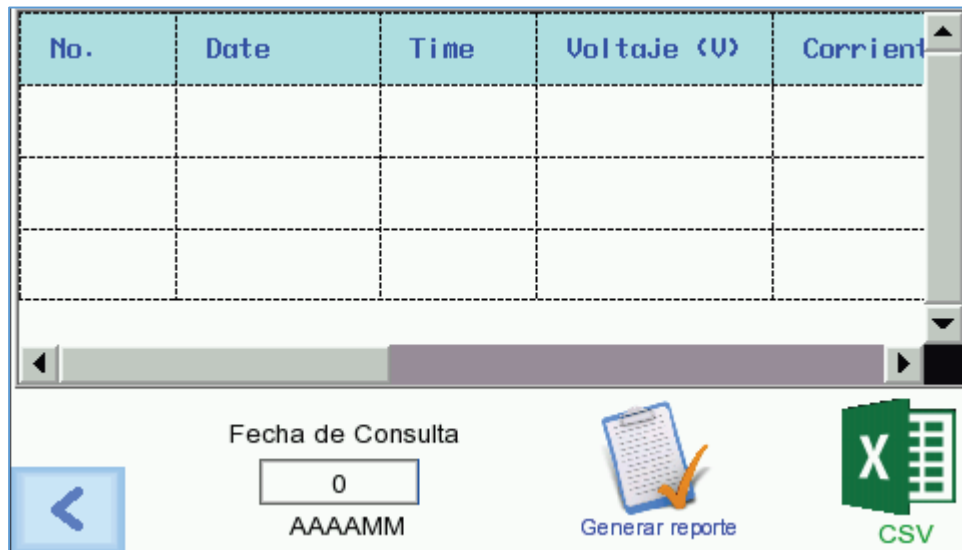


Figura 20. Ventana de reporte mensual

Funciona igualmente que el reporte diario, solamente que el valor que se ingresa corresponde al de año y mes solamente, siguiendo el ejemplo anterior, para el mes de abril del año 2016, sería: 201604

Lista de Archivos:

Esta sección permite visualizar los archivos que se encuentran en la memoria de la HMI, esto útil para verificar que los archivos CSV generados por los reportes son guardados por la HMI, aparte de eso ofrece una visualización de la cantidad de información almacenada en la memoria.

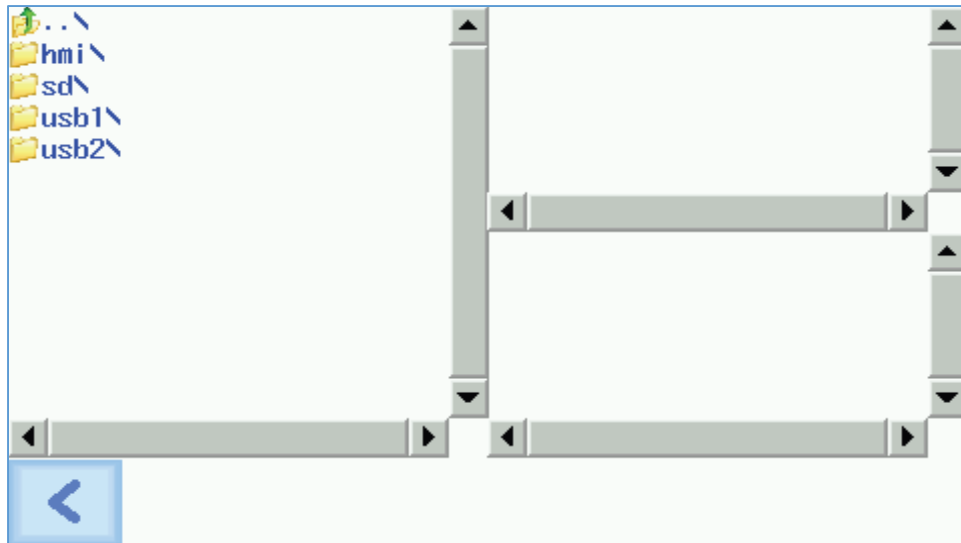


Figura 21. Ventana de Lista de Archivos



Supervisión

Esta sección permite supervisar el funcionamiento en tiempo real del sistema, donde podemos saber la hora o RTC que tiene en ese momento el sistema, observar los datos de medición del medidor instalado para el sistema y también observar el relevo de cargas debido a la regulación de la demanda.



Figura 22. Ventana Menú de Supervisión del sistema

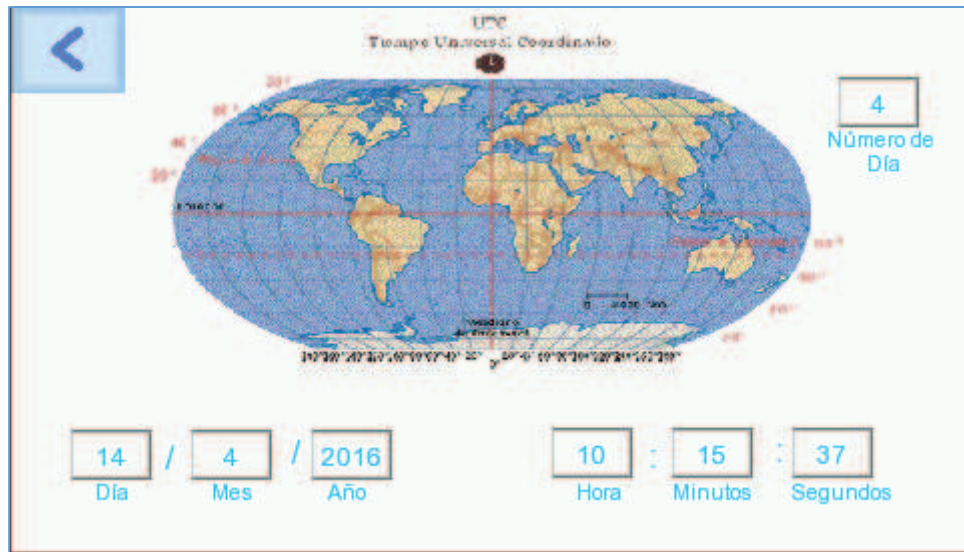


Figura 23. Ventana de supervisión de RTC

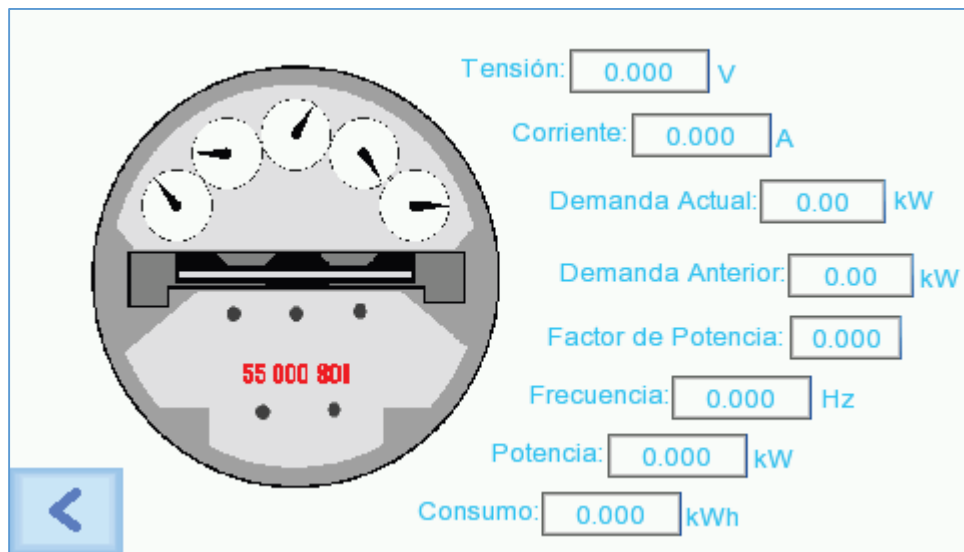


Figura 24. Ventana de Supervisión del medidor



Figura 25. Ventana de supervisión estado actual de cargas

La anterior ventana muestra las cargas que están encendidas y las que están apagadas, a la vez permite observar la demanda del sistema en comparación con el set point establecido anteriormente en la sección de configuraciones.

Monitoreo y mantenimiento

Para la correcta funcionalidad del sistema es importante realizar ciertas labores en cuanto al mantenimiento y así garantizar una vida útil considerable al sistema. Las siguientes pautas deben ser realizadas con cierta regularidad y con el cuidado respectivo.

1. Verificar periódicamente el estado de los tableros donde se encuentra el equipo. Agentes como la humedad o el exceso de sol pueden ocasionar que los tableros junto con el equipo se vean afectados por el agua o temperaturas excesivas.
2. Es importante examinar el interior de los tableros para verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos instalados y sus conexiones, por lo que, el principal problema a corregir es el de puntos calientes por conexiones flojas o sobrecargas en las líneas. Una inspección visual y en el mejor de los casos la utilización de termografía son una opción para monitorear el interior de los tableros.
3. Algunos problemas se podrían dar al existir alguna desincronización entre los equipos, por ello, es recomendable verificar que lo que despliega la ventana de monitoreo coincide con el estado real de las cargas. Una rápida inspección lleva a completar este punto.
4. La verificación del valor correcto de la fecha y hora es esencial. Si estos datos están incorrectos, el control de demanda no se realizará en los verdaderos horarios que se requiere. En la ventana de Hora actual en la sección de supervisión se puede corroborar que estos datos sean los correctos.
5. En caso de encontrar alguna anomalía en la comunicación de los equipos se debe de proceder de la siguiente forma:
 - a. Comprobar la alimentación de los equipos, esto se realiza desde los tableros y verificar que cada una de las fuentes provee de la tensión necesaria para el funcionamiento de cada equipo. Si se presenta algún problema con el funcionamiento de alguna fuente se debe de llamar para que el equipo técnico de SIESA se haga presente para el

corregir la anomalía. En el caso de que el usuario posea equipo técnico especializado para el mantenimiento de instalaciones, se debe de verificar que las fuentes de potencia para los equipos están en buen estado o que el breaker de alimentación de las fuentes funciona correctamente. Se deben tomar las decisiones que justifiquen correctamente el cambio de un equipo de ser necesario.

- b. Si lo anterior no presentó algún problema, verificar las conexiones físicas entre los equipos, si se presenta algún desajuste, realizar de manera adecuada el ajuste y comprobar que la comunicación volvió a establecerse, si no es así, debe de reportar la avería al equipo técnico de SIESA para realizar una visita y ajustar los equipos.
6. Después de un corte de alimentación al sistema, ya sea por una avería externa o interna al lugar del usuario, es importante revisar que todos los ajustes realizados en la HMI se encuentren configurados correctamente, ya que podría darse el caso de pérdida de alguna información, por lo que se recomienda un sondeo general a lo largo de toda la configuración para descartar o corregir algún dato perdido.
7. En el caso de pérdida de conexión para el monitoreo remoto a través de VNC, el primer paso es verificar que la conexión a internet se encuentra estable, la conexión física debe estar en correcto estado, luego debe revisarse que las especificaciones en la ventana de configuración del monitoreo remoto sean las adecuadas. En caso de persistir el problema se debe de verificar que la configuración del puerto de la red donde se encuentra el sistema esté abierta, para ello se debe de recurrir al personal técnico de redes en el lugar del usuario para la verificación de este problema.
8. Por último, no debe dejarse de lado el monitoreo de la red eléctrica del lugar donde se encuentra el sistema, esto puede ser realizado desde la ventana del medidor en la sección de supervisión y verificar que los datos son coherentes con los que habitualmente son reportados por el sistema.