

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Sistema programable para la automatización del proceso de transferencia de cargas entre un generador a vapor y una acometida del ICE

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Josué Aarón Garro Núñez

Cartago, Agosto de 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

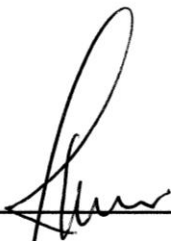
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN


TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

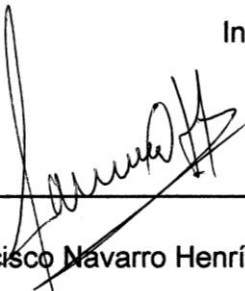
Miembros del Tribunal



Ing. Arnoldo Rojas Coto
Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor lector



Ing. Francisco Navarro Henríquez
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 18 de agosto de 2010

Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en los que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 18 de agosto de 2010

José Garro Núñez

Josué Aarón Garro Núñez

Cédula: 603640051

Resumen

El correcto manejo del recurso energético hace imperante la necesidad de idear mejoras a distintos procesos como lo es el proceso de transferencia de cargas entre un generador y una acometida del ICE. Actualmente, en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 el operador de la sección de turbinas hace lo posible dentro su capacidad, para determinar el momento preciso para transferir alguno de los siete circuitos de cargas transferibles entre el generador de la planta y la acometida del ICE. Esta decisión, basada únicamente en la experiencia e intuición del operador, no es siempre la más eficaz y en ocasiones va en detrimento de la planificación del consumo energético del ICE que hace el departamento de producción de la planta.

Se externa entonces la necesidad de re-organizar el proceso en cuestión. La mejora realizada se basa en una estrategia de determinación del circuito correcto por transferir, de acuerdo a tres escenarios específicos y a mediciones de potencia consumida por cada equipo implicado y la consideración de valores límite ingresados por el usuario.

El sistema integra dispositivos como medidores de variables eléctricas, un controlador lógico programable, software para interfaz humano-máquina, contactores, sirenas y dispositivos para la comunicación entre los módulos.

Palabras clave: sistema de control, interfaz humano-máquina (HMI), medición de potencia trifásica, protocolo Modbus, servidor OPC.

Abstract

Correct energy management involves the need of improving processes such as the process of load transfer between two sources, plant generator and provider's connection point. Normally, in the Compañía Industrial Aceitera Coto 54 the generator section operator tries his best to determine the precise time to transfer any of the seven transferable load circuits available. This decision, based only on the operator's experience and intuition, it's not always the most efficient and sometimes comes against the ICE's energy consumption plan developed by the production department of the plant.

The need to re-organize this process is then made known. The performed improvement is based on a -right load circuit to transfer- determination strategy, according to three scenarios and considering metered power values of all implied equipment and limit values given by the user.

The system integrates electronic devices such as power meters, a controller, human-machine interface software, sirens and networking devices.

Keywords: control system, human-machine interface (HMI), three-wire power metering, Modbus protocol, OPC server.

Dedicatoria

A mi familia, sin cuyo soporte y apoyo incondicional esta historia no se hubiera escrito. Ustedes son el motor detrás de este logro...

Agradecimiento

En primera instancia deseo agradecerle a Dios por su generosidad al permitirme cumplir esta meta.

Le agradezco también al personal de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 por la oportunidad de llevar a cabo este trabajo de graduación en su empresa.

A mis profesores de todo el ciclo universitario, por cuanto cada uno de ellos me brindó conocimientos que fueron moldeando al ingeniero que estoy a punto de ser.

A mis compañeros y amigos que tuve la dicha de conocer en este proceso académico, cuya compañía y amistad fueron clave en muchos momentos.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Capítulo 1: Introducción | 1 |
| 1.1 | Problema existente e importancia de su solución..... | 1 |
| 1.2 | Solución seleccionada | 4 |
| 2 | Capítulo 2: Meta y objetivos..... | 7 |
| 2.1 | Meta | 7 |
| 2.2 | Objetivo general | 9 |
| 2.3 | Objetivos específicos | 10 |
| 3 | Capítulo 3: Marco teórico | 12 |
| 3.1 | Descripción del proceso a mejorar..... | 12 |
| 3.2 | Antecedentes bibliográficos..... | 16 |
| 3.2.1 | Procesamiento de datos en un controlador lógico programable | 16 |
| 3.2.2 | Tecnologías para la interfaz humano-máquina..... | 17 |
| 3.2.3 | Protocolos de comunicación industrial: Modbus y Modbus TCP | 18 |
| 3.2.3.1 | Modbus..... | 19 |
| 3.2.3.2 | Modbus TCP | 20 |
| 3.2.4 | Conectividad con un servidor OPC | 21 |
| 3.2.5 | Medición de variables eléctricas | 23 |
| 3.3 | Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema | 23 |
| 3.3.1 | Teoría sobre la generación de electricidad a partir de vapor | 24 |
| 3.3.2 | Medición de potencia trifásica | 26 |
| 3.3.3 | Sobre la falta de sincronía entre las fuentes de energía | 27 |
| 3.3.3.1 | Efecto de un desfase entre las fuentes | 28 |
| 3.3.3.2 | Efecto de un desbalance de frecuencia entre las fuentes | 28 |
| 3.3.3.3 | Efecto de la diferencia entre el voltaje de las fuentes..... | 29 |
| 3.3.4 | Métodos para el ordenamiento de datos | 29 |
| 3.3.4.1 | Ordenamiento rápido..... | 30 |
| 3.3.4.2 | Ordenamiento de burbuja | 31 |
| 3.3.4.3 | Ordenamiento por selección | 31 |
| 3.3.4.4 | Ordenamiento por inserción..... | 32 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4 | Capítulo 4: Procedimiento metodológico..... | 34 |
| 4.1 | Reconocimiento y definición del problema | 34 |
| 4.2 | Obtención y análisis de información..... | 35 |
| 4.3 | Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución | 35 |
| 4.4 | Implementación de la solución | 36 |
| 4.5 | Reevaluación y rediseño..... | 37 |
| 5 | Capítulo 5: Descripción detallada de la solución..... | 38 |
| 5.1 | Análisis de soluciones y selección final..... | 43 |
| 5.2 | Descripción del hardware | 48 |
| 5.2.1 | Multilin F650 | 48 |
| 5.2.2 | Medidores de variables eléctricas EPM-7000..... | 50 |
| 5.2.3 | Pasarela de conversión de protocolo TSXETG100 | 55 |
| 5.2.4 | Controlador lógico programable | 58 |
| 5.2.4.1 | Adaptador 172JNN21032 para la base de tiempo real..... | 63 |
| 5.2.4.2 | Bases de entradas y salidas: 170ADI54050 y 170ADO54050 | 65 |
| 5.2.4.3 | Señalización..... | 70 |
| 5.2.4.4 | Computadora personal para la interfaz humano-máquina | 71 |
| 5.2.4.5 | Switch Ethernet para la integración del sistema a la red..... | 72 |
| 5.3 | Descripción del software | 72 |
| 5.3.1 | Programación del PLC | 73 |
| 5.3.2 | Configuración de la interfaz humano-máquina: HMI..... | 82 |
| 5.3.2.1 | Configuración del servidor OPC | 82 |
| 5.3.2.2 | Creación de la aplicación HMI | 88 |
| 6 | Capítulo 6: Análisis de resultados | 94 |
| 7 | Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones..... | 112 |
| 7.1 | Conclusiones..... | 112 |
| 7.2 | Recomendaciones | 114 |
| 8 | Bibliografía..... | 115 |
| 9 | Apéndices..... | 118 |
| 9.1 | Apéndice A.1 Glosario..... | 118 |
| 9.2 | Apéndice A.2 Variables utilizadas en la programación del PLC | 120 |
| 9.3 | Apéndice A.3 Detalle del proceso de creación de la pantalla HMI | 122 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10 | Anexos | 126 |
| 10.1 | Anexo B.1 Configuración del mapeo de los registros del EPM-7000 usando la herramienta PCTool 7000 [7] | 126 |
| 10.2 | Anexo B.2 Configuración de los parámetros de comunicación de la pasarela TSXETG100 [17] | 128 |
| 10.3 | Anexo B.3 Hojas de datos de los principales componentes del sistema diseñado..... | 131 |
| 10.3.1 | B.3.1 PLC Momentum 171CCC96030 [18]..... | 131 |
| 10.3.2 | B.3.2 Pasarela ConneXium TSXETG100 [17]..... | 135 |
| 10.3.3 | B.3.3 Medidor de variables eléctricas EPM-7000 [7] | 137 |
| 10.3.4 | B.3.4 Multilin F650 [5]..... | 140 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 1.1 | Diagrama del sistema de transferencia de cargas actual. | 2 |
| Figura 1.2 | Fotografía de una sección del tablero de transferencias. | 2 |
| Figura 1.3 | Diagrama de bloques de primer nivel del sistema diseñado. | 5 |
| Figura 3.1 | Diagrama simplificado del proceso de generación eléctrica de la planta. | 12 |
| Figura 3.2 | Esquema eléctrico del tablero de transferencias manual. | 14 |
| Figura 3.3 | Ubicación de los períodos tarifarios del ICE. | 15 |
| Figura 3.4 | Tipos de HMI consideradas en este proyecto. | 18 |
| Figura 3.5 | Arquitectura de comunicación industrial basada en OPC. | 22 |
| Figura 3.6 | Esquema de una turbina de vapor. | 24 |
| Figura 3.7 | Representación del teorema de Blondel en una conexión delta. | 27 |
| Figura 3.8 | Funcionamiento del método de ordenamiento por inserción. | 32 |
| Figura 5.1 | Optimización del proceso de transferencia de cargas. | 39 |
| Figura 5.2 | Panel del sistema en la sección de turbinas. | 41 |
| Figura 5.3 | Diagrama de bloques de la primer solución planteada. | 44 |
| Figura 5.4 | Diagrama de bloques final del sistema diseñado. | 46 |
| Figura 5.5 | Dispositivo Multilin F650 de General Electric. | 48 |
| Figura 5.6 | Dispositivo EPM-7000 de Hsiang Cheng. | 50 |
| Figura 5.7 | Diagrama de conexión del medidor EPM-7000 a la red eléctrica de la planta. ... | 51 |
| Figura 5.8 | Método de conexión Daisy Chaining para dispositivos Modbus RTU con RS-485. | 53 |
| Figura 5.9 | Conexión de comunicaciones de los medidores EPM-7000. | 54 |
| Figura 5.10 | Fotografía del TSXETG100 Ethernet Gateway. | 56 |
| Figura 5.11 | Fotografía del procesador 171CCC96030 de la línea Momentum. | 59 |
| Figura 5.12 | Configuración del procesador en Concept. | 61 |
| Figura 5.13 | Configuración de las comunicaciones en Concept. | 62 |
| Figura 5.14 | Adaptador de opción 172JNN21032 para la base de tiempo real. | 63 |
| Figura 5.15 | Ensamble del adaptador de opción 172JNN21032 al procesador 171CC96030. | 64 |
| Figura 5.16 | Fotografía de la base de entradas discretas 170ADI54050. | 65 |
| Figura 5.17 | Configuración de la base de entradas salidas 170ADI54050 en Concept. | 66 |
| Figura 5.18 | Montaje del procesador y adaptador de opción a la base de entradas discretas. | 67 |
| Figura 5.19 | Diagrama de conexión de los botones a la base de entradas. | 67 |
| Figura 5.20 | Fotografía de la base de salidas discretas 170ADO54050. | 68 |
| Figura 5.21 | Configuración de la base de salidas discretas 170ADI54050 en Concept. | 69 |
| Figura 5.22 | Diagrama de conexión de los contactores de las transferencias a la base de salidas. | 70 |
| Figura 5.23 | Fotografía del dispositivo de señalización modelo 104ST(R)-N5 de Edwards Signaling. | 71 |
| Figura 5.24 | Diagrama de flujo del programa principal implementado en el controlador. | 74 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Figura 5.25 | Diagrama de flujo de RUTINA para la interacción del programa principal con la HMI..... | 77 |
| Figura 5.26 | Diagrama de flujo para la determinación de las variables de los casos 2 y 3. ... | 79 |
| Figura 5.27 | Diagrama de estados del funcionamiento del programa principal del PLC. | 81 |
| Figura 5.28 | Predicción de consumo de memoria del código diseñado. | 81 |
| Figura 5.29 | Entorno de configuración del servidor OPC y creación del canal de comunicación..... | 83 |
| Figura 5.30 | Configuración de “tags” para en el servidor OPC..... | 85 |
| Figura 5.31 | Lista de “tags” creados para los datos medidos por los EPM-7000 almacenados en el PLC. | 86 |
| Figura 5.32 | Lista de “tags” creados para las variables internas almacenadas en el PLC. ... | 87 |
| Figura 5.33 | Lista de “tags” creados para las variables reportadas por el Multilin F650. | 88 |
| Figura 5.34 | Entorno de desarrollo de aplicaciones HMI en RSVIEW32..... | 89 |
| Figura 5.35 | Creación de los nodos para la comunicación de la aplicación HMI con el PLC y el Multilin F650..... | 90 |
| Figura 5.36 | Construcción de la Tag Database a partir de las “tags” del servidor OPC. | 91 |
| Figura 5.37 | Interfaz gráfica del sistema. | 92 |
| Figura 6.1 | Herramienta de simulación del PLC IEC 32-bit Simulator..... | 94 |
| Figura 6.2 | Conexión al PLC simulado utilizando el IEC 32-bit Simulator..... | 95 |
| Figura 6.3 | Descarga del programa al PLC simulado. | 96 |
| Figura 6.4 | Establecimiento del reloj del PLC simulado..... | 96 |
| Figura 6.5 | Condiciones iniciales configuradas en el sistema para su simulación..... | 98 |
| Figura 6.6 | Selección del modo de operación automático. | 99 |
| Figura 6.7 | Comprobación de la determinación del período tarifario actual..... | 99 |
| Figura 6.8 | Comprobación de la alerta en el panel diseñado por cumplimiento del caso 1. | 100 |
| Figura 6.9 | Comprobación de la activación del caso 1 y correcta recomendación del sistema. | 100 |
| Figura 6.10 | Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la primer transferencia. | 101 |
| Figura 6.11 | Comprobación del cumplimiento del caso 1 y correcta recomendación del sistema #2..... | 102 |
| Figura 6.12 | El operador presiona el botón “Avisar” para alertar al operador del circuito 5 sobre la transferencia de éste al ICE. | 103 |
| Figura 6.13 | Comprobación de la activación de la alerta de la sección donde se encuentran las prensas 1 y 5..... | 103 |
| Figura 6.14 | El operador presiona el botón “Apagar circuito” disminuyéndose la potencia consumida del generador. | 104 |
| Figura 6.15 | Comprobación de la desactivación de los contactores del circuito 4 debido a la ejecución del comando “Apagar circuito”. | 104 |
| Figura 6.16 | Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la segunda transferencia. | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.17 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la tercer transferencia. | 106 |
| Figura 6.18 Comprobación de la activación del caso 2 y la correcta recomendación del sistema. | 107 |
| Figura 6.19 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la cuarta transferencia. | 108 |
| Figura 6.20 Modificación de los valores para el cumplimiento del caso 3 y comprobación de la correcta recomendación del sistema. | 109 |
| Figura 6.21 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la quinta transferencia. | 110 |
| Figura 6.22 Comprobación de la comunicación entre el servidor OPC y el Multilin F650. . | 111 |
| Figura 9.1 Primera parte del listado de variables del PLC. | 120 |
| Figura 9.2 Segunda parte del listado de variables del PLC. | 121 |
| Figura 9.3 Tercera parte del listado de variables del PLC. | 121 |
| Figura 9.4 Creación de los espacios para la visualización de las mediciones de potencia de los EPM-7000. | 122 |
| Figura 9.5 Configuración de la animación de los rectángulos de indicación del estado de conexión de los circuitos. | 123 |
| Figura 9.6 Creación de los espacios para la visualización de las variables calculadas por el PLC. | 123 |
| Figura 9.7 Configuración de la animación de los rectángulos de indicación del cumplimiento de los casos. | 124 |
| Figura 9.8 Creación de los espacios para el ingreso de los límites deseados por el operador. | 124 |
| Figura 9.9 Configuración del botón Ignorar. | 125 |
| Figura 9.10 Configuración del botón Avisar. | 125 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabla 2.1 | Rubros y requerimientos para la meta del proyecto. | 7 |
| Tabla 2.2 | Rubros y requerimientos del objetivo general del proyecto. | 9 |
| Tabla 3.1 | Estructura de los mensajes Modbus [11]. | 19 |
| Tabla 5.1 | Escenarios para la estructuración en casos en los que se requiere transferir cargas. | 42 |
| Tabla 5.2 | Sección del mapa de memoria Modbus del Multilin F650 [5]. | 49 |
| Tabla 5.3 | Mapeo de la variable requerida del EPM-7000 para su lectura. | 53 |
| Tabla 5.4 | Parámetros de configuración del puerto Ethernet de la pasarela TSXETG100. | 57 |
| Tabla 5.5 | Parámetros de configuración del puerto serial de la pasarela TSXETG100. | 57 |
| Tabla 5.6 | Características del procesador 171CCC96030 utilizado. | 60 |
| Tabla 5.7 | Configuración de los registros de memoria para el reloj de hora del día. | 64 |
| Tabla 5.8 | Características de la base de entradas discretas 170ADI54050 [19]. | 65 |
| Tabla 5.9 | Características de la base de salidas discretas 170ADI54050 [19]. | 68 |
| Tabla 5.10 | Requerimientos de la PC para la ejecución de la aplicación HMI. | 72 |
| Tabla 5.11 | Características configuradas en el canal de comunicación del servidor OPC. | 84 |
| Tabla 5.12 | Características configuradas para la comunicación del servidor OPC con el PLC. | 84 |
| Tabla 5.13 | Características configuradas para la comunicación del servidor OPC con el Multilin F650. | 87 |

1 Capítulo 1: Introducción

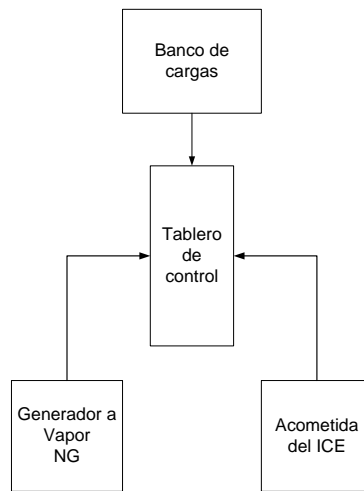
En este capítulo se describe el proceso de transferencia de circuitos de carga entre el generador de la planta y la acometida del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el problema existente con el mismo. Se examina la necesidad de cambiar la situación actual y se detallan las mejoras al proceso que se incluyen en este proyecto.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Como parte del proceso productivo, en la planta se genera gran cantidad de vapor. Las calderas producen vapor de alta presión que se utiliza en las etapas de esterilización y fraccionamiento, y se aprovecha el vapor producido también para alimentar la turbina de un generador. El generador posee una capacidad máxima de 2100 kW y se utiliza para el suplemento de la alimentación de los equipos y maquinaria que componen el proceso productivo.

Sin embargo, debido al alto volumen de producción que se maneja por la gran demanda del producto, en muchas ocasiones se consume una suma de potencia cercana a la máxima capacidad del generador, por lo que la turbina demanda una cantidad de vapor que la caldera no puede suplir.

Esta situación llevó a que se implementara un sistema que permitiera seleccionar la conexión de siete de los circuitos de mayor consumo de potencia entre el generador de la planta y la acometida del ICE. Esto para que, en caso de requerir liberar carga de la turbina por problemas con su suministro de vapor, se pudiera conectar esta carga a otra fuente para no tener que detener los equipos desconectados del generador. El sistema de transferencia de circuitos de cargas implementado y el tablero instalado se muestran en las figuras 1.1 y 1.2 respectivamente:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 1.1 Diagrama del sistema de transferencia de cargas actual.



Figura 1.2 Fotografía de una sección del tablero de transferencias.

El proceso de transferencia de cargas lo lleva a cabo el operador de la sección de turbinas. Actualmente el operador cuenta únicamente con el dato de potencia consumida del generador proveniente del Multilin F650 de General Electric, dispositivo que cumple las funciones de control, protección y monitorización del generador. El operador entonces, conociendo las posibles complicaciones que se dan con el suministro de vapor a la turbina si se incrementa a valores muy altos la potencia generada, observa el incremento de este valor y decide transferir un circuito

de cargas. Sin embargo, al no tener sólo esta tarea, el operador no siempre está al tanto de la necesidad de transferir carga, y en ocasiones se percata hasta que se dio una complicación mayor en la sección de calderas.

Suponiendo que el operador se percata a tiempo, éste no cuenta con datos de potencia consumida de cada uno de los siete circuitos transferibles, lo que le complica la selección del circuito por transferir. Además de no contar con los datos, el operador no posee una estrategia clara para determinar el circuito por transferir, ni el orden si fuera necesario transferir más de uno. Esto genera un descontrol de la cantidad de carga que se consume del ICE y dificulta la planificación de los costos por consumo energético llevada a cabo por el departamento de producción. Es decir, no hay un sistema que limite la cantidad de energía consumida para cierto período.

A la hora de retornar circuitos del ICE a la turbina, debido a una disminución del consumo de potencia del generador, el operador en ocasiones no se entera a tiempo de la posibilidad de hacerlo, lo que incrementa también las tarifas por consumo energético del ICE en diferentes medidas según el período tarifario en que suceda el descuido.

El objetivo de este trabajo consiste en optimizar el proceso de transferencia de circuitos de carga mediante la medición de potencia consumida por los equipos implicados en el proceso, el ingreso de valores límite deseados por el usuario, y una estrategia que le indique al operador el momento oportuno y el circuito adecuado para transferir, todo visualizado en una interfaz gráfica computacional.

Al re-organizar el proceso en cuestión se obtienen beneficios como:

- Medición de valores de potencia de cada circuito de cargas. Permitiendo determinar, de una manera fundamentada, el circuito por transferir.
- Capacidad de ingreso del valor de potencia límite consumida del generador. Lo que permite controlar la demanda de vapor de la turbina a la caldera, previendo así bajonazos en la tensión generada por problemas con el

consumo de vapor, y protegiendo la bomba de agua de la caldera. Además al tener control sobre la cantidad de carga conectada al generador se controla indirectamente la combustión de la fibra en el horno de la caldera, y por lo tanto la emanación de humo contaminante al ambiente.

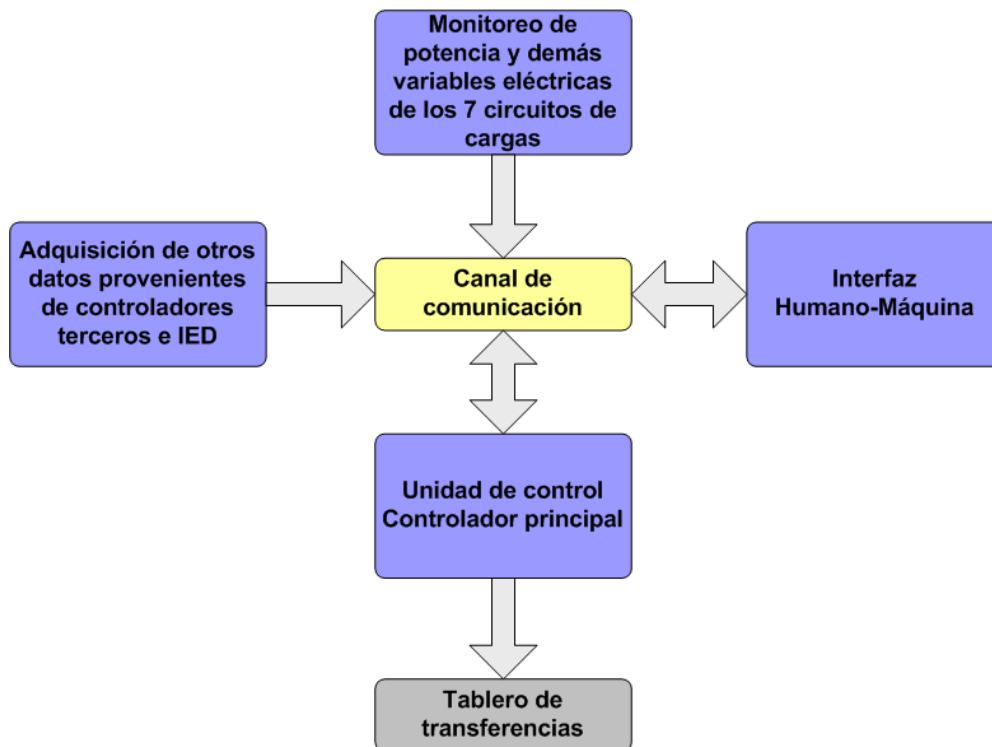
- Capacidad de ingreso de valores de potencia límite consumida del ICE en cada período tarifario. Lo que permite cumplir con el plan de costos energéticos de la empresa.
- Estructuración del proceso de transferencia en escenarios. Permite al usuario saber la razón de la necesidad de llevar a cabo una transferencia.
- Con base en todos los datos, tanto los medidos como los ingresados por el usuario, se determina la necesidad de la transferencia de manera inmediata en cuanto se cumple algún escenario que requiera transferir un circuito.

1.2 Solución seleccionada

La Compañía Industrial Aceitera Coto 54 desea re-organizar y modernizar el proceso de transferencia de circuitos de cargas entre el generador de la planta y la acometida del ICE. El principal requerimiento consiste en obtener una determinación inteligente del momento preciso de realizar una transferencia en cualquier sentido, y el circuito por transferir. Esto basándose en datos medidos de potencia y valores ingresados por el usuario. Se requiere entonces una propuesta de un sistema que brinde las capacidades anteriormente mencionadas, además de contar con una interfaz gráfica que permita al operador tomar parte activa en el proceso, todo contenido en una arquitectura integrada.

Con el fin de cumplir con los requerimientos de la empresa se procedió al diseño de una arquitectura de un sistema que incorporara los bloques necesarios para desempeñar las funciones que contempla la restructuración del proceso de

transferencias. En la figura 1.3 se muestra un diagrama de bloques de primer nivel del sistema diseñado y sus secciones:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 1.3 Diagrama de bloques de primer nivel del sistema diseñado.

Un controlador lógico programable se encarga de determinar la necesidad de llevar a cabo una transferencia y recomendar al operador cuál de los circuitos transferir, tomando en cuenta: datos procedentes de medidores de potencia trifásicos conectados en los circuitos transferibles, valor de potencia del generador brindado por el Multilin F650, y valores límite de potencia consumida de la turbina y potencia consumible del ICE en cada período tarifario programados por el operador. Además de hacer la recomendación, el sistema diseñado también asiste al operador en la ejecución de la transferencia. Todo el proceso se despliega en una interfaz gráfica computacional.

En cuanto a las restricciones existentes, la principal recae en el hecho de no poderse realizar la transferencia de forma automática, es decir, el sistema está limitado a

recomendar la transferencia a ejecutar, además de asistir al operador en el proceso de ejecución. Sin embargo, el sistema no tiene la autonomía para ejecutar todo el proceso de forma automática debido a que no existe sincronización entre las fuentes, generador y el ICE. Las razones que sustentan esta restricción se comentan a continuación:

- Si se hace la transferencia automática, el equipo por transferir puede sufrir choque mecánico debido al cambio en la fuente de alimentación. Lo que introduce una variación tanto en fase como en magnitud de la tensión aplicada al equipo. Esto a la postre puede causar daños severos a los motores.
- La inclusión de una transferencia de carga sin corte conllevaría incurrir en mayores gastos adicionales como lo son la compra de equipo especial para la sincronización y transferencia segura de los equipos entre las 2 fuentes de energía, tema que por el momento la empresa no tiene en sus planes.
- Esto a su vez conlleva a la tramitación con el ICE necesaria para la inclusión de un sistema de transferencia de carga sin corte y sincronización momentánea.
- A causa de la naturaleza del generador a vapor: la turbina del generador funciona a partir del vapor proveniente de una caldera cuyo combustible es biomasa. La combustión de la biomasa es irregular lo que desestabiliza el suministro de vapor a la turbina por lo que esta posee variaciones en sus parámetros como lo son tensión y frecuencia. Lo que complica aún más el tema de la sincronización con el ICE.

Debido a problemas con el presupuesto de la empresa, el proyecto se llevó a cabo hasta la etapa de diseño y simulación. Se utilizó software gratuito para desarrollar los programas necesarios para la futura implementación del sistema.

2 Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Diseñar y simular un sistema que determine automáticamente cuáles circuitos de cargas se deben transferir entre el generador de la planta y la acometida del ICE, con base en mediciones de potencia y tomando en cuenta límites de potencia programados por el operador, optimizando así el proceso de transferencia de circuitos de cargas en la planta.

Indicador: El sistema debe cumplir con los rubros y requerimientos de la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Rubros y requerimientos para la meta del proyecto.

| Rubro: Diseño | Requerimientos |
|----------------------|---|
| Programa de control | <ul style="list-style-type: none">• Diseñar una estrategia de control que determine, en tiempo real, la(s) transferencia(s) que se deben ejecutar con el fin de cumplir con los límites de potencia ingresados por el operador.• El programa debe estar en capacidad de adquirir los datos de los dispositivos necesarios para la determinación del resultado, así como los límites de potencia ingresados por el operador.• El programa debe respetar el límite de carga de la turbina, es decir, debe indicar la necesidad de una transferencia al ICE en caso de que la carga conectada al generador llegue al límite configurado.• En el caso de que la potencia cargada a la turbina sea menor al límite de carga de la misma, el programa determinará cuál de los circuitos conectados al ICE se le puede devolver al generador de manera que aún se respete el límite de carga de la turbina. |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • En el caso de que la potencia consumida del ICE sobrepase los límites de consumo de potencia por período de la acometida del ICE ingresados por el operador, el programa debe indicar el circuito por transferir. |
| Configurabilidad y disponibilidad de datos. | <ul style="list-style-type: none"> • Permitir al usuario seleccionar el modo de operación del sistema, recibir alertas e ingresar valores para configurar los límites de potencia deseados. • Mostrar al usuario los siguientes datos: potencia de cada circuito transferible, estado de conexión, consumo de potencia del ICE, potencia generada y límites programados. |
| Optimización del proceso de transferencia de circuitos de cargas de la planta. | <ul style="list-style-type: none"> • Facilitar y agilizar el trabajo de los operadores de la sección de turbinas en lo que respecta al manejo de las transferencias. |
| Rubro: Simulación | Requerimiento |
| Funcionalidad | <ul style="list-style-type: none"> • Obtener resultados simulados que respalden los requerimientos funcionales del diseño. |
| Comunicaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Comprobar la correcta comunicación entre los módulos del sistema. De no poder contar con la herramienta requerida para simular la comunicación general, se utilizarán otras herramientas gratuitas para demostrar la comunicación entre algunos módulos. |
| Rubro: Documentación | Requerimiento |
| Propuesta de diseño | <ul style="list-style-type: none"> • Entregar a la empresa una copia del informe del proyecto con la propuesta del diseño y simulaciones obtenidas. |
| Archivos de programación | <ul style="list-style-type: none"> • Entregar a la empresa los archivos de programación del PLC y de la HMI. |

2.2 Objetivo general

Diseñar un sistema capaz de transferir las cargas entre el generador de la planta y el ICE con base en valores monitorizados de potencia generada y consumida y tomando en cuenta los límites de potencia programados.

Indicador: El sistema diseñado debe cumplir con lo expuesto en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Rubros y requerimientos del objetivo general del proyecto.

| Rubro | Requerimientos |
|---|---|
| Aprovechamiento de la potencia generada | <ul style="list-style-type: none">El sistema debe utilizar por defecto la potencia del generador, las transferencias se deben llevar a cabo sólo si se sobrepasa el límite de carga de la turbina, previendo un problema en el suministro vapor de la misma. |
| Configurabilidad y disponibilidad de datos. | <ul style="list-style-type: none">Permitir al usuario ingresar valores para configurar el límite de potencia del generador así como los límites deseados en cada uno de los períodos tarifarios del día.Mostrar al usuario los siguientes datos: potencia de cada circuito transferible, estado de conexión, consumo de potencia del ICE, potencia generada y límites programados. |
| Ajustarse al valor programado | <ul style="list-style-type: none">El límite máximo de potencia consumida de la acometida del ICE debe ajustarse al valor ingresado por el usuario. No se puede sobrepasar del límite ingresado. |
| Monitorización | <ul style="list-style-type: none">Obtener la medida de la potencia generada y de la potencia consumida por cada una de las cargas transferibles. |
| Alerta | <ul style="list-style-type: none">En caso de que el consumo se aproxime a los límites configurados, el sistema debe indicarlo con una alarma y aconsejar al operador sobre cuál carga transferir. |

2.3 Objetivos específicos

1. Crear un programa que a partir de los datos adquiridos determine de forma automática cuál(es) circuito(s) de cargas transferir para evitar problemas con el suministro de vapor a la turbina y sin sobrepasar límites de potencia por período tarifario del ICE.

Indicador: El programa diseñado debe tomar datos de potencia de cada dispositivo y determinar cuáles transferencias se deben ejecutar con el fin de cumplir los límites ingresados por el operador. Se deberá idear una estrategia que determine cuál transferencia es mejor ejecutar. Para esto se contará con el apoyo de ingenieros y operadores de la empresa. Se deben presentar simulaciones que corroboren éstas funciones.

2. Diseñar un sistema de medición en tiempo real del consumo de potencia de los circuitos de cargas transferibles para obtener una medida actual de esta variable.

Indicador: El sistema de medición debe ser de fácil instalación, alta precisión y debe integrarse a la red de comunicación industrial. Además debe acoplarse al sistema eléctrico de la planta, este es, conexión delta flotante 480VAC y 300A como máximo en el circuito de mayor potencia. El tiempo de escaneo debe ser menor o igual a 1 segundo.

3. Diseñar un sistema que permita una comunicación unidireccional entre el Multilin F650 y el sistema para lograr la adquisición de la potencia generada por la turbina.

Indicador: El dato adquirido debe tener un porcentaje de error menor al 3% respecto al valor que reporta el Multilin F650. Se deben presentar pruebas que comprueben la obtención de este parámetro, esto con software de prueba de comunicación entre

una estación remota y el dispositivo. La estación remota simulará el procesador central.

4. Diseñar una interfaz humano-máquina (HMI) mediante la cual se ingresen los límites de potencia deseados, se despliegue el valor de consumo actual de cada circuito, y se muestre al operador información sobre el proceso de transferencia de cargas y las alertas generadas.

Indicador: Los datos ingresados por el usuario deben operar como límites en cada uno de los períodos del día. Se deben desplegar los valores de potencia consumida por cada circuito, potencia generada y límites programados. Se debe indicar con una alerta que indique que se cumplió un escenario de transferencia y cuál de las cargas se debe transferir. Se deberá obtener archivos y pantallazos de la interfaz diseñada y, de contar con las herramientas, se deberá presentar simulaciones de éstas funciones.

5. Crear una estructura y diseñar las rutinas de comunicación entre el procesador central y los periféricos, y entre la HMI y los periféricos.

Indicador: Se deberá presentar la configuración o rutinas de comunicación para la obtención de los datos en ambos módulos, así como las pruebas de comunicación que se puedan obtener con las herramientas disponibles.

6. Brindar a la empresa la documentación del proyecto, así como los archivos de programación de cada equipo desarrollado con licencias gratuitas debido a la limitación de presupuesto.

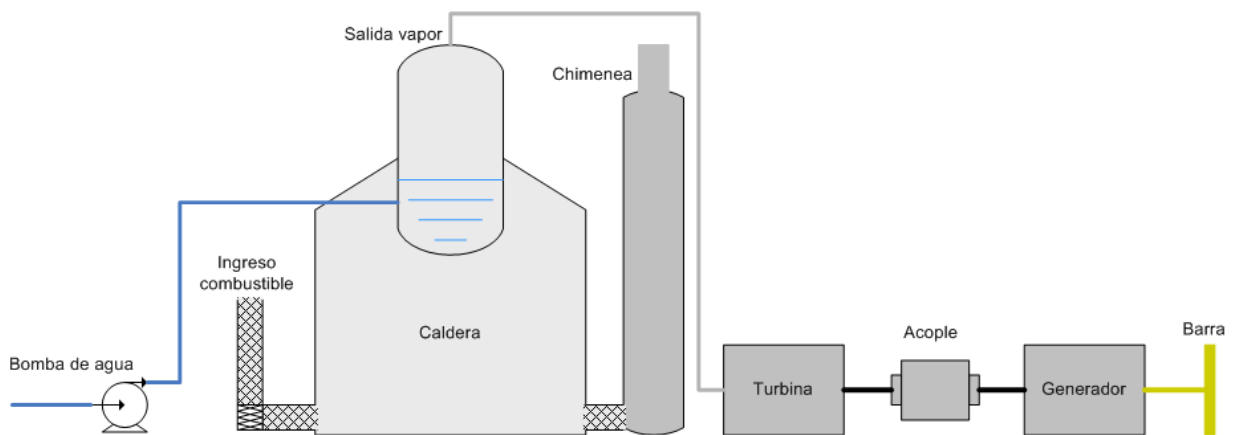
Indicador: Entregar una copia del informe del proyecto que incluya todo el proceso de estudio y diseño de la solución, dispositivos que se utilizarían en su implementación, y resultados de las simulaciones, así como los archivos de programación desarrollados en el software gratuito disponible.

3 Capítulo 3: Marco teórico

En las secciones anteriores se han descrito las deficiencias existentes en el proceso de transferencia de cargas entre el generador de la planta y la acometida del ICE. En los apartados de este capítulo se profundiza en el proceso a mejorar y se exploran los conceptos que forman parte de la solución diseñada.

3.1 Descripción del proceso a mejorar

El sistema de generación eléctrica de la planta consiste de una turbina a vapor alimentada por una de las calderas. Este sistema se ilustra en la figura 3.1:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 3.1 Diagrama simplificado del proceso de generación eléctrica de la planta.

La caldera está diseñada para operar a un flujo máximo de 30-32 toneladas de vapor por hora, dependiendo de su estado. La razón de conversión de potencia de la turbina se indica en la siguiente relación:

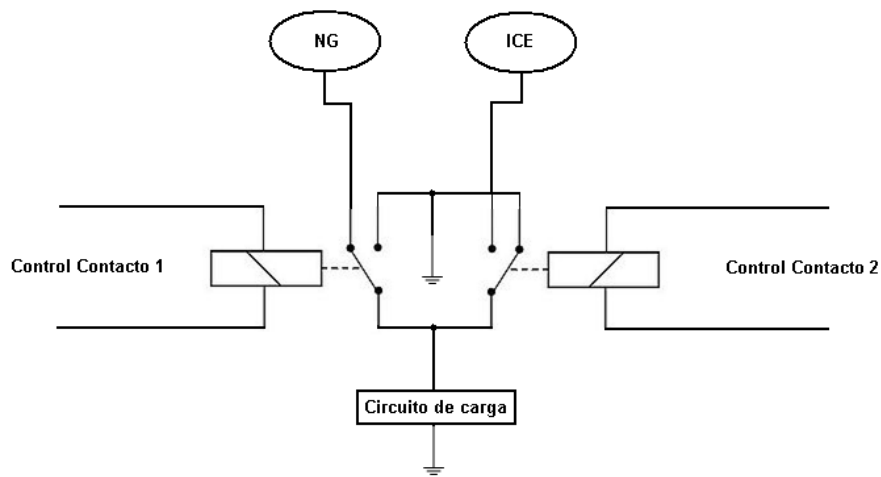
$$\text{-----} \tag{3.1}$$

La potencia requerida por el proceso productivo es, según datos del departamento de producción, de 1800kW en promedio. Las cargas que componen el proceso son motores eléctricos trifásicos y monofásicos, motores especiales, paneles de control, alumbrado y otras.

Debido a la naturaleza del proceso de extracción de aceite, los equipos eléctricos involucrados trabajan con una carga muy variable, además de que el proceso constantemente requiere que se detengan y arranquen máquinas y motores en las etapas que componen el proceso de forma imprevista. Esto hace que la carga consumida del generador varíe continuamente por lo que en ocasiones, según la relación 3.1 se puede llegar a demandar un flujo de vapor considerable, mientras que otras veces es menor el flujo requerido.

Cuando el generador está muy cargado, la turbina requiere mayor flujo de vapor de la caldera. Por lo que ésta a su vez demanda más cantidad de agua a la bomba que la supe, además el proceso de combustión de la fibra en el horno no se lleva a cabo de la forma en que lo haría si la caldera trabajara al flujo nominal, pudiéndose emanar humo contaminante por la chimenea. Esto provoca que, al no recibir la cantidad de vapor requerida debido a la incapacidad de la caldera, el generador, para sostener la cantidad de carga conectada, disminuya su tensión hasta que se disparan las protecciones por bajo voltaje.

Es por lo anterior que a siete circuitos de cargas se les implementó un sistema que permite transferirlas entre el generador y la acometida del ICE. Dichas transferencias las lleva a cabo un operador en un tablero de perillas como el mostrado anteriormente en la figura 1.2. El diagrama eléctrico de conexión para un circuito de carga se muestra en la figura 3.2. La ubicación de las perillas del tablero de transferencias energiza el contactor de conexión de la respectiva fuente. Es decir, el control de cada contacto viene dado por la posición de la perilla.



Herramienta de dibujo Paint.

Figura 3.2 Esquema eléctrico del tablero de transferencias manual.

Los circuitos de cargas a los que se les implementó el sistema de transferencia se numeran a continuación:

1. Alumbrado.
2. Quebradores, Expeller 4.
3. Prensas 3 y 6.
4. Prensas 1 y 5.
5. Coquito 1, Expeller 1.
6. Coquito 1, Expeller 2 y 3.
7. Pinzotera.

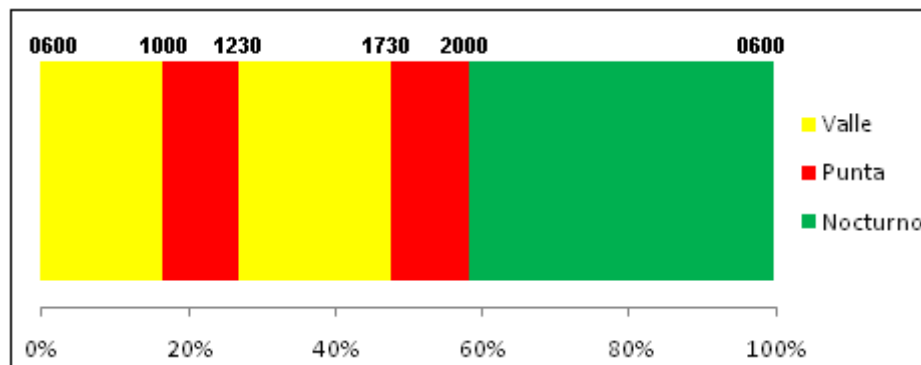
Cada circuito fue nombrado de acuerdo a los equipos que posee conectados. Sin embargo, con el pasar del tiempo, a algunos circuitos se le han ido agregando nuevas cargas.

Cabe destacar que actualmente en la planta no existe sincronización entre el generador y el ICE, lo que impide que la mayoría de transferencias sean instantáneas. Esto por cuanto las cargas, a excepción del alumbrado, son motores eléctricos que se verían afectados por un cambio en su alimentación entre dos

fuentes con distintos parámetros eléctricos como tensión y frecuencia. La teoría relacionada con este tema será profundizada en un apartado posterior.

Ante esta situación, si el operador desea llevar a cabo una transferencia, debe primero informar al operador del equipo por transferir para que éste tome las previsiones necesarias en relación con un cambio en la fuente de alimentación del equipo en cuestión. De ser necesario, se debe desconectar el motor, descargarlo, conectarlo a la nueva fuente y volverlo a cargar gradualmente. El motor se arranca descargado para evitar picos de corriente en el arranque que pueden disparar los sistemas de protección de los equipos y también conllevar a mayores cobros por consumo del ICE.

Para el cobro por consumo de energía y potencia, el ICE posee un estatuto que varía la tarifa según el período del día [9]. Dichos períodos son: período de máxima demanda, período de valle y período nocturno; siendo el período de máxima demanda el que presenta la tarifa mayor, y el período nocturno la tarifa menor. En la figura 3.3 se presenta un diagrama de la ubicación de los períodos tarifarios.



Microsoft Office Excel 2007.

Figura 3.3 Ubicación de los períodos tarifarios del ICE.

Actualmente, el operador de la turbina cuenta únicamente con los datos de las variables eléctricas del generador. Tensión, frecuencia, corriente y potencia real son tomados en cuenta por el operador en el proceso de transferencia de cargas.

3.2 Antecedentes bibliográficos

A continuación se presentan algunas tecnologías disponibles actualmente que fueron consideradas para la solución del problema planteado.

3.2.1 Procesamiento de datos en un controlador lógico programable

Para procesar los datos provenientes de los módulos periféricos, como lo son los medidores de potencia, el Multilin F650, y la interfaz humano-máquina, un controlador lógico programable, o PLC por sus siglas en inglés, presenta varias ventajas especialmente en un entorno industrial como lo es el de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54. En seguida se listan algunas:

- Diseño modular flexible que permite crear un sistema para cubrir las necesidades de inteligencia local distribuida en el punto de control [8].
- Capacidad de programación de la lógica de control mediante software especial. Dicho software permite conectarse al PLC con una computadora personal para descargar el programa vía Ethernet con un cable RS-485. También cuenta con funcionalidades adicionales que asisten en la depuración y simulación del código diseñado [24].
- Disponibilidad de un set de instrucciones para la programación de la lógica. Existen también varios lenguajes de programación, como lo son: lógica de escalera, lista de instrucciones, texto estructurado, diagrama de bloques y otros [8].
- Alta velocidad en la ejecución de la lógica, lo que reduce el tiempo de respuesta ante un evento programado.
- Capacidad de comunicación en red con otros dispositivos que cumplan con el mismo protocolo. Cuentan con puertos de comunicación para su integración en la red industrial.

- Escalamiento del sistema. Dependiendo de la selección del procesador, éste puede soportar gran cantidad de puntos de entrada-salida, lo que permite la expansión del sistema.
- Diseño resistente capaz de trabajar en condiciones ambientales severas. Toleran altos rangos de temperatura, poseen alto grado de inmunidad al ruido eléctrico y presentan resistencia a vibraciones e impactos [24].

Además existen adaptadores opcionales que se conectan al módulo de procesador que le brindan a éste la base de tiempo real, fecha y hora del día.

3.2.2 Tecnologías para la interfaz humano-máquina

Actualmente existen diversas tecnologías para la creación de interfaces humano-máquina, o HMI por sus siglas en inglés. Desde terminales con pantalla táctil hasta software para la creación y ejecución de aplicaciones de adquisición de datos, monitorización y aplicaciones de control que corre en una computadora personal, las HMI sirven como la interfaz mediante la que el usuario interactúa con el sistema que controla el proceso. En la figura 3.4 se muestran los dos tipos de HMI que se consideran en este proyecto:



Imágenes tomadas de [16] y [14].

Figura 3.4 Tipos de HMI consideradas en este proyecto.

Ambas opciones cuentan con facilidad de conexión con los dispositivos de campo, dependiendo esto del fabricante y si el protocolo es abierto o propietario.

3.2.3 Protocolos de comunicación industrial: Modbus y Modbus TCP

Hoy por hoy existen numerosos protocolos de comunicación en las redes industriales. La gran cantidad de empresas que trabajan en el sector de automatización y su mentalidad de establecer protocolos propietarios han hecho que en la actualidad se encuentren cuantiosos protocolos dependiendo de la marca proveedora que se seleccione. Dicha circunstancia ha hecho que cada vez sea más complicado comunicar dispositivos de distintos proveedores.

Ante esta situación se ha fortalecido la idea de crear un protocolo de comunicación abierto que facilite la integración de los sistemas de control industrial centralizados. Esta idea se concretó con la especificación del protocolo Modbus y su posterior variante Modbus TCP.

3.2.3.1 Modbus

Es una estructura de mensajería diseñada para establecer comunicaciones maestro-esclavo entre dispositivos inteligentes. En este esquema solamente un dispositivo, el maestro, puede iniciar las transacciones; los demás dispositivos, los esclavos, responden suministrando los datos requeridos por el maestro, o ejecutando la acción indicada por éste. El dispositivo maestro puede direccionar un esclavo individual, o puede hacer un mensaje difundido a todos los esclavos [20].

Los dispositivos que cumplen con el protocolo Modbus incluyen un mapa de registros. Las funciones Modbus operan sobre los registros del mapa para monitorizar, configurar y controlar la memoria y entradas-salidas del módulo, favoreciendo la comunicación entre los dispositivos.

En la tabla 3.1 se muestra la estructura de los mensajes Modbus:

Tabla 3.1 Estructura de los mensajes Modbus [11].

| Campo | Descripción |
|---------------------------|--|
| Dirección del dispositivo | Dirección del receptor |
| Código de función | Código que define el tipo de mensaje |
| Datos | Bloque de datos |
| Chequeo de error | Valor numérico para chequear errores de comunicación |

La secuencia de los elementos de la tabla anterior es la misma para todos los mensajes, lo que facilita la traducción del contenido de los mensajes Modbus.

Existen dos modos de transmisión para este protocolo, modo ASCII y modo RTU, ambos seriales. El modo ASCII posee la capa física RS-232, mientras que el modo RTU es RS-485. El modo de transmisión se configura en los dispositivos como parte de los parámetros de comunicación [20].

Modbus emplea dos métodos de chequeo de error: el chequeo de paridad y CRC (Cyclic Redundancy Check).

Una de las limitaciones de este protocolo es que en una red Modbus solamente puede existir un maestro.

3.2.3.2 Modbus TCP

Este protocolo fue diseñado para permitir la comunicación en red entre equipos industriales tales como PLC's, paneles de operador, motores, sensores, transmisores y otros.

Básicamente, Modbus TCP empotra una trama Modbus en una trama Ethernet TCP/IP. La misma estructura de mensajería de Modbus se mantiene, sólo que es llevada mediante Ethernet TCP/IP. Esta transacción es orientada a la conexión, lo que significa que cada petición espera una respuesta. En este esquema, se abre la posibilidad de que existan varios clientes para un servidor, superándose la desventaja que presenta Modbus. Otras ventajas de este protocolo se listan a continuación [20]:

- Alta escalabilidad: gran cantidad de dispositivos pueden comunicarse a través de una red Ethernet *switchada*. La adición de dispositivos a la red es tan simple como asignarle una dirección IP y el puerto especificado para Modbus TCP (típicamente 502).
- Posee todo el rendimiento conocido de las redes Ethernet TCP/IP, así como las demás ventajas acreditadas a la pila TCP/IP.

- Cuenta con la facilidad de comunicarse con otros dispositivos Modbus, utilizando dispositivos de conversión (*gateway*) configurables de manera simple.

3.2.4 Conectividad con un servidor OPC

Debido a la existencia de una variedad de protocolos de campo propietarios de distintas marcas, la comunicación entre dos dispositivos de distintos proveedores es irrealizable; la dificultad mayor la tienen los fabricantes de software de supervisión (SCADA) y HMI's. Por lo tanto, si se desea integrar soluciones de distintos proveedores y comunicarlas hacia una estación de supervisión, es necesario utilizar la conectividad que brinda un servidor OPC.

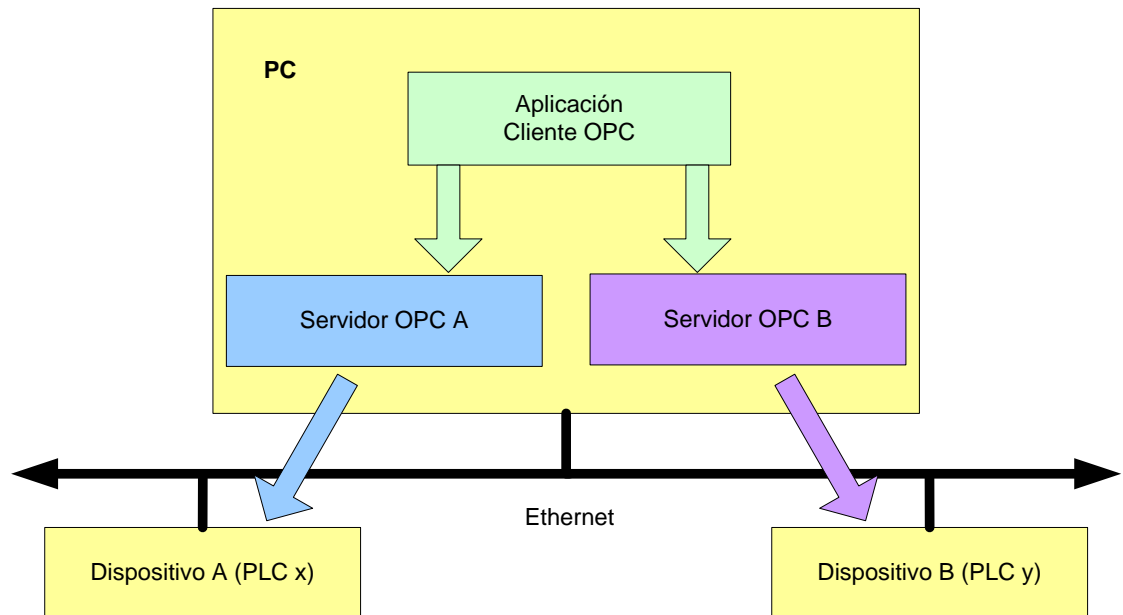
OPC viene de las siglas *OLE for Process Control*. OLE a su vez viene de *Object Linking and Embedding*. Esta tecnología provee interfaces uniformes para que distintas aplicaciones industriales con diferentes protocolos se comuniquen entre sí [10].

OPC se basa en OLE 2.0, que es una tecnología desarrollada por Microsoft para remplazar al DDE (*Dynamic Data Exchange*). Esta nueva tecnología es más flexible, robusta y eficiente para el entorno industrial que su antecesora. Establece que en una aplicación es posible incluir o incrustar objetos que quedarán totalmente contenidos en ella. Los objetos enlazados o vinculados tienen una conexión en la aplicación cliente y sólo son accesibles a través de la aplicación que contiene los datos originales [22].

Dentro de la descripción de OPC se define la especificación de acceso de datos, la cual precisa cómo construir las interfaces entre cliente y servidor. Este método facilita el intercambio de datos de forma estandarizada y simple en aplicaciones de control y

automatización, entre los dispositivos de campo y las aplicaciones de supervisión y visualización.

OPC utiliza drivers para comunicarse con cada dispositivo de campo. En la figura 3.5 se ilustra una arquitectura de comunicación industrial basada en OPC:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 3.5 Arquitectura de comunicación industrial basada en OPC.

En el esquema mostrado se nota que el servidor OPC es un software que se puede encontrar instalado en la misma computadora que el cliente OPC, que puede ser un software de desarrollo de aplicaciones de visualización. De esta manera, la aplicación cliente puede intercambiar datos con los dispositivos de campo, aunque sean de distintos fabricantes.

En cada servidor OPC hay una memoria caché de datos relacionada con el dispositivo con el que comunica [22].

3.2.5 Medición de variables eléctricas

En la actualidad existen medidores electrónicos de variables eléctricas que integran diversas funciones. Estos aparatos son especificados para varias condiciones de medición dependiendo de la magnitud de la tensión y potencia máxima que medirán, además de poder adaptarse a distintos tipos de conexión ya sea trifásica de tres o cuatro hilos. Tales dispositivos pueden sustituir varios instrumentos analógicos convencionales [7].

Algunos de estos dispositivos cuentan con la capacidad de medir numerosas variables como lo son: tensión y corriente de las tres fases, potencia real, aparente y reactiva, factor de potencia, energía y frecuencia. Además poseen memoria de datos y capacidad de comunicación de éstos a otros dispositivos que lo requieran.

Todas estas características las poseen gracias a que están basados en microprocesadores lo que les permite alcanzar una alta precisión en la medición y en los valores calculados a partir de ésta [21].

Los medidores simplemente requieren de transformadores de corriente a sus entradas dimensionados para cumplir con el requerimiento de intensidad de la aplicación en específico.

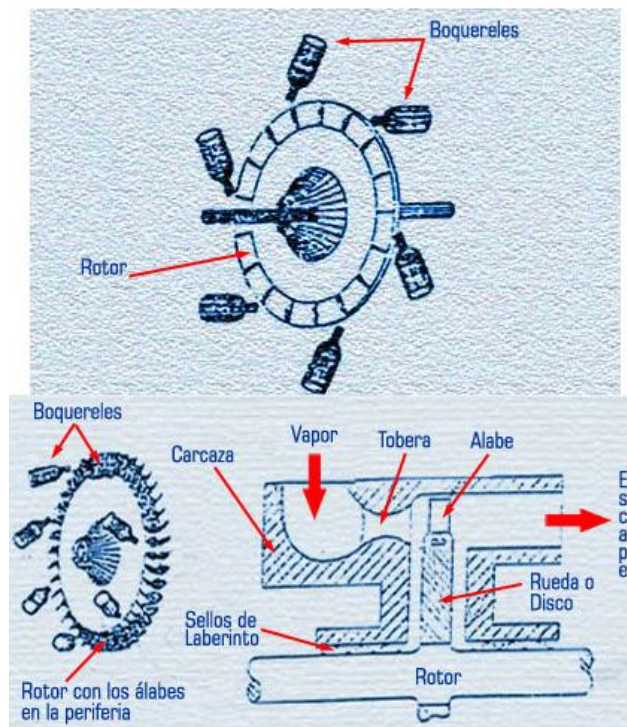
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

En esta sección se incluyen los conceptos involucrados en el problema existente y en su solución.

3.3.1 Teoría sobre la generación de electricidad a partir de vapor

En la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 se cuenta con un sistema de generación eléctrica a partir del vapor producido por una caldera. El vapor producido ingresa a una turbina de vapor la cuál transforma su energía en energía mecánica al hacer rotar su eje. Esta energía mecánica es luego transformada en potencia trifásica por un generador.

El funcionamiento de la turbina de vapor se basa en el principio termodinámico que expresa que cuando el vapor se expande disminuye su temperatura y se reduce su energía interna. Esta reducción de la energía interna se transforma en energía mecánica por la aceleración de las partículas de vapor, lo que permite disponer de una gran cantidad de energía [4]. Se dice entonces que la turbina toma vapor con alta temperatura y presión y extrae energía mecánica de este. En la figura 3.6 se muestra un esquema de una turbina de vapor:



Tomada de [12].

Figura 3.6 Esquema de una turbina de vapor.

Al pasar por las toberas de la turbina, el vapor reduce su presión y se expande, aumentando así su velocidad. Este vapor a alta velocidad es el que hace que los álabes móviles de la turbina giren alrededor de su eje al incidir sobre los mismos. Estos álabes se encuentran unidos al eje del rotor haciendo que éste gire con ellos, produciéndose entonces la energía mecánica rotatoria en el eje. La relación que explica este fenómeno se conoce como la ecuación de Euler para las turbomáquinas, y establece que “el momento del impulso, con relación al eje de la máquina, de las fuerzas exteriores que actúan sobre el fluido, es igual a la variación del momento cinético del fluido con relación al mismo eje” [23]. Esta se expresa como:

(3.2)

Siendo:

G , caudal másico que recorre la turbina.

u_1, u_2 , velocidades radiales.

c_{1u}, c_{2u} , componentes radiales de las velocidades medias absolutas de entrada y salida del álabe.

Por su parte, el generador toma esta potencia mecánica rotatoria y la convierte en potencia eléctrica trifásica. El principio de funcionamiento del generador se basa en la premisa de inducción de voltaje en un conductor en movimiento cuando atraviesa un campo magnético. Funciona colocando una espira dentro de un campo magnético y se la hace girar (potencia mecánica rotatoria proveniente de la turbina de vapor); sus dos lados cortarán las líneas de fuerza del campo magnético induciéndose, por ley de inducción de Faraday, una fuerza electromotriz en los extremos del conductor [6]. El sentido de la corriente inducida viene dado por la ley de Lenz y es tal que su flujo se opone a la causa que la produce [25]. A continuación se presenta la ecuación que describe la ley de Faraday:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (3.3)$$

En conjunto con la ley de Lenz se obtiene:

$$V_{\varepsilon} = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.4)$$

La relación de transformación de potencia mecánica en eléctrica es tal que:

$$(3.5)$$

–

$$(3.5)$$

Donde P_{ent} es la potencia mecánica en el eje del generador y P_{sal} es la potencia eléctrica real que entrega el generador expresada en magnitudes de línea [1].

Los voltajes y corrientes de las tres fases están desfasados en ángulos de 120° . Estas tres fases pueden conectarse en estrella o delta. La conexión del generador de la planta se hace en delta.

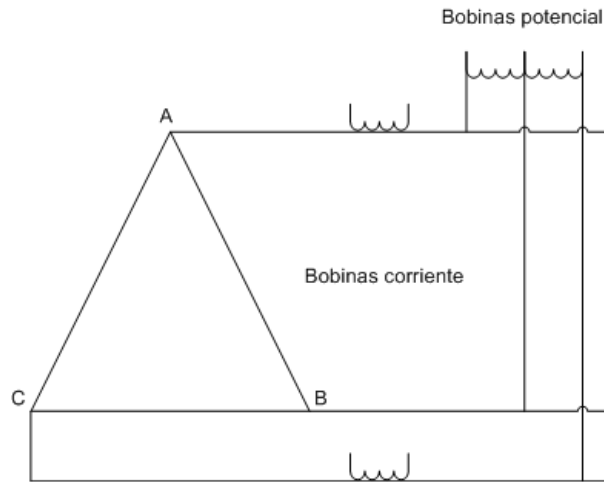
3.3.2 Medición de potencia trifásica

En un sistema trifásico de tres hilos, como el existente en la planta, la potencia real consumida por la carga es igual a la suma de las potencias reales de cada una de las fases.

Para la medición de potencia en sistemas polifásicos se utiliza el teorema de Blondel, el cual establece que *“en un sistema de N conductores, N-1 elementos de medición medirán la potencia eléctrica. La conexión debe ser tal que todas las bobinas de potencial posean un punto común en el conductor que no posee bobina de corriente”* [26].

Según este teorema es posible reducir el número de elementos en ciertos escenarios como por ejemplo una conexión delta de tres hilos. Esta podría ser medida correctamente con dos elementos (dos bobinas de potencial y dos bobinas de

corriente), si las bobinas de potencial se conectan entre las tres fases con una fase en común. Esta conexión se ilustra en la figura 3.7:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 3.7 Representación del teorema de Blondel en una conexión delta.

En los medidores digitales modernos se sigue aplicando el teorema de Blondel para obtener la medición. La diferencia es que el medidor digital mide la tensión y corriente de cada fase y calcula la potencia para cada fase. El medidor luego suma las potencias individuales en una sola medida de potencia trifásica. Los medidores más avanzados muestrean las tensiones y corrientes de cada fase de forma simultánea, lo que reduce el error que se daría al muestrear las fases una por una debido a la diferencia de tiempo en la toma de las muestras [3].

3.3.3 Sobre la falta de sincronía entre las fuentes de energía

Como se mencionó en el capítulo 1, el generador de la planta no se encuentra sincronizado con la acometida del ICE. Un proceso de transferencia de carga entre dos fuentes conlleva una conexión en paralelo momentánea al accionar la transferencia. En el caso de la planta, el generador posee parámetros eléctricos diferentes que los de la acometida del ICE, como lo son la tensión, frecuencia y

ángulo de fase, situación que podría causar daños al generador y problemas con el ICE [9]. Es por esto que en la planta existen mecanismos de enclavamiento que evitan la conexión simultánea del generador y el ICE.

Esta condición hace irrealizable la transferencia de circuitos de carga sin corte en el suministro. La razón de esta limitación se sustenta también en los efectos negativos existentes al intercambiar el suministro de potencia a una máquina, entre dos fuentes no sincronizadas. Los principales efectos y sus causas se comentan a continuación:

3.3.3.1 Efecto de un desfase entre las fuentes

Una diferencia en los ángulos de fase de las fuentes provoca que, al momento de la transferencia se produzca un golpe agudo o grave en las máquinas dependiendo de si el desfase es pequeño o grande. Si el desfase es de unos 15° puede causar una oscilación de la potencia de la máquina considerable si se compara con un desfase nulo. 60° de desfase pueden provocar el atornillamiento de la máquina, y un choque mecánico puede provocar una excesiva torsión que puede dañar los cigüeñales y las bielas del motor, doblar los álabes de una turbina, o dañar el acople del motor al generador. Unos 120° de desfase pueden inducir un torque de 7 veces el valor para la máquina trabajando a máxima carga [13].

3.3.3.2 Efecto de un desbalance de frecuencia entre las fuentes

Una diferencia en la frecuencia de las fuentes puede ser causa de daños en los generadores y en los equipos de carga si la oscilación de potencia en éstos, provocada por el desbalance, excede los límites especificados. La energía cinética de un generador depende de la velocidad de giro, por lo que, en el momento de entrar a la barra común, ocurre un intercambio de energía considerable dependiendo

de la diferencia de las frecuencias. Este intercambio de energía puede causar daños en los generadores [1].

3.3.3.3 Efecto de la diferencia entre el voltaje de las fuentes

Una diferencia entre la tensión generada por ambas fuentes genera primeramente un flujo de corriente muy alto que puede dañar tanto el generador, como las máquinas conectadas. Además pueden existir flujos de potencia reactiva que sobrecalientan el estator de las máquinas hasta dañarlo [13].

3.3.4 Métodos para el ordenamiento de datos

Debido a que son siete los circuitos transferibles y que a cada circuito se le debe monitorizar la potencia consumida, el sistema necesita ordenar los datos de potencia medidos para luego llevar a cabo la estrategia de selección del circuito por transferir. El tener éstos datos organizados de un modo conocido, favorece la posterior búsqueda e identificación de los datos.

Existen numerosos algoritmos de ordenamiento, todos con características diferentes. Principalmente, los algoritmos de ordenamiento se clasifican en recursivos o no recursivos, dependiendo de si en su implementación éstos se llaman a sí mismos o no.

Los ordenamientos de tipo recursivo presentan ventajas sobre los no recursivos. La principal ventaja es que presentan mayor velocidad en su ejecución. Sin embargo, los algoritmos recursivos requieren de arquitecturas especiales para su implementación, mientras que los algoritmos no recursivos son aplicables casi en cualquier caso.

Una medida de la eficiencia de los algoritmos de ordenamiento es la complejidad del algoritmo, denotado por $O(\text{expresión})$, donde la expresión es una función de “n” que es el número de datos en la colección y que representa la cantidad de comparaciones que lleva a cabo el algoritmo. Se dice entonces que los algoritmos más deseables son los que poseen complejidad logarítmica, y los menos deseables son los que tienen complejidad exponencial [15].

A continuación se describen algunos algoritmos de ordenamiento recursivos y no recursivos:

3.3.4.1 Ordenamiento rápido

Conocido también como Quicksort. Es un algoritmo de ordenamiento recursivo con complejidad promedio $O(n \log n)$, lo que lo posiciona entre los favoritos por su velocidad. Se basa en la estrategia “divide y vencerás” dividiendo la lista desordenada en sub-listas. Los pasos de este algoritmo se pueden resumir en:

- Seleccionar un elemento pivote de la lista.
- Reordenar la lista de manera que todos los elementos menores que el pivote se encuentren antes que éste, mientras que los mayores se encuentren después del pivote. Los valores iguales pueden ir antes o después. Luego de la operación de partición, el pivote se encuentra en su posición final.
- Se repite este proceso, de forma recursiva para cada sub-lista mientras estas contengan más de un elemento. Es decir, se ordena la sub-lista de elementos menores al pivote y la sub-lista de elementos mayores. Una vez terminado este proceso todos los elementos estarán ordenados.

Se dice entonces, que la eficiencia de este algoritmo depende de la posición en la que termine el pivote elegido. Es por esto que la mayoría de optimizaciones que se realizan al algoritmo se centran en la elección del pivote [27].

3.3.4.2 Ordenamiento de burbuja

Es el método de ordenamiento más sencillo. Es no recursivo. Funciona comparando cada elemento de la lista con el siguiente, intercambiándolos de posición si están en el orden equivocado. La lista debe ser revisada las veces necesarias hasta que no se necesiten más intercambios, lo que significaría que la lista está ordenada.

Este método posee una complejidad $O(n^2)$, lo que quiere decir que se necesitan $n \times n$ comparaciones para ordenar completamente la lista. Además, si la lista de entrada se encuentra ya ordenada, el método llevará a cabo todas las comparaciones, por lo que se dice que este algoritmo posee el mismo rendimiento en casos óptimos que en el peor caso. Es el algoritmo más ineficiente de todos [28].

3.3.4.3 Ordenamiento por selección

Este algoritmo no recursivo posee complejidad $O(n^2)$ lo que lo hace ineficiente en colecciones de datos extensas. Funciona de la siguiente manera:

- Se encuentra el mínimo valor de la lista.
- Se intercambia este valor con el valor en la primera posición de la lista.
- Se repiten los pasos anteriores para los elementos restantes de la lista, continuando con la segunda posición y avanzando cada vez una posición.

De esta forma, la lista se divide en dos partes: la sub-lista de elementos ordenados, que se va construyendo de izquierda a derecha y se localiza al inicio; y la sub-lista de elementos por ordenar, que ocupan el espacio restante del arreglo.

Este algoritmo mejora ligeramente el método de la burbuja al realizar menos intercambios. Sin embargo, una desventaja es que no mejora su rendimiento cuando los datos están ordenados parcial o totalmente [29].

3.3.4.4 Ordenamiento por inserción

Es un método de ordenamiento por comparación no recursivo, en el cuál el vector ordenado se va construyendo una entrada a la vez. Es mucho menor eficiente que algoritmos avanzados como el Ordenamiento Rápido en listas muy grandes. Sin embargo posee varias ventajas [30]:

- Implementación sencilla.
- Eficiente para colecciones de datos pequeñas.
- Es adaptativo ya que es eficiente para listas que se encuentran ya un poco ordenadas.
- Es más eficiente que otros algoritmos cuadráticos, $O(n^2)$, no recursivos como el ordenamiento de burbuja y el ordenamiento por selección. Esto ya que, aunque por definición presenta una complejidad $O(n^2)$, en el mejor caso, en el que la lista de entrada está casi completamente ordenada, presenta una complejidad $O(n)$.
- Es estable, es decir que no cambia el orden relativo de elementos iguales.

En la figura 3.8 se muestra el funcionamiento de este método:



Tomada de [30].

Figura 3.8 Funcionamiento del método de ordenamiento por inserción.

Su funcionamiento se basa en crear una lista ordenada a partir de un vector de datos desordenados de entrada. Inicialmente en la lista ordenada se tiene un solo

elemento, que obviamente es un conjunto ordenado. Luego al ir agregando elementos ordenados de menor a mayor hasta tener “k” elementos, se toma el elemento “k+1” y se compara con todos los elementos de la lista ordenada, deteniéndose cuando se llega a un elemento menor (todos los elementos mayores encontrados en el camino se desplazan una posición a la derecha). En este punto se inserta el elemento “k+1”. Al repetir este proceso una cantidad de veces igual al tamaño del vector de entrada menos 1, se obtiene un vector de salida ordenado de forma ascendente [31].

4 Capítulo 4: Procedimiento metodológico

En este capítulo se especifican las etapas del método de diseño de ingeniería seguidas para llegar a la solución del problema de la transferencia de cargas en la planta aceitera de Coto 54.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

La situación existente respecto al proceso de transferencia de cargas en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 ha sido detectada por el personal de la empresa. En una entrevista realizada con el superintendente de mantenimiento de la planta, Ing. Francis Delgado Orozco, éste expresa los inconvenientes que presenta el manejo que se le da al proceso de transferencia de cargas en la planta actualmente y su deseo de tener en el futuro un sistema inteligente que asista al operador para una mejor conducción del proceso.

Además, se realizaron entrevistas con los operadores de la sección de turbinas, lo que permitió conocer aún más el proceso y las deficiencias que éste presenta en la actualidad. Estas entrevistas también permitieron establecer las capacidades que los operadores consideran que el sistema a diseñar debería tener para optimizar el manejo de las transferencias.

El estar en jornada completa en la planta, le permitió al estudiante esclarecer dudas sobre el entorno del problema y sobre las restricciones a tomar en cuenta a la hora del diseño de la solución. Bajo esta noción, se conoció, gracias a entrevistas con el supervisor eléctrico de la planta, Ing. Arnoldo Brenes, que debido a que no existe sincronización entre el generador de la planta y el ICE, el sistema no sería capaz de ejecutar las transferencias de forma automática. Esto ayudó en la definición de los alcances y restricciones de la solución.

4.2 Obtención y análisis de información

Con el fin de conocer profundamente los conceptos y principios relacionados con el problema, se llevó a cabo una extensa investigación bibliográfica, donde el uso de Internet fue fundamental. De esta manera se encontró información sobre el proceso de generación eléctrica a partir de vapor, medición de potencia trifásica con dispositivos electrónicos modernos, y utilización de controladores lógicos programables para la automatización de procesos.

Para la creación de una arquitectura de solución, se investigó en Internet sobre dispositivos que cumplieran con los requerimientos que el problema y su solución demandan. Además, de los ingenieros de la planta se obtuvo información importante, como: el plan tarifario del ICE, manual de usuario del Multilin F650, y el diagrama unifilar de la planta.

El análisis de la información recabada se hizo con base en el cumplimiento de las especificaciones requeridas para el funcionamiento del sistema propuesto, esto sin dejar de lado los costos de los dispositivos necesarios. También fueron trascendentales los consejos de los ingenieros de la planta.

En general, la búsqueda y el análisis de la información se influenciaron por el deseo de crear un sistema que solucionara el problema mediante una arquitectura integrada.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Gracias a la investigación realizada se llegó a plantear un conjunto de alternativas para la solución del problema. Los consejos de los asesores en la planta sobre la utilización de algunos equipos ya disponibles en la planta, también fueron tomados en cuenta para la creación de las alternativas. Otro criterio para la creación de las

posibles soluciones fue el deseo, por parte de la empresa, de utilizar ciertos componentes en específico, como lo es el software para creación de HMI's RSView 32.

Una vez que se llegó al conjunto de esquemas para la solución, se realizaron visitas a las empresas proveedoras de los equipos involucrados. Esto con el fin de discutir las arquitecturas propuestas con los expertos de los productos. Los comentarios obtenidos de los expertos ayudaron a dar validez a algunas alternativas propuestas, a realizar modificaciones a otras, y a descartar otras.

Junto al criterio de los expertos en los dispositivos y en sistemas de automatización, el costo, desempeño y rapidez en la implementación fueron otros criterios utilizados para llegar a la solución final.

4.4 Implementación de la solución

Una vez seleccionada la arquitectura de la solución, se procedió a implementarla siguiendo una serie de pasos que se resumen a continuación:

- Configuración de las rutinas de comunicación del PLC para la obtención de los datos requeridos para la ejecución de la estrategia de control.
- Creación de la lógica de control del PLC.
- Creación de las pantallas de la interfaz humano-máquina.
- Simulación de la lógica del PLC.
- Simulación de la comunicación entre los módulos.

Debido a la limitación de presupuesto fue necesario utilizar software gratuito para el desarrollo del programa del PLC y de la aplicación de visualización. Esto conllevó a realizar modificaciones en la solución debido a que la licencia de prueba del RSView32 sólo permite incluir 35 datos en la interfaz por lo que se decidió eliminar

los datos provenientes de dispositivos ajenos al proceso y que se querían incluir inicialmente en la interfaz para que el operador los leyera fácilmente.

Para evaluar el desempeño y validez de la solución implementada, se llevaron a cabo extensas simulaciones de la lógica diseñada en el PLC haciendo uso de la herramienta de simulación disponible en el software de programación del hardware escogido. También se simuló el sistema a nivel de comunicación comprobando la comunicación de la HMI con el Multilin F650.

Una vez finalizado el proyecto se entregó a la empresa la propuesta desarrollada y los archivos de los programas creados. También se hizo una exposición donde se presentaron los resultados obtenidos.

4.5 Reevaluación y rediseño

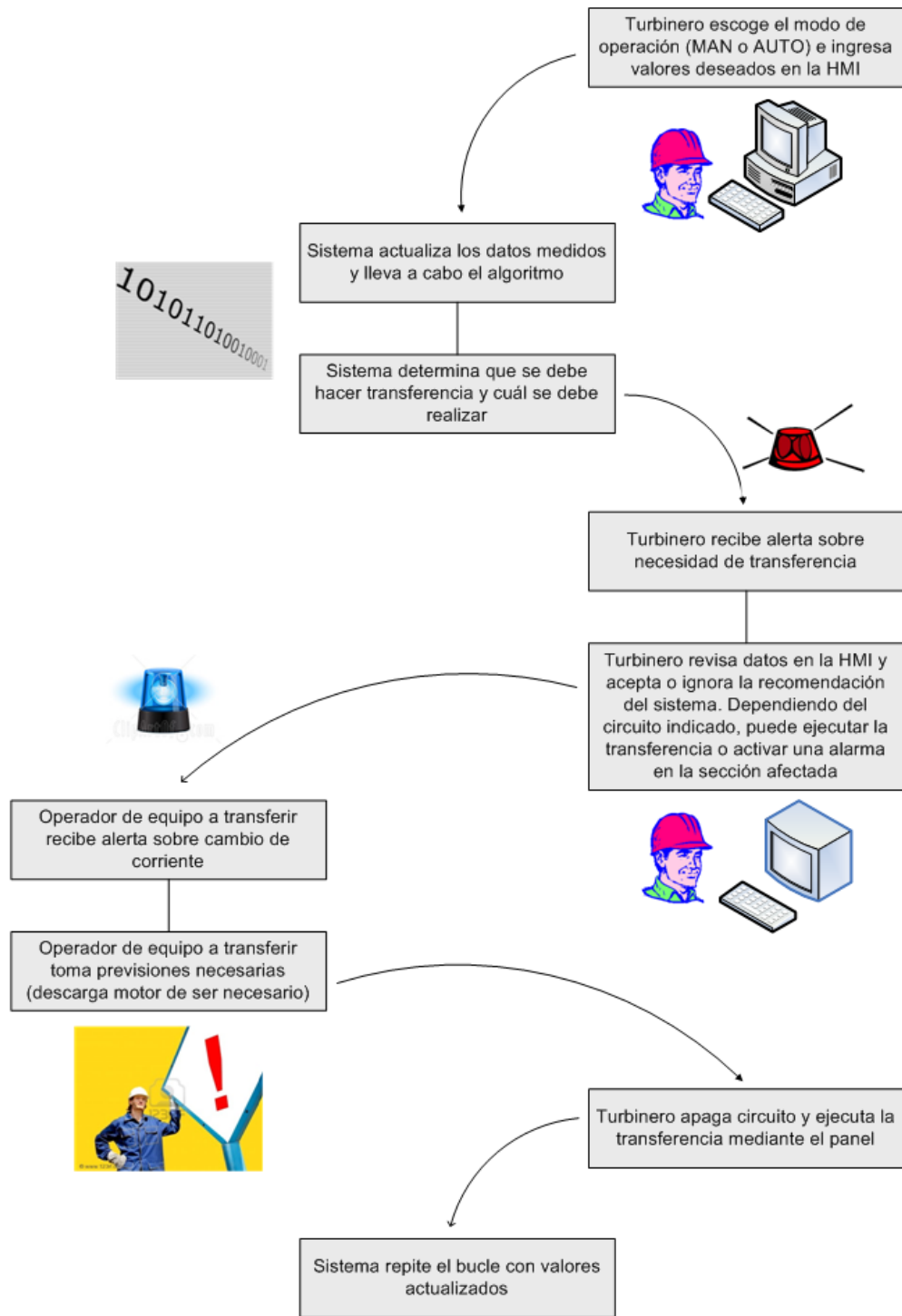
Con el fin de hacer que el sistema sea completamente automático, es decir, que el sistema realice todo el proceso de transferencia de cargas sin necesidad de que el operador apague, descargue y transfiera el circuito, se puede incluir un sistema de transferencia de carga sin corte. Esto conlleva la inclusión de equipos de sincronización conocidos como relés de sincronismo que controlan el generador para obtener parámetros eléctricos iguales a los del suministro del ICE. De esta manera se garantiza tanto que la operación en paralelo momentánea se dé en condiciones óptimas, como que los equipos no perciban el cambio en su fuente de alimentación, logrando un funcionamiento óptimo.

Estos dispositivos son de alto costo y, debido al número de circuitos transferibles, esta mejora significaría una inversión considerable.

5 Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

Parte fundamental de este proyecto consiste en mejorar el proceso de transferencia de cargas entre el generador y la acometida del ICE. La principal modificación realizada radica en incluir cierto grado de inteligencia en un sistema electrónico para que éste, tomando en cuenta mediciones de potencia y límites programados por el usuario, ejecute una estrategia que, mediante una interfaz humano-máquina, le indique al operador la necesidad de llevar a cabo una transferencia y cuál de los circuitos se debe transferir. Este sistema además asiste al operador en el proceso de ejecutar la transferencia.

Con el fin de lograr esto, se propone una optimización del proceso actual. El proceso optimizado consiste en lograr una relación entre el operador de las transferencias (turbinero) y el sistema electrónico a diseñar, de manera que se obtengan los beneficios planteados. El proceso propuesto se muestra en la figura 5.1:



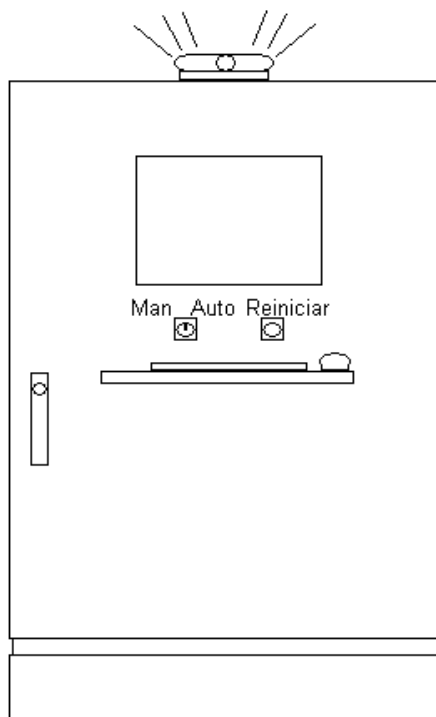
Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.1 Optimización del proceso de transferencia de cargas.

El sistema basa sus decisiones tanto en los datos medidos de potencia de cada circuito transferible y potencia generada, como en los valores ingresados por el operador. El operador tiene la posibilidad de escoger el modo de operación; en el modo automático el sistema inteligente le asiste en todo el proceso de transferencia como se muestra en la figura anterior, mientras que el modo manual le permite al operador tomar control del proceso en el panel de perillas existente, sin la ayuda del sistema.

Debido a que, tal y como se definió en el capítulo 3, no existe sincronización entre el generador de la planta y el ICE, la transferencia no se puede llevar a cabo de forma instantánea. Es por esto que el proceso propuesto, ilustrado en la figura 5.1, contempla la posibilidad de que el operador, al ser alertado por el sistema de la necesidad de ejecutar alguna de las transferencias, pueda activar una sirena que alerte a su compañero encargado del equipo por transferir sobre la necesidad de hacer un cambio en la fuente de alimentación de los equipos. El operador encargado del equipo por transferir, una vez que éste es desconectado por el turbinero, toma acción en descargar el equipo para que, cuando éste arranque nuevamente con su nuevo suministro, no se encuentre tan cargado y no produzca un pico de corriente que pudiera disparar los dispositivos de protección y generar mayores costos. El encargado de la sección del equipo transferido introduce carga gradualmente al equipo hasta llegar a la condición de carga que tenía antes de la transferencia.

Es por esto que en cada lugar donde existe un equipo transferible, se colocará una sirena para alertar al encargado del equipo sobre la realización de la transferencia. Por su parte, en la sección de turbinas se instalará un panel que funciona como la interfaz del turbinero con el sistema para asistirle durante todo el proceso de transferencia. El panel se bosqueja en la figura 5.2:



Herramienta de dibujo Paint.

Figura 5.2 Panel del sistema en la sección de turbinas.

Como se observa, el panel diseñado se compone una computadora y una sirena luminosa. La sirena le indicará al turbinero que el sistema ha detectado la necesidad de llevar a cabo una transferencia. El operador, al acercarse al panel, puede observar en la pantalla de la PC toda la información relacionada con el proceso de transferencia, además de poder interactuar con el sistema, esto es: aceptar o ignorar la recomendación del sistema, avisar a la sección del equipo involucrado, desconectar el circuito recomendado, y ejecutar la conexión a la otra fuente de alimentación. Además, mediante el panel el turbinero puede setear los siguientes valores:

- Límite de carga de la turbina en kilowatts.
- Límite de consumo de potencia del ICE en el período de máxima demanda.
- Límite de consumo de potencia del ICE en el período de valle.
- Límite de consumo de potencia del ICE en el período nocturno.

El sistema, tomando en cuenta los valores de potencia medidos y los datos seteados por el operador, detectará el momento en que se requiere transferir algún circuito. Además le indicará al turbinero cuál de los circuitos debe transferir y le asistirá en el proceso de hacerlo.

Parte del diseño de la solución y optimización del proceso de transferencias consistió en organizar los escenarios donde se requiere ejecutar una transferencia. De esta manera se estructuró el proceso en tres casos que se exponen en la tabla 5.1:

Tabla 5.1 Escenarios para la estructuración en casos en los que se requiere transferir cargas.

| Escenario | Causa | Sentido de transferencia |
|-----------|--|--------------------------|
| Caso 1 | La potencia consumida del generador sobrepasa el límite de carga seteado para éste | Generador -> ICE |
| Caso 2 | La diferencia entre la potencia consumida del generador y el límite seteado para éste es mayor al menor consumo de potencia de los circuitos conectados al ICE | ICE -> Generador |
| Caso 3 | La cantidad de carga conectada al ICE sobrepasa el límite seteado en el período tarifario actual | ICE -> Generador |

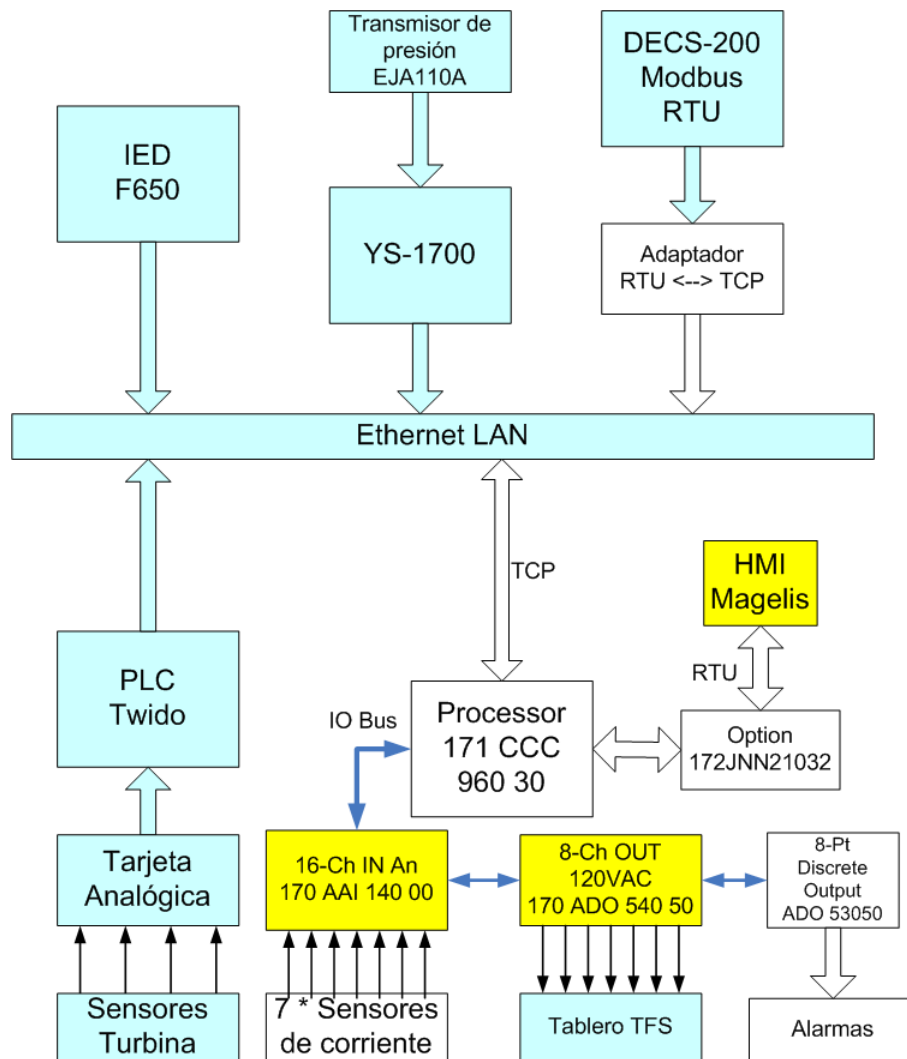
En cada uno de los casos, la estrategia diseñada recomendará transferir el circuito que presente el menor consumo de los circuitos disponibles para transferir. Las razones de éste criterio se listan a continuación:

- Si el sentido de transferencia es del generador al ICE, se transfiere la menor cantidad de potencia disponible para evitar altos costos por consumo de potencia del ICE. Estos costos pueden elevarse según el período tarifario en el que se ejecute la transferencia, esto de acuerdo al plan tarifario del ICE [9]. Es por esto que se escogió tener el menor consumo de potencia posible conectado al ICE.

- Si el sentido de transferencia es del ICE al generador, se transfiere la menor cantidad de potencia disponible con el fin de asegurar que la turbina no se sobrecargue y no se generen todos los inconvenientes que esto podría representar como lo son daños en la bomba de agua de la caldera, mala combustión de la fibra en el horno, y variación de los parámetros eléctricos del generador.
- En general, el criterio considerado fue que es mejor transferir la potencia de poco en poco que en grandes cantidades que podrían causar los inconvenientes relacionados con el manejo de altas cantidades de potencia (costos por consumo y daños en los equipos). Además, este criterio también fue apoyado por los operadores e ingenieros de la planta.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Inicialmente, se intentó crear una arquitectura que reutilizara algunos componentes disponibles en la planta y con el menor costo posible. Bajo esta idea se obtuvo la solución que se ilustra en la figura 5.3:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.3 Diagrama de bloques de la primer solución planteada.

Los bloques de color verde claro son componentes que ya se encuentran en uso en la planta; los de color amarillo son los que se encuentran en desuso en la planta por lo que se aprovecharían; y los blancos son los que se deben adquirir.

Este esquema contemplaba un conjunto de variables que se deseaban incluir en la visualización del sistema con el objetivo de presentar la mayor cantidad de datos relevantes en la sección de turbinas al operador, esto para darle al mismo una noción más completa de todo lo que sucede, no solo con el proceso de transferencias sino con todo lo relacionado a la turbina y el generador. Es por esto que se incluyen los

equipos en los cuáles se encuentra almacenados estos datos, a saber: controladores Twido, YS-1700 y DECS-200. Cabe destacar que ésta arquitectura fue avalada por un experto de la compañía proveedora del PLC y la HMI.

La reutilización de equipos en desuso se haría efectiva con la tarjeta de entradas analógicas y la de salidas discretas del PLC. Además se reutilizaría un panel del tipo Magelis para la HMI.

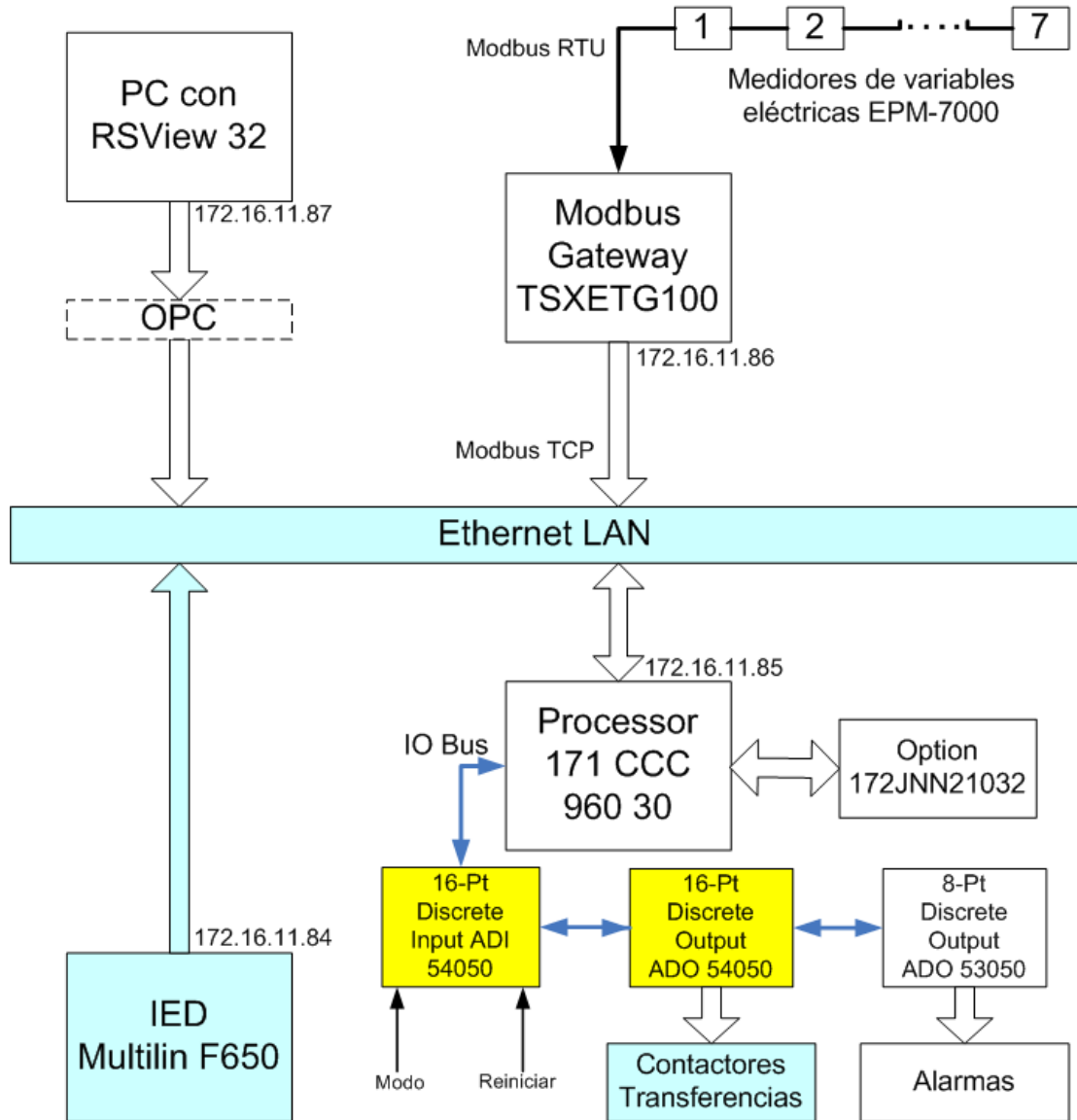
La principal desventaja de este esquema recae en la utilización de sensores de corriente como único medio para la determinación de la potencia consumida por cada uno de los circuitos de cargas. Se incluyó un sensor de corriente por circuito, lo que proporcionaría la corriente de solo una de las fases de cada circuito, de los que se conoce que son circuitos de carga desbalanceados. Además, no existen sensores de tensión y ángulo de fase, por lo que se deben asumir la tensión y el factor de potencia. Esto conlleva a un error en el cálculo de la potencia que restaría confiabilidad al sistema.

Otra desventaja es la antigüedad del panel Magelis, que se encuentra discontinuado. Esto implica el uso de herramientas muy desactualizadas para su configuración y que corren en sistemas operativos antiguos. Además, el uso de estos paneles no es el más sencillo, lo que complicaría la utilización del mismo por parte del operador, que ocupa una interfaz lo más amigable posible y con la mayor facilidad de operación.

Esto, abonado a la baja resolución de la pantalla y a la necesidad de incluir un adaptador especial para conectarla al PLC, hizo que se descartara esta alternativa.

Con el fin de eliminar las desventajas del esquema anterior se incluyeron dispositivos electrónicos especiales para la medición de potencia. Además se cambió el panel Magelis por una PC con software para la creación y ejecución de HMI's en un ambiente de Windows, lo que la hace mucho más amigable para el operador.

En la figura 5.4 se presenta el diagrama de bloques general final del sistema diseñado:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.4 Diagrama de bloques final del sistema diseñado.

Sin embargo, el hecho de utilizar una PC con una HMI desarrollada con el software RSView32 obligó a retirar de la arquitectura los dispositivos con datos de la sección de turbinas. Esto debido a que, por las cuestiones de presupuesto antes mencionadas, se contó para el desarrollo de la aplicación HMI con una licencia de

prueba del software RSView32. Entre las limitaciones de esta licencia gratuita está que la cantidad de valores o “tags” que soporta se encuentra restringida a 35. Es por esto que se vio en la necesidad de suprimir los datos de la sección de turbinas para aprovechar la cantidad de “tags” permitidos por el software en datos trascendentales para el proceso a optimizar. Por lo que se consideró que las variables cuya relación con el proceso optimizado de transferencia de cargas no fuera primordial serían las sacrificadas.

De esta manera, el esquema de la solución final se limita entonces a los dispositivos necesarios para llevar a cabo el proceso optimizado de transferencia de cargas.

Para la comunicación entre todos los módulos se escogió el protocolo Modbus TCP. Las razones de esta elección se puntualizan a continuación:

- Fácil configuración y adición de dispositivos a la red.
- Alta velocidad y todo el respaldo que presenta el protocolo Ethernet TCP/IP.
- Es un protocolo abierto muy utilizado en la actualidad, lo que facilita su integración con otros sistemas. Es conocido como el estándar en el entorno industrial.
- En la empresa cuentan con una red Ethernet establecida y se utiliza Modbus TCP en todos los controladores.

En las siguientes secciones se describe detalladamente el funcionamiento de todos los módulos que componen el sistema. Primeramente se verán estos a nivel de hardware para luego describir las principales rutinas de software que los controlan y las rutinas de configuración. El orden de la descripción se basará en el diagrama de bloques de la figura 5.4.

5.2 Descripción del hardware

Primeramente se detallarán los dispositivos necesarios para la medición de potencia tanto del generador, como de los siete circuitos de cargas. Posteriormente se hará énfasis en el PLC utilizado, así como sus módulos de entradas y salidas. Por último se describirá el hardware necesario para ejecutar la aplicación HMI, así como las sirenas utilizadas y los dispositivos de red para la interconexión de los módulos.

5.2.1 Multilin F650

Este dispositivo pertenece a la familia de IED's (*Intelligent Electronic Devices*) de General Electric. En la figura 5.5 se muestra el Multilin F650:



Tomada de [5].

Figura 5.5 Dispositivo Multilin F650 de General Electric.

Este aparato se encuentra instalado actualmente en la planta y lleva a cabo las funciones de protección, control y medición de las variables del generador como lo son la tensión, corriente, frecuencia y potencia, entre muchas otras más. Este dispositivo se encuentra conectado a la red de la empresa, por lo que las mediciones

que éste realiza se pueden consultar en las computadoras de los ingenieros mediante el software EnerVista, el cual se incluía con la compra del dispositivo.

Para la comunicación con otros dispositivos de control, el F650 cuenta con el protocolo de comunicación industrial Modbus TCP. Además, este tiene configurada una dirección IP que, en conjunto con la especificación del puerto 502 (Modbus TCP), le permite a otros controladores acceder a los datos contenidos en el mapa de memoria del F650.

Los dispositivos que requieran datos contenidos en el F650 deben entonces realizar lecturas Modbus a la memoria del F650 direccionando los registros que contienen la información requerida. Con la dirección de los registros deseados del mapa de memoria, así como su dirección IP y número de puerto, los controladores pueden leer a través de la red Ethernet la información que necesitan. La dirección IP configurada actualmente al F650 es la 172.16.11.84.

En la tabla 5.2 se presenta una sección del mapa de memoria del Multilin F650. El mapa es bastante extenso por lo que solo se muestra la sección que incluye los valores más relevantes en el proceso de transferencia de cargas.

Tabla 5.2 Sección del mapa de memoria Modbus del Multilin F650 [5].

| Dato | Dirección Modbus | Formato | Escalamiento |
|---------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Corriente RMS I_A | 3823 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Corriente RMS I_B | 3825 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Corriente RMS I_C | 3827 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Tensión de línea V_{AB} | 3845 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Tensión de línea V_{BC} | 3847 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Tensión de línea V_{CA} | 3849 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Potencia activa trifásica | 3883 | Entero 16 bits con signo | 1000 |
| Frecuencia | 3897 | Entero 16 bits con signo | 1000 |

De esta manera, se pueden configurar el PLC y la HMI para que éstos obtengan el valor de potencia consumida del generador. Este dato será fundamental para la determinación de la necesidad de una transferencia en el caso 1 según la tabla 5.1, este es, que se sobrepase el consumo de potencia del generador seteado.

5.2.2 Medidores de variables eléctricas EPM-7000

Para la medición de potencia de los circuitos de cargas se utilizaron los medidores EPM-7000 de Hsiang Cheng. En la figura 5.6 se muestra una fotografía del dispositivo:



Tomada de [7].

Figura 5.6 Dispositivo EPM-7000 de Hsiang Cheng.

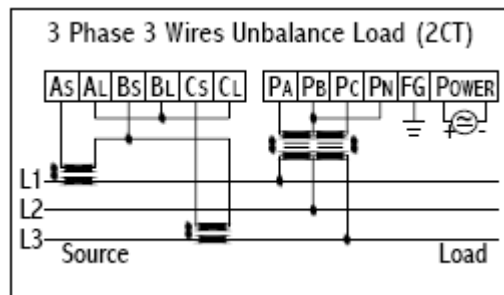
La elección de este dispositivo para la medición de potencia se basó en su bajo costo y disponibilidad inmediata según una oferta presentada a la compañía por una empresa proveedora. El costo es muy importante en este rubro debido a que son siete los dispositivos que se deben adquirir, uno para cada circuito de cargas. Además, este aparato se acopla bien a la aplicación que se le va a dar, a diferencia de otros equipos disponibles en el mercado que cuentan con capacidades avanzadas que aumentan considerablemente su costo, mientras que las capacidades que presenta el EPM-7000 son suficientes para lo que se necesita.

A continuación se presentan las principales características del dispositivo [7]:

- Flexibilidad en el acople a distintos tipos de red eléctrica: trifásica 4 hilos, trifásico 3 hilos, monofásico 2 y 3 hilos. Opción de configuración para carga balanceada.
- Máxima tensión medible de manera directa: 600V.
- Precisión de hasta 0.2%.
- Pantalla LCD.
- Memoria para todos los datos medidos, calculados y de configuración.
- Protocolo de comunicación Modbus RTU.
- Relación de transformación PT/CT configurable.
- Amplio rango de tensión de alimentación: 80-260 VAC.

Además, el EPM-7000 viene con una herramienta para su configuración a través de una computadora.

En la figura 5.7 se presenta el diagrama de conexión de los medidores a la red. El dispositivo usa solamente dos transformadores de corriente en vez de tres, esto gracias a lo establecido en el teorema de Blondel que fue explicado en el capítulo 3.



Tomada de [7].

Figura 5.7 Diagrama de conexión del medidor EPM-7000 a la red eléctrica de la planta.

Debido a que la red de la planta presenta una conexión en delta flotante, se escogió la conexión trifásica de 3 hilos para cargas desbalanceadas. La red de la planta posee una tensión de línea de 480V por lo que el medidor se puede conectar directamente a ésta, tomando como referencia la línea 2 por ser una red de 3 hilos.

Para el caso de la medición de la corriente, se utilizan dos transformadores de corriente con un rating de 5 amperios ya que así lo requiere el medidor.

Gracias a datos proveídos por los ingenieros de la planta, se conoció que el máximo amperaje que presentan los circuitos transferibles se puede establecer en 300 A. Por lo que la especificación de los transformadores de corriente para los medidores sería 300:5, es decir una relación de transformación de corriente (*CT ratio*) de 60.

El dispositivo mide la tensión y la corriente, así como el desfase entre éstas. Su arquitectura basada en microprocesador le permite llevar a cabo una conversión analógica a digital para obtener los datos medidos y calcular los demás valores a partir de éstos. La resolución de la conversión es de 16 bits.

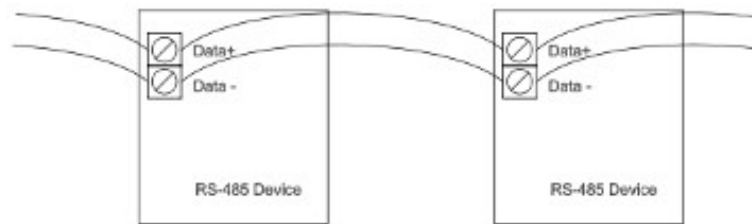
Todos los datos medidos y calculados se almacenan en la memoria interna de cada medidor, para que éstos puedan ser leídos por el PLC o la HMI. Al igual que el Multilin F650, el EPM-7000 cuenta también con un mapa de registros Modbus para localizar los datos que se deseen y su dirección Modbus. Dentro del mapa de este dispositivo en específico se definen varias secciones: la sección de valores actuales que contiene todos los valores medidos y calculados; la sección de índices de registros definidos por el usuario que contiene direcciones de registros en específico; y la sección de registros de datos definidos por el usuario que contiene los datos apuntados por los índices de la sección anterior.

Para que el PLC o la HMI puedan leer los datos del medidor, éste requiere que se haga un mapeo de los datos deseados a la sección de índices de registros definidos por el usuario. Los datos definidos pueden luego ser leídos en las direcciones correspondientes de la sección de datos de los registros definidos por el usuario. Este mapeo se lleva a cabo con la herramienta para computadora que viene con el medidor, el procedimiento se establece en el manual de la herramienta localizado en el anexo B.1. En la tabla 5.3 se muestra el mapeo realizado:

Tabla 5.3 Mapeo de la variable requerida del EPM-7000 para su lectura.

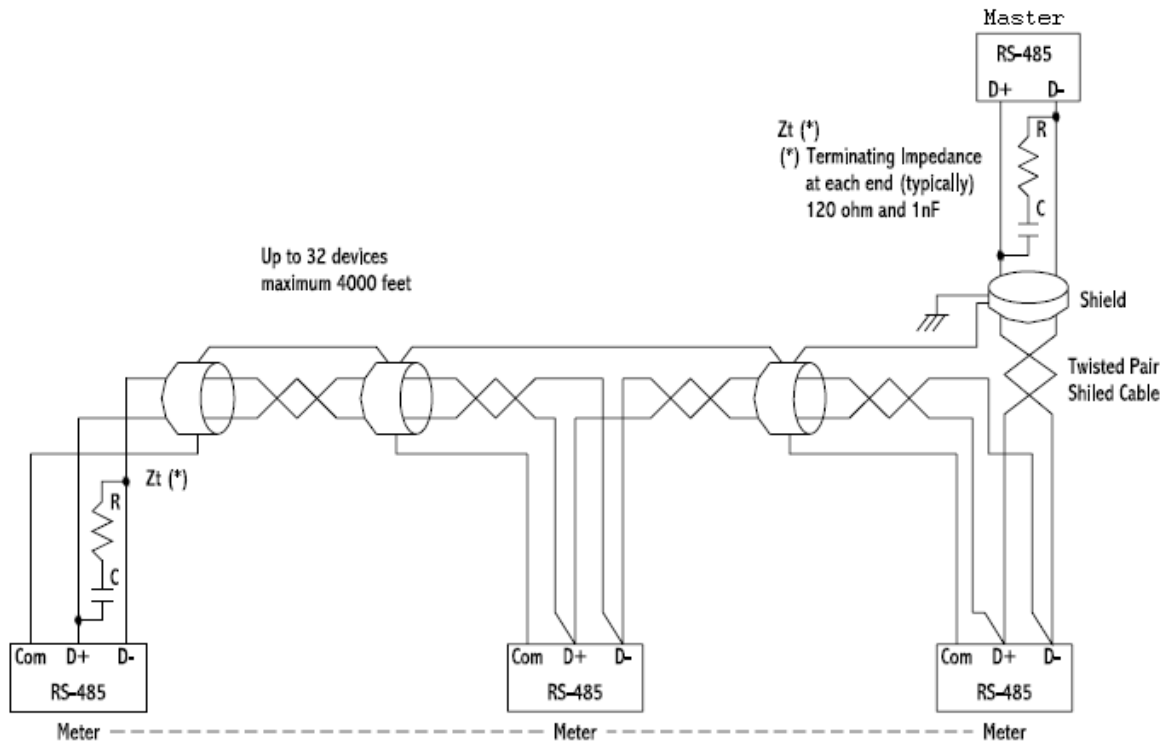
| Dato | Formato | Escalamiento | Actual value | User def Reg Index | User def Reg Data |
|----------|--------------------------|--------------|--------------|--------------------|-------------------|
| Potencia | Entero 16 bits con signo | 60 | 140h (320d) | A1h (161d) | 41h (65d) |

El medidor EPM-7000 posee el protocolo de comunicación Modbus RTU con conectores RS-485, por lo que se requiere una pasarela que convierta sus datos al protocolo Modbus TCP. A la salida de la pasarela, el controlador podrá conectarse mediante Ethernet con los medidores. Los siete medidores se conectaron entre sí en una red Modbus RTU antes de ingresar a la pasarela. La conexión de los medidores se hizo según el método conocido en la industria como “*Daisy chain*”, este método se ilustra en la figura 5.8. En la figura 5.9 se muestra la aplicación del método a la red Modbus RTU con RS-485 creada para los siete medidores:



Herramienta de dibujo Paint.

Figura 5.8 Método de conexión Daisy Chaining para dispositivos Modbus RTU con RS-485.



Tomado de [7].

Figura 5.9 Conexión de comunicaciones de los medidores EPM-7000.

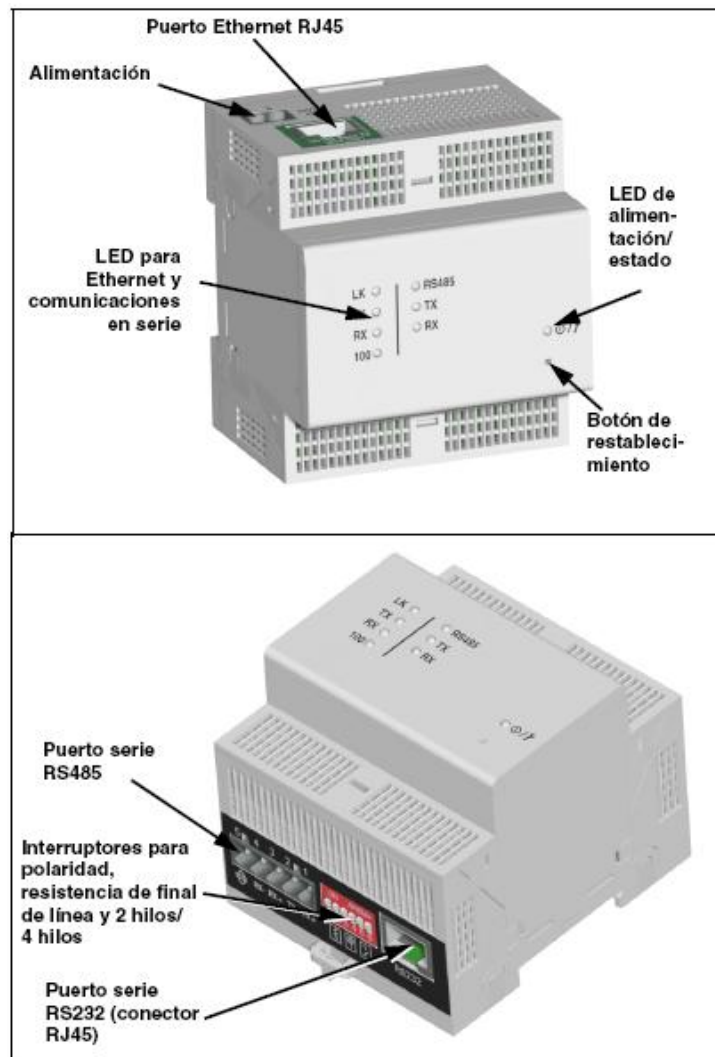
En el caso de este proyecto se utilizaron siete medidores que actuaron como esclavos. Los siete se conectaron en “*daisy chain*” hacia el puerto maestro Modbus RTU de la pasarela. Cada dispositivo se conectó al mismo canal de comunicación utilizando cable STP. La polaridad en la conexión de cada medidor debe ser la misma que la del puerto maestro. Para evitar el desacople en la señal, se conectó una carga específica tanto en el último medidor de la cadena, como en el puerto maestro de la pasarela. El fabricante recomienda utilizar un resistor de 120Ω y un condensador de 1nF . Omitir estos acoples podría producir reflexiones de la señal que pueden provocar errores en la comunicación.

A cada dispositivo se le debe configurar también una dirección de esclavo Modbus, esto para que cada medidor sea identificable en la cadena. Esta dirección consiste en un número entre 1-255. Por lo tanto se le asignó a los siete medidores direcciones que van de 1 a 7.

5.2.3 Pasarela de conversión de protocolo TSXETG100

Debido a que los medidores de potencia utilizados usan el protocolo Modbus RTU, es necesario incluir un dispositivo de conversión de protocolo a Modbus TCP. Esto para que los datos de los medidores sean accesibles para el PLC y para toda la red del sistema. Como ya ha sido mencionado, el sistema se comunica mediante la red Ethernet de la planta, por lo que la escogencia del protocolo Modbus TCP se justifica principalmente en que éste ajusta perfectamente a la red actual al ser Modbus sobre Ethernet. Existen además otras razones que motivaron la escogencia de este protocolo como se ha mencionado anteriormente.

El dispositivo escogido para la conversión de protocolo es el TSXETG100 Ethernet Gateway de Telemecanique. Este aparato ofrece conectividad entre Ethernet (Modbus TCP) y dispositivos Modbus seriales, permitiendo que los clientes Modbus TCP accedan a los datos de dispositivos esclavos seriales. En la figura 5.10 se muestra el TSXETG100:



Tomado de [17].

Figura 5.10 Fotografía del TSXETG100 Ethernet Gateway.

En el puerto serie RS-485 se conecta la cadena de medidores EPM-7000 y en el puerto Ethernet RJ-45 se conecta un cable a un switch Ethernet de la planta. De esta manera todos los clientes Modbus TCP conectados a la red de área local de la planta pueden leer los datos de los medidores.

Inicialmente, la pasarela viene con una dirección IP asignada de fábrica. Por lo que el proceso de configuración inicia asignándole una dirección IP al puerto Ethernet de la pasarela. Ésta dirección debe pertenecer a la red y ser única. Además se le debe asignar una máscara de subred y una puerta de enlace predeterminada. Los

parámetros de configuración del puerto Ethernet de la pasarela se resumen en la tabla 5.4:

Tabla 5.4 Parámetros de configuración del puerto Ethernet de la pasarela TSXETG100.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------|----------------|
| Formato de trama | Ethernet |
| Tipo de medio | 10T/100Tx Auto |
| Dirección IP | 172.16.11.86 |
| Máscara de subred | 255.255.0.0 |
| Puerta de enlace determinada | 172.16.11.10 |

El formato de trama y el tipo de medio se seleccionaron con el fin de emparejarlos con los parámetros de la red existente en la planta. Los demás parámetros se asignaron con base en datos proporcionados por los ingenieros de la planta.

Una vez configurado el puerto Ethernet, se procede a configurar el puerto serial. El parámetro primordial es el modo de operación, este debe especificar en modo maestro. De esta forma el puerto serie de la pasarela actúa como maestro ante los medidores que son esclavos. Otros parámetros que se deben configurar y su valor determinado se presentan en la tabla 5.5:

Tabla 5.5 Parámetros de configuración del puerto serial de la pasarela TSXETG100.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------|----------------|
| Modo | Maestro |
| Interfaz física | RS-485 2 hilos |
| Modo de transmisión | Modbus RTU |
| Velocidad en baudios | 19200 |
| Paridad | Ninguno |
| Tiempo de espera de respuesta | 3 segundos |

La mayoría de los parámetros de este puerto se configuran de acuerdo a los valores configurados y/o requeridos por los medidores EPM-7000. El tiempo de espera de respuesta se estableció con base en la consideración de que después de este tiempo se puede suponer que existe un problema en la comunicación.

Todo el proceso de configuración de la pasarela se lleva a cabo con una computadora y un explorador web. En el anexo B.2 se ubica el manual de usuario del dispositivo donde se detalla el proceso de configuración.

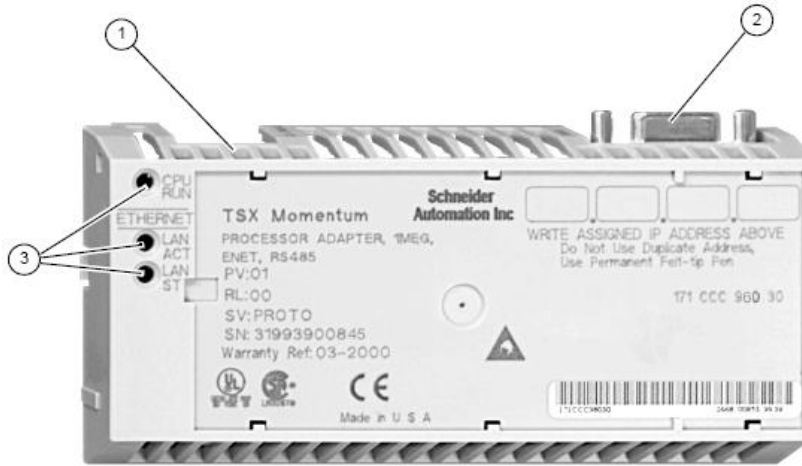
Cuando se han configurado ambos puertos del dispositivo, el controlador del sistema diseñado podrá leer los datos de potencia de cada medidor mediante la red Ethernet. Estos valores de potencia consumida por cada uno de los siete circuitos de cargas, le permitirá al controlador determinar cuál de los circuitos transferir, de acuerdo a la lógica programada.

5.2.4 Controlador lógico programable

Para llevar a cabo la lógica de control del sistema diseñado, se escogió la solución de automatización de la plataforma Momentum de Modicon. Esta línea ofrece un concepto modular para la creación de sistemas de control. El controlador lógico programable, llamado en esta línea adaptador de procesador, se une las bases de entradas y salidas, y a adaptadores opcionales, para brindar las capacidades requeridas por casi cualquier aplicación de control industrial.

La razón de la selección de esta línea para implementar el controlador del sistema a diseñar recae en el deseo de la empresa de estandarizar el uso de equipos proveídos por Schneider-Electric en la planta. Esto ya que en la empresa valoran las ventajas de estos equipos como que éstos poseen comunicaciones abiertas y que su configuración y utilización es menos complicada que otras opciones, además de la familiarización que los ingenieros poseen con los equipos de esta marca.

Los adaptadores de procesador se componen de un CPU, una RAM y una memoria Flash. En la figura 5.11 se muestra una fotografía del PLC seleccionado:



Legend:

| Label | Description |
|-------|-------------------------|
| 1 | Ethernet port connector |
| 2 | I/OBus port connector |
| 3 | LED indicators |

Tomado de [18].

Figura 5.11 Fotografía del procesador 171CCC96030 de la línea Momentum.

El controlador posee un puerto Ethernet para la integración a la red del sistema, además de un puerto para el bus de entradas y salidas. El puerto Ethernet utiliza el protocolo Modbus TCP, por lo que el controlador está en capacidad de acoplarse correctamente al sistema diseñado y a la red de la planta.

Las características del controlador implementado se presentan en la tabla 5.6:

Tabla 5.6 Características del procesador 171CCC96030 utilizado.

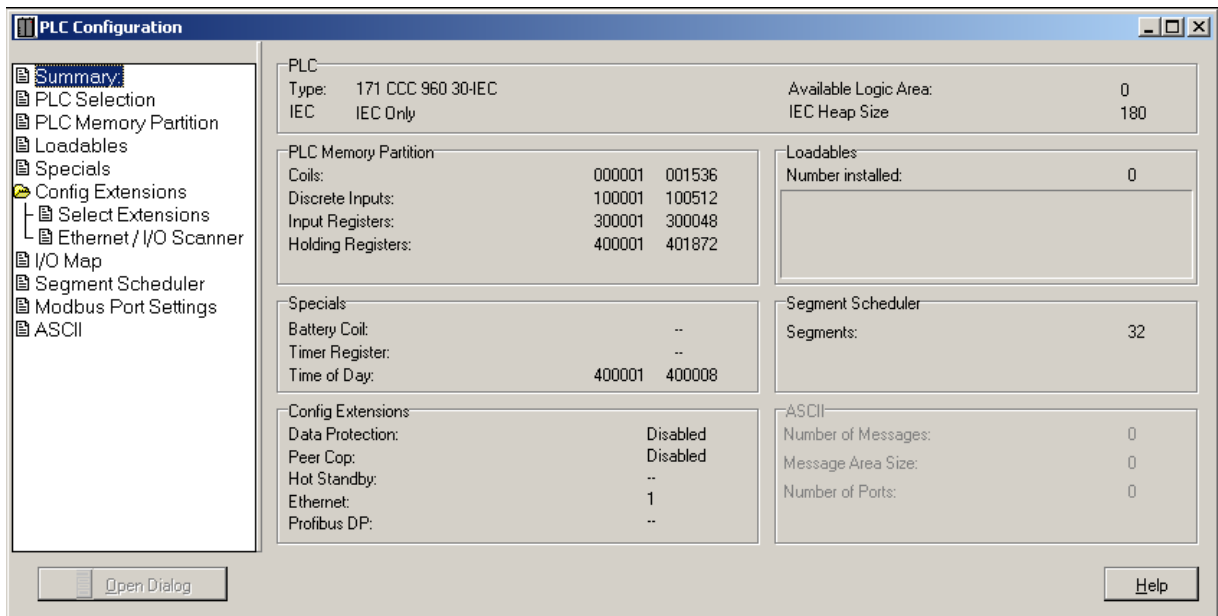
| | |
|---|------------|
| Memoria interna | 544K Bytes |
| Memoria de usuario | 200K Words |
| Memoria RAM | 1 MB |
| Velocidad del reloj | 50MHz |
| Protocolo de comunicación | Modbus TCP |
| Registros de referencia | 11200 |
| Cantidad de valores discretos de entrada-salida | 4096 |

El CPU del controlador está basado en la arquitectura x86 y utiliza el sistema IEC para su programación. Este permite programar la lógica de control en los lenguajes de programación definidos en la especificación IEC 61131-3 publicada por la IEC (*International Electrotechnical Commission*). Este estándar define dos lenguajes de programación gráficos y dos textuales, a saber: diagrama de escalera (*LD*), diagrama de bloques funcionales (*FBD*), texto estructurado (*ST*), y lista de instrucciones (*IL*) [32].

La herramienta para la configuración y programación de la lógica del PLC escogido se llama Concept. Esta permite configurar el manejo de las tarjetas de entradas y salidas, atención de las comunicaciones, y configuración de módulos especiales como el reloj de hora del día (*TOD clock*). Mediante este software es posible además programar la lógica deseada en cualquiera de los lenguajes mencionados anteriormente.

Una de las capacidades más importantes de Concept para este proyecto fue la posibilidad de probar el correcto funcionamiento del programa diseñado utilizando la herramienta IEC 32-bit Simulator. Esta permite simular el funcionamiento del PLC como si éste estuviera trabajando en tiempo real.

Utilizando el software Concept, se llevó a cabo la configuración del procesador escogido. Esta se muestra en la figura 5.12:

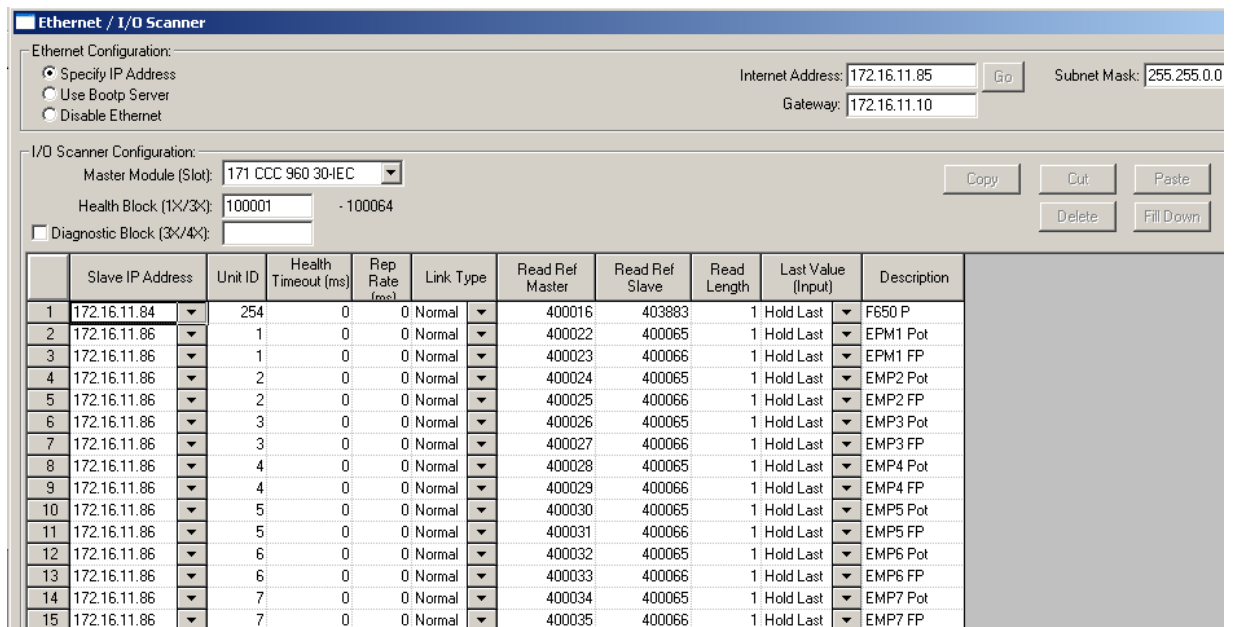


Concept.

Figura 5.12 Configuración del procesador en Concept.

En la configuración del PLC se estableció el tipo de procesador utilizado, modelo 171CC96030, así como su tipo de programación: IEC. Se indicó luego la distribución de la memoria entre entradas y salidas discretas, y registros de entrada y retenedores. Esta especificación se hizo con el fin de obtener una cantidad holgada de espacio en la memoria disponible para así no tener problemas en la asignación de variables específicas durante la programación de la lógica. Se configuró además la asignación de memoria para fines especiales; en este caso fue necesario especificar el uso de un reloj de hora del día (TOD clock). Esto con el fin de poder contar con una base de tiempo real que le permitiera al sistema ubicar el período tarifario actual.

A nivel de comunicaciones se configuró un puerto Ethernet. Este se incluye como parte de la arquitectura del procesador seleccionado, tal y como se mostró en la figura 5.11. Este puerto trabaja con el protocolo Modbus TCP y mediante el mismo fue posible programar lecturas a los dispositivos Modbus TCP dentro de la arquitectura, que poseían datos necesarios para llevar a cabo la estrategia de control del proceso de transferencia de cargas. En la figura 5.13 se presenta la configuración de las comunicaciones Modbus TCP del procesador:



Concept.

Figura 5.13 Configuración de las comunicaciones en Concept.

La configuración de los parámetros de red Ethernet se hicieron con base en la dirección IP proporcionada por los ingenieros de la planta con el fin de especificar una dirección única en la planta para el PLC.

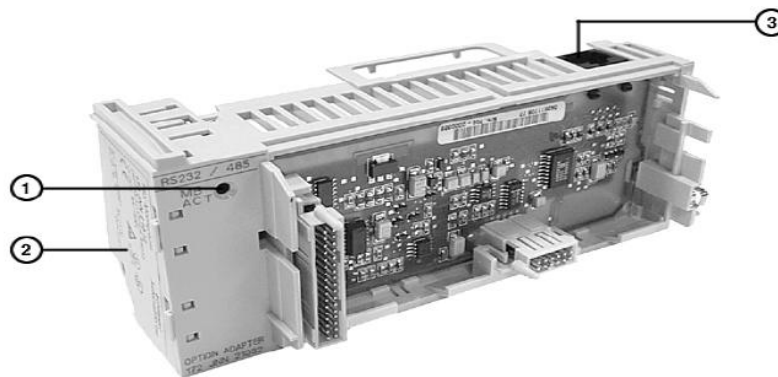
En la tabla de configuración del escáner de entradas y salidas se especificaron las direcciones de los dispositivos esclavos a los cuales el PLC debía acceder para obtener los datos requeridos. Se configuró primero la lectura del dato de potencia consumida del generador que está incluido en el Multilin F650, por lo que se ingresó la dirección IP de éste, así como su identificación Modbus. Se especificó también la dirección del registro al que se debía realizar la lectura en el Multilin F650 y la dirección en el PLC donde se almacenaría el dato leído.

En el caso de los datos provenientes de los siete medidores de potencia EPM-7000, se configuró la dirección IP asignada al puerto Ethernet de la pasarela TSXETG100. Luego se ingresó la dirección de identificación Modbus de cada medidor, así como la dirección del registro que contiene el dato de potencia en el medidor y las direcciones de almacenamiento en la memoria del PLC.

Una vez almacenados los datos leídos mediante la comunicación Ethernet con Modbus TCP, fue posible utilizar las direcciones en el PLC que contenían los datos leídos, en la creación de la lógica de control.

5.2.4.1 Adaptador 172JNN21032 para la base de tiempo real

Para poder utilizar la base de tiempo real, fue necesario incluir en la arquitectura del sistema un módulo especial. Consiste en un adaptador de opción modelo 172JNN21032. Este módulo, además habilitar el uso de la fecha y la hora del día en el programa de usuario, posee una batería que respalda el programa de usuario del CPU y la memoria RAM de estado. Este también provee al procesador de un puerto de comunicación serial extra, aunque esta funcionalidad no fue necesaria por el proyecto diseñado. En la figura 5.14 se muestra una fotografía de este adaptador:



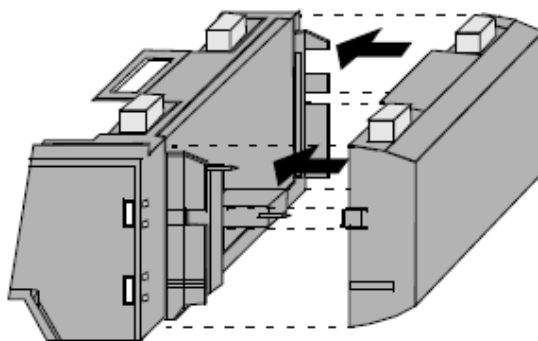
Legend:

| Label | Description |
|-------|--------------------------|
| 1 | LED indicator |
| 2 | Battery compartment door |
| 3 | Modbus Port 2 connector |

Tomado de [18].

Figura 5.14 Adaptador de opción 172JNN21032 para la base de tiempo real.

Este adaptador se conecta al procesador de la forma en que se ilustra en la figura 5.15:



Tomado de [18].

Figura 5.15 Ensamble del adaptador de opción 172JNN21032 al procesador 171CC96030.

La conexión no requiere ninguna herramienta, simplemente se presionan los módulos entre sí, asegurándose de los conectores se interconecten entre sí.

La partición de memoria realizada para obtener los valores de fecha y hora del día se presentan en la tabla 5.7:

Tabla 5.7 Configuración de los registros de memoria para el reloj de hora del día.

| Valor | Rango | Referencia de registro |
|---------------------|-------------------|------------------------|
| Registro de control | 4 bits de control | 400001 |
| Día de la semana | 1-7 | 400002 |
| Mes | 1-12 | 400003 |
| Día del mes | 1-31 | 400004 |
| Año | 0-99 | 400005 |
| Hora | 0-23 | 400006 |
| Minutos | 0-59 | 400007 |
| Segundos | 0-59 | 400008 |

De esta manera se utilizaron las direcciones de los registros especificadas para determinar, con base en la hora, minutos y segundos, el período tarifario actual según la definición de períodos tarifarios del ICE. Fue importante conocer el período tarifario actual ya que de acuerdo a este se determinó cual de los límites de potencia

por período ingresados por el usuario debía utilizar el sistema para la determinación de la condición de transferencia definida por el caso 3.

5.2.4.2 Bases de entradas y salidas: 170ADI54050 y 170ADO54050

Para el manejo de las entradas y salidas del PLC se utilizaron las bases 170ADI54050 y 170ADO54050. En la figura 5.16 se muestra una fotografía de la base de entradas discretas utilizada:



Tomado de [19].

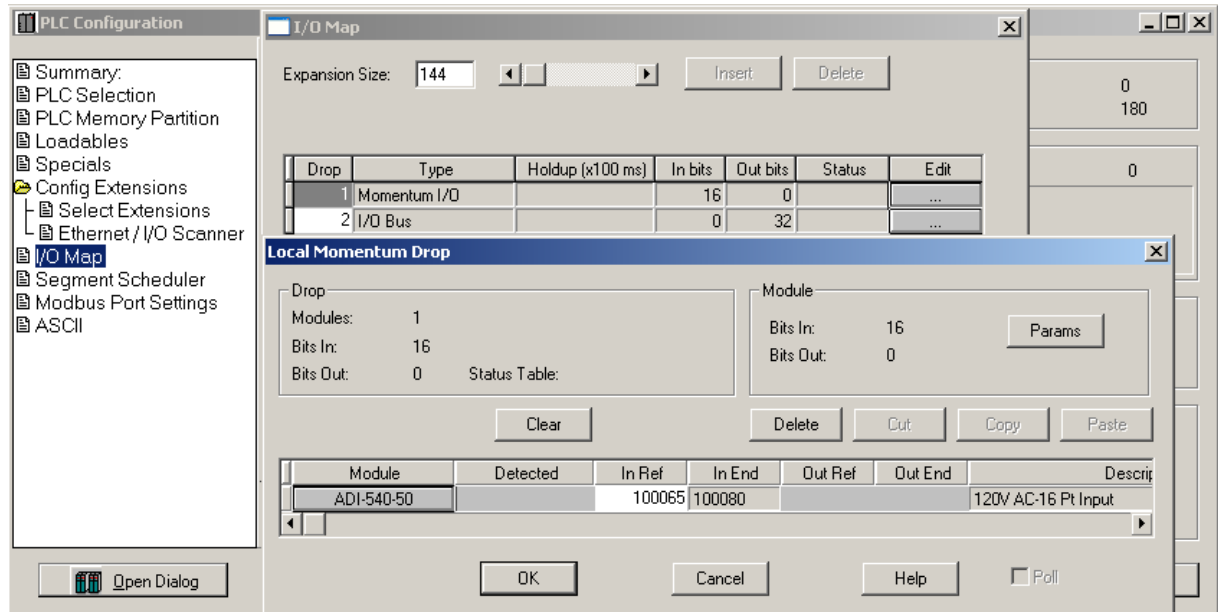
Figura 5.16 Fotografía de la base de entradas discretas 170ADI54050.

Las características de esta base se presentan en la tabla 5.8:

Tabla 5.8 Características de la base de entradas discretas 170ADI54050 [19].

| | |
|----------------------------|-------------|
| Tensión de entrada | 120 VAC |
| Consumo de corriente | 125 mA máx. |
| Número de entradas | 16 |
| Aislamiento entre puntos | 1780 VAC |
| Tiempo de respuesta OFF-ON | 10 ms |
| Tiempo de respuesta ON-OFF | 35 ms |

Esta base se utilizó para los botones del panel diseñado, mediante estos botones se escoge el modo de operación y se puede reiniciar el sistema. La configuración de este módulo se muestra en la figura 5.17:

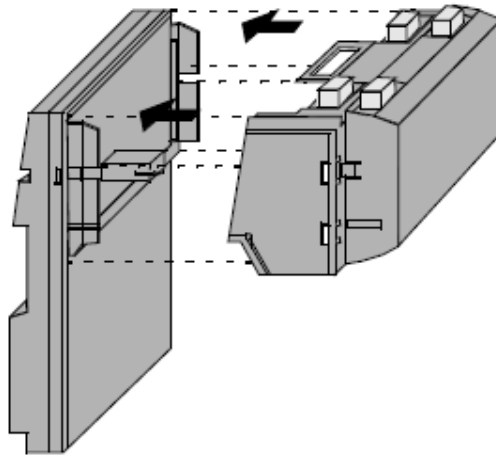


Concept.

Figura 5.17 Configuración de la base de entradas salidas 170ADI54050 en Concept.

En el mapa de entradas y salidas se definió que la base en la cual se montaría el procesador fuera esta base de entradas. Como se observa en la figura, se especificó también el rango de referencias en la memoria que representarían cada una de las entradas del módulo, para su utilización y asignación en la lógica diseñada. En este sentido, la entrada de modo de operación se mapeó a la entrada con referencia 100065 y la entrada de reinicio a la referencia 100066.

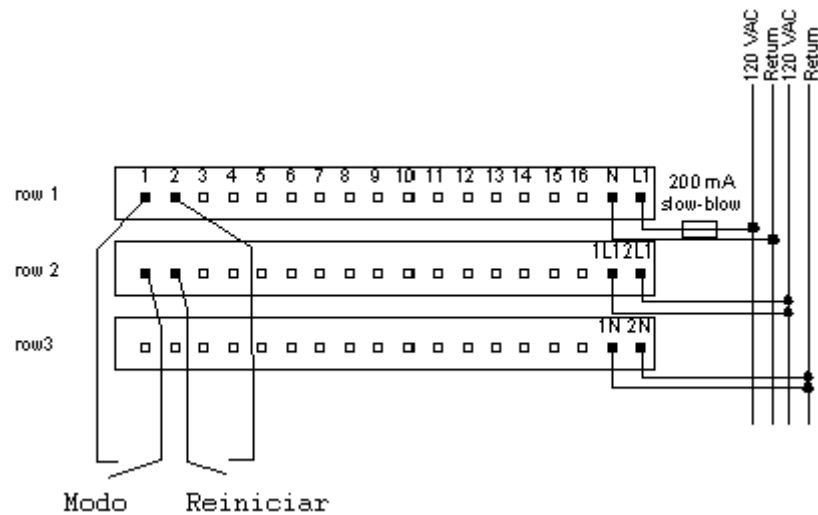
El montaje del procesador a la base de entradas discretas se presenta en la figura 5.18:



Tomado de [18].

Figura 5.18 Montaje del procesador y adaptador de opción a la base de entradas discretas.

El diagrama de conexión de los botones de modo de operación y reinicio se muestra en la figura 5.19:



Herramienta de dibujo Paint.

Figura 5.19 Diagrama de conexión de los botones a la base de entradas.

Las filas de la base se alimentan de la red eléctrica de la planta. Luego, los botones de entrada se conectan a los puntos deseados. Se debe incluir un fuse de 200mA según recomendación del fabricante.

La base de salidas discretas utilizada fue la 170ADO54050. En la figura 5.20 se muestra una fotografía de este módulo:



Tomado de [19].

Figura 5.20 Fotografía de la base de salidas discretas 170ADO54050.

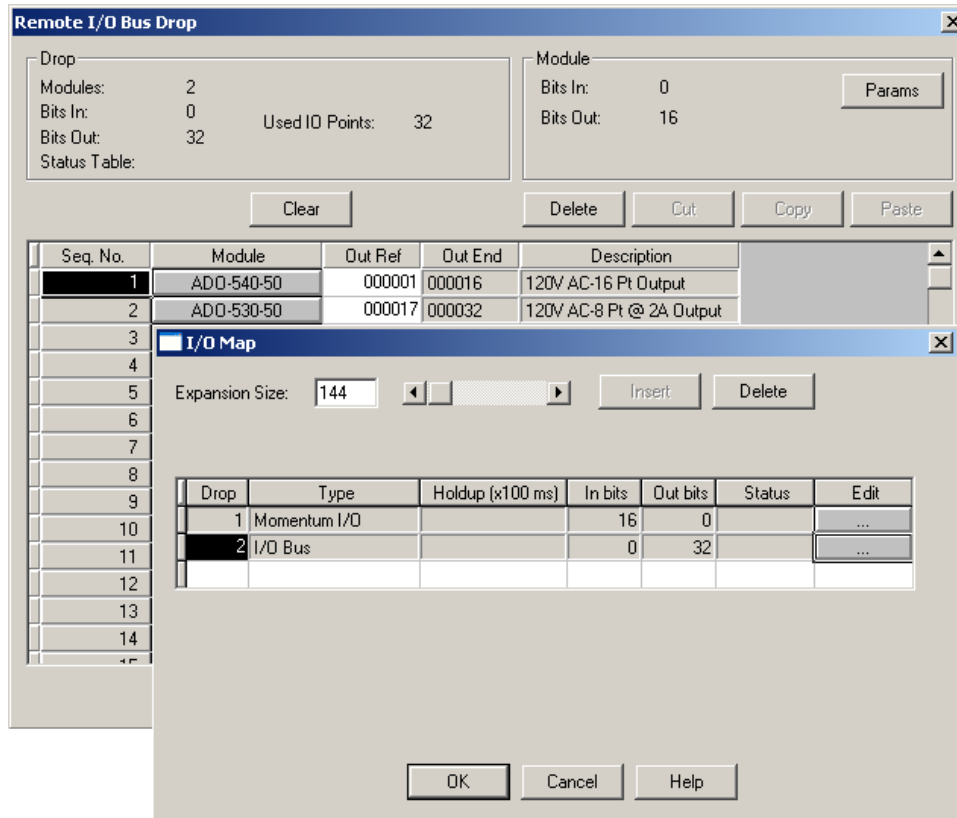
Las características de esta base se presentan en la tabla 5.9:

Tabla 5.9 Características de la base de salidas discretas 170ADI54050 [19].

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Tensión de operación | 120 VAC |
| Consumo de corriente | 125 mA máx. |
| Tensión de salida | 120 VAC |
| Tipo de salida | TRIAC |
| Número de salidas | 16 |
| Capacidad de corriente por salida | 500mA |

Esta base se utilizó para las salidas a los contactores de las transferencias. Como se mostró anteriormente en la figura 3.2, cada transferencia consta de dos contactores, por lo que para cada una fueron necesarias dos salidas. Si la salida asignada a un contactor es activada, la carga se conecta a la fuente A; si la carga asignada al otro contactor es activada, la carga se conecta a la fuente B; si ambas salidas se

desactivan, la carga se desconecta de ambas fuentes y se apaga. La configuración de este módulo se muestra en la figura 5.21:



Concept.

Figura 5.21 Configuración de la base de salidas discretas 170ADI54050 en Concept.

Como se observa, se asignaron las salidas de la base a posiciones de memoria en registros referenciados. Debido a que el procesador ya había sido montado sobre la base de entradas discretas, la base de salidas se conectó a al procesador a través del puerto de bus de entradas y salidas (*IO Bus Port*).

Fue necesario incluir además otro módulo de salidas discretas, esto para agregar las demás salidas como lo son las alarmas y sirenas, tanto en el panel diseñado para la sección de turbinas, como para las distintas secciones donde se encuentran equipos transferibles. Las alarmas en estas secciones se incluyeron para que el turbinero, desde su panel, pudiera avisar a los operadores de los equipos por transferir que se iba a llevar a cabo el cambio de fuente.

En la figura 5.22 se presenta el diagrama de conexión de los contactores de las transferencias a la base de salidas:

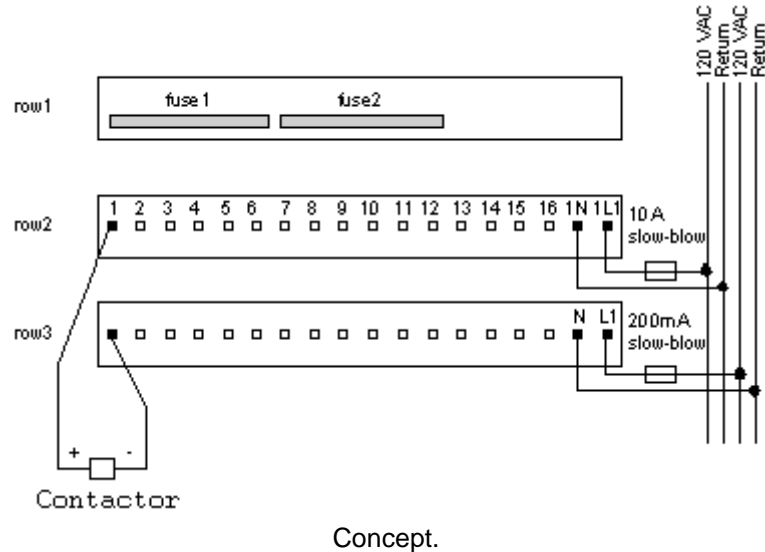


Figura 5.22 Diagrama de conexión de los contactores de las transferencias a la base de salidas.

En la primera fila se incluyen los fuses de las salidas que ya vienen instalados en el módulo. Los dispositivos de salida se conectan entre la fila 2 y 3 según la polaridad mostrada. Se deben colocar fuses de 10A y 200mA según recomendación del fabricante.

5.2.4.3 Señalización

Con el fin de alertar tanto al turbinero como a los operadores de los equipos por transferir, se diseñó un sistema de señalización en cada uno de estos puntos. Se decidió utilizar luces estroboscópicas debido a que el entorno de la planta es altamente ruidoso, por lo que el utilizar sirenas o alarmas sonoras no garantizaría que el operador se percate de la situación.

El dispositivo seleccionado fue la luz estroboscópica para señalización industrial modelo 104ST(R)-N5 de Edwards Signaling. En la figura 5.23 se muestra una fotografía de la luz escogida:



Tomado de [2].

Figura 5.23 Fotografía del dispositivo de señalización modelo 104ST(R)-N5 de Edwards Signaling.

Esta luz cumple con los estándares para la operación en industrias pesadas, como UL y NEMA. Además brinda una potencia de iluminación pico de 300000 candela. Los parámetros eléctricos de operación del dispositivo son: 120VAC y demanda una corriente de 120mA. Estos requerimientos son cumplidos por la base de salidas del PLC ya que este trabaja a 120VAC y puede brindar hasta 500mA de salida, como se vio en la tabla 5.9.

La conexión de las luces a la base de salidas se hace igual a la conexión mostrada en la figura 5.22 para los contactores de las transferencias.

5.2.4.4 Computadora personal para la interfaz humano-máquina

En la arquitectura diseñada se incluye una computadora personal para la ejecución de la aplicación HMI desarrollada en el software RSView32. La interfaz incluye teclado y ratón para que el operador pueda utilizar el sistema fácilmente. En la tabla 5.10 se presentan los requerimientos de la computadora:

Tabla 5.10 Requerimientos de la PC para la ejecución de la aplicación HMI.

| | |
|-------------------|-------------------------|
| Procesador | Pentium 4 @ 2GHz |
| Memoria RAM | 2GB |
| Sistema operativo | Windows XP Professional |

Los requerimientos de la PC se establecieron con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación HMI. Se tomaron como referencia las especificaciones del fabricante, sin embargo se sobredimensionaron los requerimientos para fortalecer el sistema sin incurrir en mayores gastos.

5.2.4.5 Switch Ethernet para la integración del sistema a la red

Para la interconexión del sistema y la red de la planta se utilizó un switch Ethernet que cumple con el protocolo IEEE 802.3, el cual se encuentra actualmente instalado en la planta. El mismo posee puertos disponibles, los cuales fueron utilizados para la conexión de la pasarela TSXETG100, el PLC Momentum 171CCC96030, y la PC con la HMI.

5.3 Descripción del software

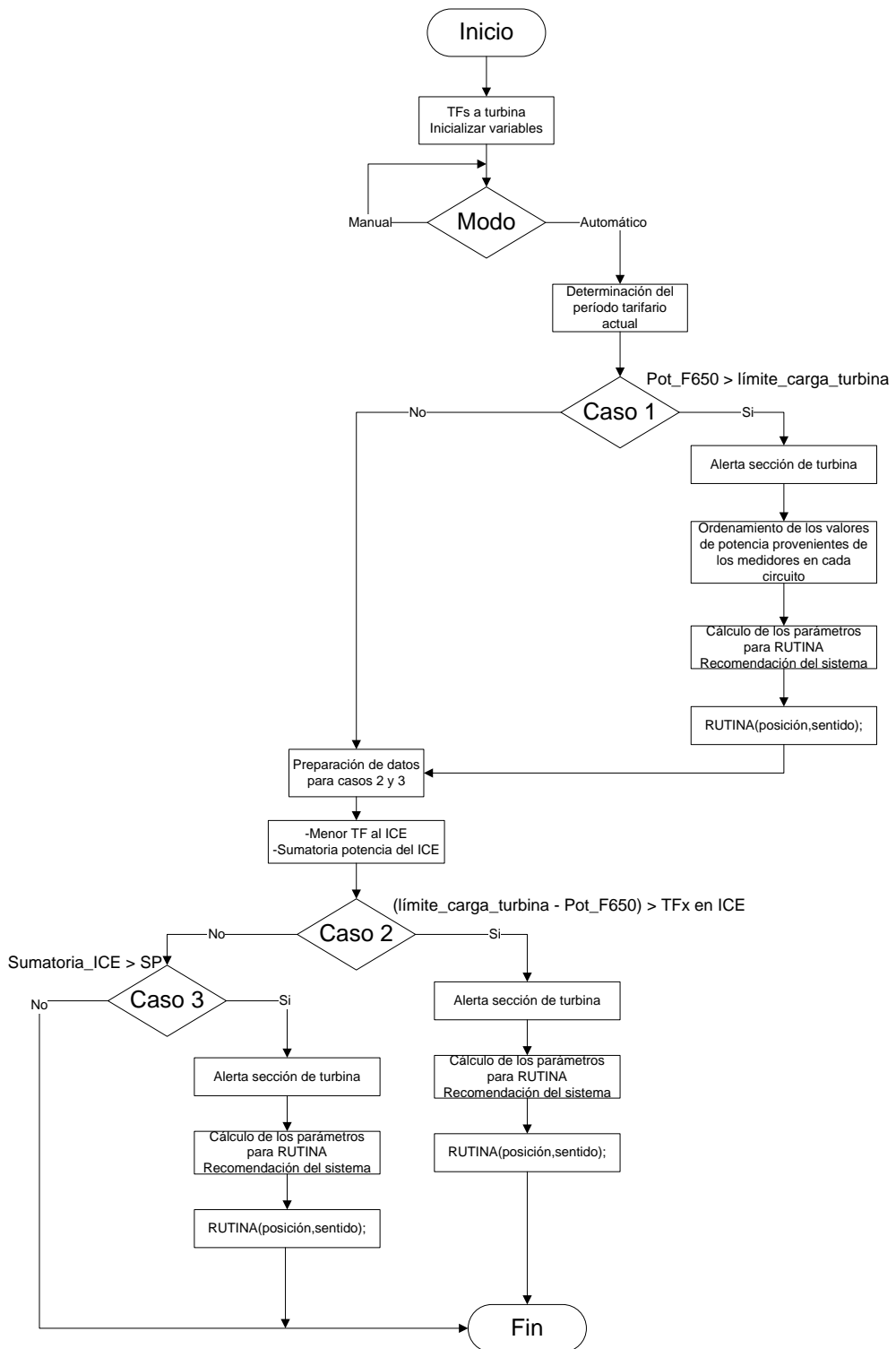
En este apartado se detallan las principales rutinas programadas en el sistema. Primeramente se describirán las rutinas relacionadas con el PLC y luego las rutinas relacionadas con la HMI.

5.3.1 Programación del PLC

Para la ejecución de la estrategia diseñada se programó la lógica en el procesador. Este, al ejecutar el código implementado, presentó el funcionamiento deseado del proceso optimizado de transferencia de cargas, como se verá en el siguiente capítulo.

La codificación del programa de control se llevó a cabo en Concept. Para esto fue necesario crear una sección de programa. Esta sección se programó en el lenguaje de programación Texto Estructurado (ST). La escogencia de este lenguaje se hizo debido a la similitud que éste posee respecto a otros lenguajes de programación de alto nivel como Pascal o C. Estos lenguajes cuentan con un set de instrucciones bastante extenso, lo que permitió implementar las funciones requeridas por la rutina de control. Otra razón por la que se escogió ST recae en que la naturaleza del software diseñado lo hace más comprensible en texto de alto nivel que en lenguajes gráficos como diagrama de bloques o diagrama de escalera.

El software de control se escribió de acuerdo a la estrategia diseñada con la optimización del proceso de transferencia de cargas, estas mejoras se describieron al inicio de este capítulo, ver figura 5.1 y tabla 5.1. Con el fin de implementar la estrategia diseñada se programó la rutina presentada en la figura 5.24:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.24 Diagrama de flujo del programa principal implementado en el controlador.

Como se observa en la figura, inicialmente el programa asume que todos los circuitos de cargas se encuentran conectados al generador y se inicializan las variables del programa. Luego de esto se verifica el modo de operación establecido por el operador. Si el modo de operación es manual, el sistema no ejecuta la estrategia de determinación automática de las condiciones de transferencia de cargas, tampoco asiste al operador en el proceso; el sistema se desconecta del proceso. El modo de operación manual conlleva el uso del panel actual para la realización de las transferencias.

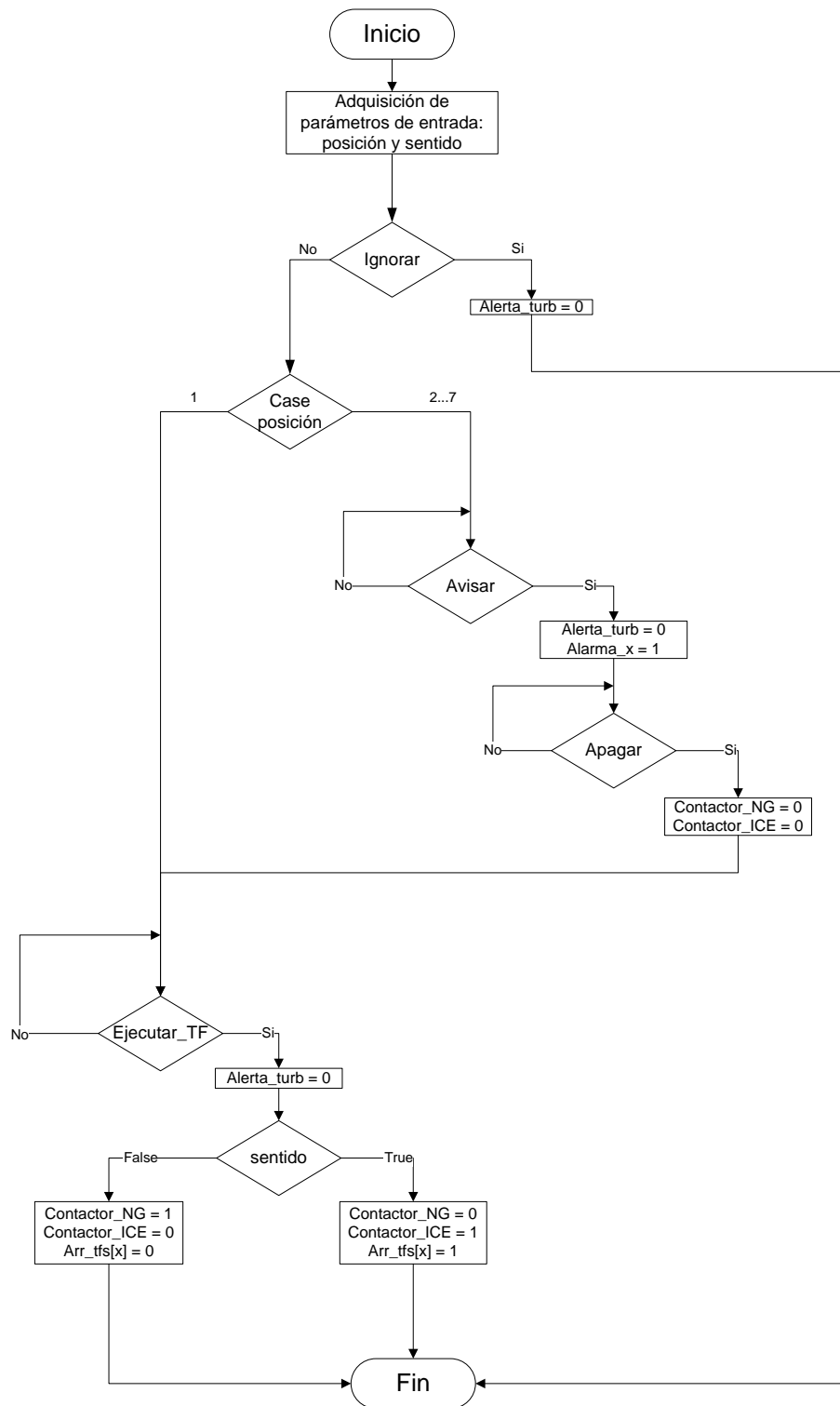
Si se escoge el modo de operación automático, el programa inicia un proceso que tiene como fin la determinación automática de una condición de transferencia, así como la especificación del circuito por transferir y la asistencia al operador durante todo el proceso de transferencia.

El proceso inicia con la determinación del período tarifario actual. Esto para que el sistema pueda ubicar cual de los límites de potencia por período seteados por el operador debe ser considerado en la condición de transferencia estipulada por el caso 3. La determinación del período tarifario se hizo con base en los valores de tiempo real brindados por el adaptador de opción conectado al procesador, y disponibles en la memoria de éste.

Posterior a la verificación del período tarifario actual se inicia la determinación del cumplimiento de alguna de las condiciones que requiere que se lleve a cabo una transferencia de cargas. Esto según la estructuración de las condiciones en casos, descritos en la tabla 5.1. Si no se cumple ninguno de los casos, quiere decir que no es necesario llevar a cabo ninguna transferencia, por lo que el programa inicia un nuevo ciclo. Sin embargo, antes de iniciar un nuevo ciclo, el programa habrá actualizado el cálculo del menor consumo de potencia por un circuito que se encuentre al ICE, así como la sumatoria de potencia de los circuitos conectados al ICE.

Si se cumple con el caso 1, este es que la potencia consumida del generador sea mayor que el límite configurado por el operador, se produce una alerta en el panel de la sección de turbinas. Para esto, el programa activa la salida conectada a la luz estroboscópica ubicada en el panel diseñado. Luego inicia el ordenamiento de los valores reportados por los medidores EPM-7000, esto con el objetivo de determinar luego cuál de los circuitos conectados al generador presenta el menor consumo de potencia para recomendarlo al turbinero como el circuito por transferir. El ordenamiento programado se hizo utilizando el método de ordenamiento por inserción (*Insertion Sort*) descrito en el marco teórico.

Una vez ordenados los datos de potencia de los medidores, se determinan los parámetros de un método diseñado para la interacción del programa con la HMI. Este método fue llamado RUTINA y recibe los parámetros posición y sentido. La posición se refiere al número del circuito (1-7) que se determinó que se debe transferir al ICE. El sentido se refiere al sentido de transferencia de cargas, de esta manera un sentido 1 indica que la carga se va a transferir al ICE mientras que un sentido 0 indica que la carga se va a transferir al generador. Con estos parámetros y con las acciones indicadas por el usuario, esta rutina asiste al operador en el proceso de ignorar la recomendación del sistema, avisar al operador externo que se va a transferir un equipo de su sección, apagar el circuito recomendado por el sistema, y por último transferir el circuito. El diagrama de flujo de esta rutina se muestra en la figura 5.25:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.25 Diagrama de flujo de RUTINA para la interacción del programa principal con la HMI.

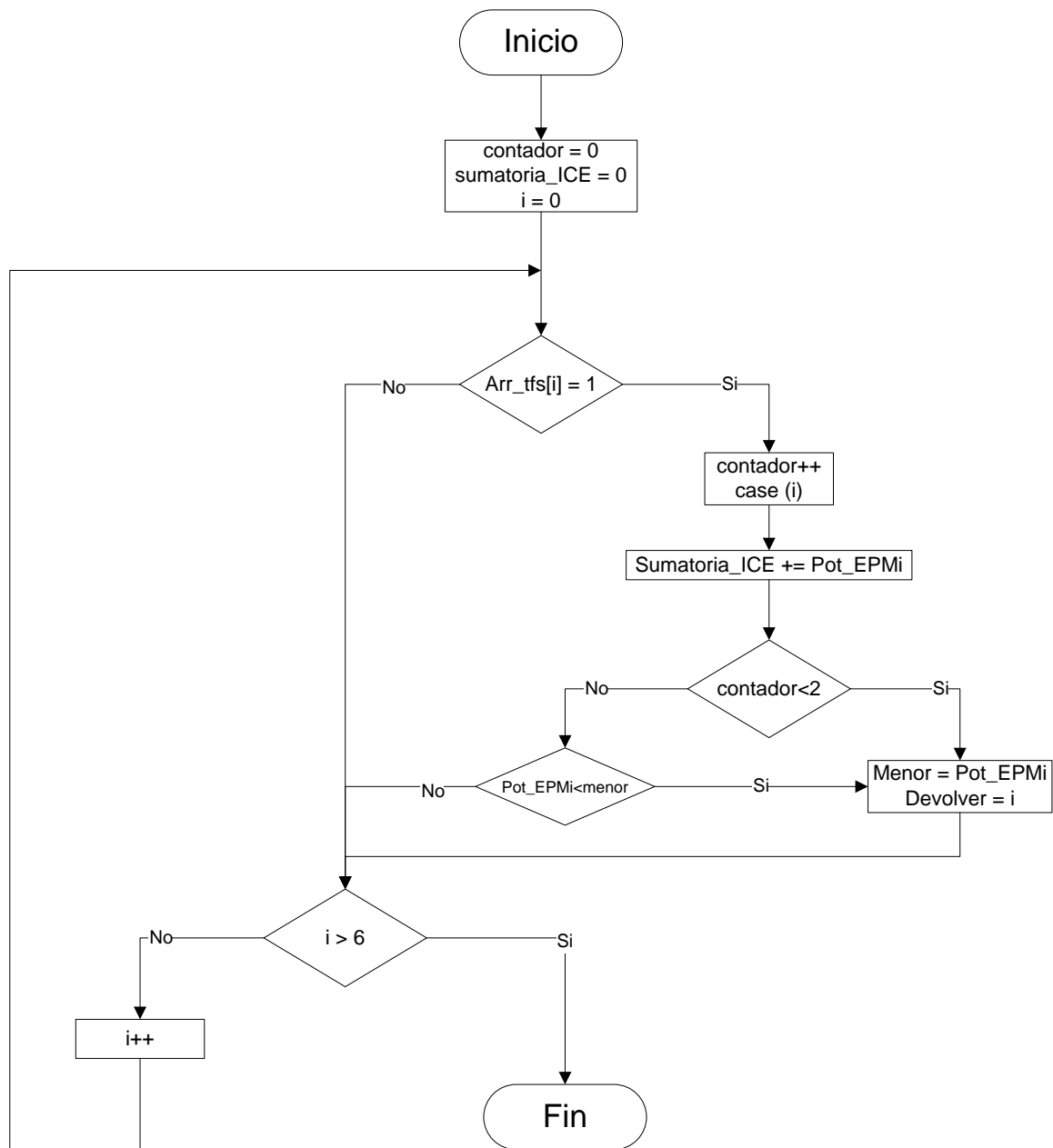
El método adquiere los parámetros posición y sentido, luego espera y atiende los mandos accionados por el operador mediante la HMI. Si el operador decide ignorar la recomendación del sistema, el programa desactiva la alerta del panel que indicaba que se había cumplido alguno de los casos de transferencia.

Si el operador decide aceptar la recomendación del sistema, éste le asiste en el proceso de ejecutar la transferencia: si el operador acciona el mando “avisar” el programa desactiva la alerta local y activa la alerta de la sección dada por el número de circuito por transferir. Cuando el operador acciona el mando “apagar”, el sistema desactiva las salidas de los contactores del circuito en cuestión, de esta manera el circuito al no tener ninguna alimentación se apaga. Finalmente, cuando el operador acciona el mando “ejecutar transferencia” el programa toma el parámetro “sentido” para determinar cuál contactor se energiza y cuál no, del circuito en cuestión.

La rutina contempla la opción de que el circuito por transferir sea el circuito número 1, el circuito de Alumbrado. Debido a que esta carga es completamente resistiva, no es necesario avisar a ningún operador en otras secciones, ni apagar antes el circuito. En este caso la transferencia se puede llevar a cabo instantáneamente, por lo que la rutina espera únicamente por el mando “ejecutar transferencia”.

Por último, al ejecutarse la transferencia, la rutina escribe en un arreglo de bits si el circuito en cuestión se conectó al ICE o al generador. Este arreglo fue utilizado en la determinación de las variables de los casos 2 y 3.

Una vez que termina de ejecutarse la RUTINA se regresa al programa principal. En este punto, ya se dio la condición del caso 1 y el operador, asistido por el programa, ejecutó la transferencia recomendada. Posterior a esto se calculan las variables para los casos 2 y 3. En la figura 5.26 se presenta el diagrama de flujo seguido por el programa principal para la determinación de los parámetros para los casos 2 y 3:



Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.26 Diagrama de flujo para la determinación de las variables de los casos 2 y 3.

Este proceso inicia con la inicialización de las variables “contador”, “sumatoria_ICE” y “i”. La variable “contador” es utilizada para llevar un conteo de los circuitos conectados al ICE; “sumatoria_ICE” lleva la suma de potencia de todos los circuitos conectados al ICE; “i” es una variable utilizada para la iteración de este proceso.

Posteriormente se va verificando el arreglo que identifica los circuitos conectados al ICE. Por cada "1" encontrado en este arreglo, quiere decir que un circuito está conectado al ICE, por lo que se incrementa el contador y, dependiendo del circuito que se encuentra al ICE, se suma la potencia del medidor respectivo a la sumatoria de potencia consumida del ICE.

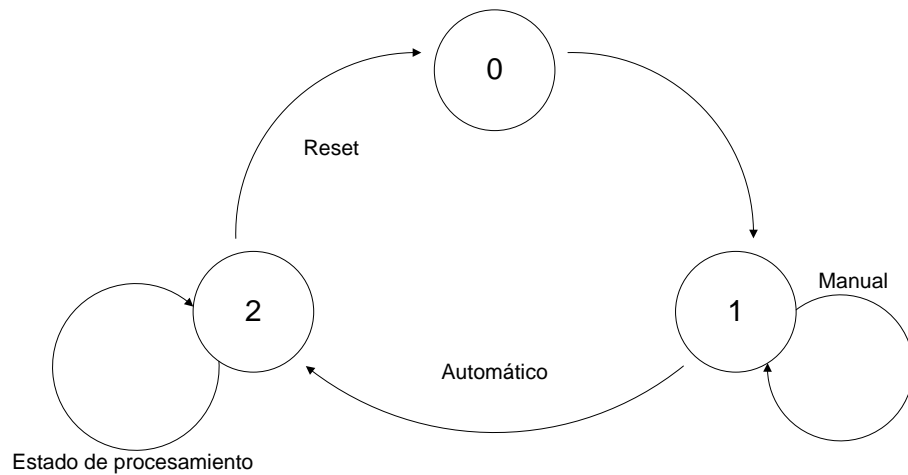
Después de esto, se determina cuál es el circuito conectado al ICE que menor potencia reporta en su medidor, y cuanta potencia consume.

Todo este proceso se ejecuta siete veces, una por cada circuito de cargas, de manera que al finalizar las siete iteraciones, se tenga la sumatoria de potencia consumida del ICE, el número de circuito que consume menor potencia del ICE y la potencia que éste consume.

Estos valores son utilizados en la determinación de los casos 2 y 3. En el caso 2, este es que la resta del límite de carga del generador menos la potencia reportada por el Multilin F650 sea menor que el menor consumo de potencia de un circuito conectado al ICE (lo que indicaría que se pueden devolver cargas a la turbina para evitar consumir del ICE), se llama al método RUTINA con el parámetro de "posición" dado por número de circuito que presenta el menor consumo del ICE (calculado anteriormente), y con el parámetro "sentido" igual a 1 para indicar la transferencia al generador.

En el caso 3, este es que la sumatoria de potencia consumida del ICE sobrepase el límite seteado para el período actual (determinado al inicio del programa), se utiliza la variable "sumatoria_ICE" calculada anteriormente para compararla con el límite seteado por el operador, almacenado y disponible en la memoria del PLC. Si se cumple la condición, se hace una llamada a RUTINA con los mismos parámetros utilizados en el caso 2.

El programa finaliza así, e inicia un nuevo ciclo cada vez con valores actualizados. Este proceso se ilustra en el diagrama de estados de la figura 5.27:

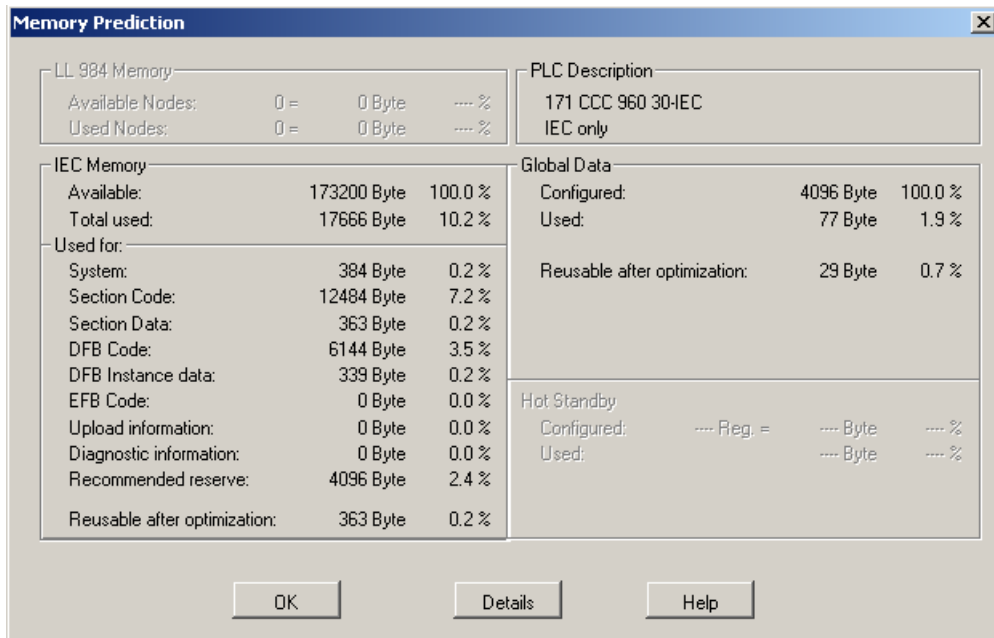


Microsoft Office Visio 2003.

Figura 5.27 Diagrama de estados del funcionamiento del programa principal del PLC.

Una vez seleccionado el modo de operación automático, el programa ingresa al estado 2 y se queda ahí hasta que se requiera reiniciar el sistema.

Al finalizar la codificación del programa, Concept reportó la predicción de consumo de memoria que se muestra en la figura 5.28:



Concept.

Figura 5.28 Predicción de consumo de memoria del código diseñado.

Como se observa, se utilizó un 10.2% de la memoria disponible para el programa en la sección IEC, por lo que en un futuro se podría agregar código al PLC si se deseara incluir otras funcionalidades al sistema para aprovechar la memoria disponible.

En el apéndice A.2 se presenta un resumen de las variables utilizadas en la codificación del programa diseñado, así como la dirección de memoria de las variables localizadas.

5.3.2 Configuración de la interfaz humano-máquina: HMI

La HMI del sistema le permite al operador interactuar con el programa principal desarrollado en el PLC. Además le permite observar los consumos de los equipos involucrados en el proceso de transferencia de cargas, así como otras variables calculadas por el programa que son relevantes en el proceso.

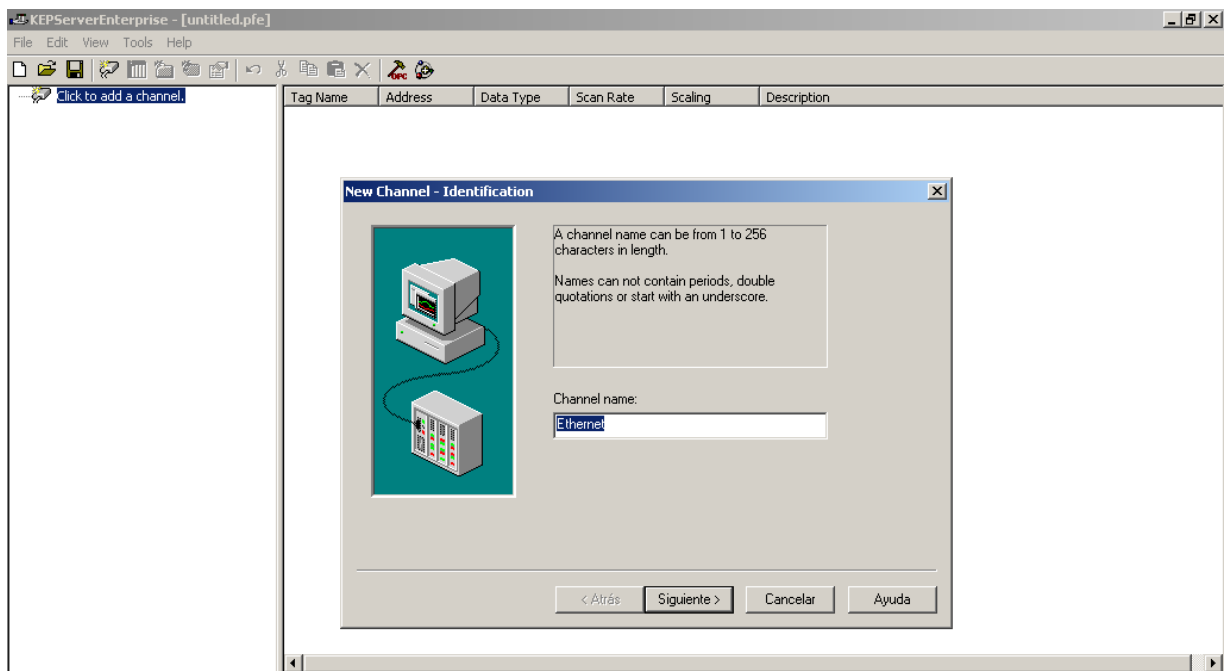
El desarrollo de la HMI se hizo con el software RSView32 de Rockwell. Debido a que este sistema es propietario, no posee por defecto el protocolo Modbus TCP. A causa de esto fue necesario incluir un servidor OPC que le permitiera a la aplicación HMI disponer de los datos de todos los dispositivos Modbus TCP en la red del sistema diseñado. En este apartado se describirá inicialmente el proceso de configuración del servidor OPC y luego el proceso de desarrollo de la aplicación HMI.

5.3.2.1 Configuración del servidor OPC

El servidor OPC se creó utilizando el software KEPServer Enterprise de Kepware. Este software se instala en la misma computadora que ejecuta la aplicación HMI, es decir, la computadora ubicada en el panel diseñado para la sección de turbinas. Mediante este software fue posible llevar a cabo la configuración del servidor con el fin de proveerle a la aplicación HMI los datos requeridos por ésta y que provienen de

los dispositivos Modbus TCP de la arquitectura del sistema. Los datos utilizados por la aplicación HMI son llamados “tags”, de manera que cada dato en un esclavo Modbus TCP, como por ejemplo la potencia consumida por el generador reportada por el Multilin F650, es un “tag”.

El proceso de configuración del servidor OPC inició creando un canal de comunicación entre la computadora que contiene al servidor y la red del sistema. En la figura 5.29 se presenta el entorno de configuración del servidor y la creación del canal de comunicación Ethernet:



KEPserver Enterprise.

Figura 5.29 Entorno de configuración del servidor OPC y creación del canal de comunicación.

En la creación del canal de comunicación se deben especificar las características del mismo. En la tabla 5.11 se resume el proceso de configuración del canal de comunicación:

Tabla 5.11 Características configuradas en el canal de comunicación del servidor OPC.

| | |
|------------------------|--|
| Nombre | Ethernet |
| Driver | Modbus Ethernet |
| Número de puerto | 502 |
| Protocolo IP | TCP/IP |
| Método de optimización | Escribir todos los valores para todos los tags |

Las especificaciones del canal se hicieron con base en las características de la red del sistema implementado. El número de puerto 502 es el que los dispositivos Modbus TCP tienen configurado por defecto. El método de optimización seleccionado asegura la escritura de los “tags” en el PLC cada vez que el cliente del servidor OPC (aplicación HMI) ejecuta un comando de escritura.

Después de crear el canal de comunicación, se configuró la comunicación con los dispositivos que se encuentran en el canal, como lo son: el Multilin F650 y el PLC Momentum. No fue necesario configurar la comunicación con la pasarela TSXETG100 para la obtención de los valores medidos por los EPM-7000, ya que estos datos ya se encontraban en la memoria del PLC.

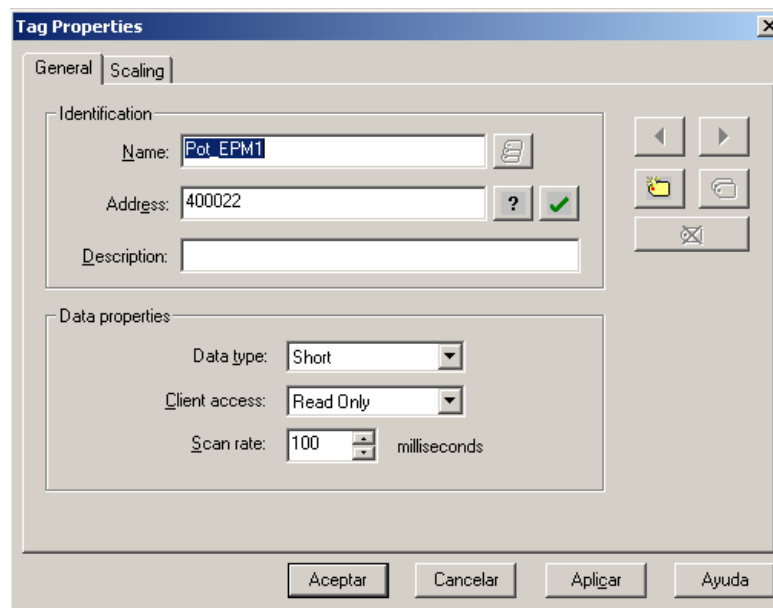
Primeramente se configuró la comunicación con el PLC Momentum, en la tabla 5.12 se presentan las especificaciones establecidas para la configuración de la comunicación con este dispositivo:

Tabla 5.12 Características configuradas para la comunicación del servidor OPC con el PLC.

| | |
|----------------------------|---|
| Nombre del dispositivo | New_Momentum |
| Modelo | Modbus |
| Identificación | 172.16.11.85.0 |
| Número de puerto | 502 |
| Protocolo IP | TCP/IP |
| Ajustes de acceso de datos | -Direccionamiento con base en cero. -Utilizar la función Modbus 06 para la escritura. -Utilizar el orden de bytes Modbus por defecto. |

La identificación del dispositivo se compone por la dirección IP asignada al PLC y el número de dispositivo Modbus que es cero. En los ajustes para el acceso de datos se especificó que el direccionamiento de los registros de este dispositivo estuviera basado en cero, esto tiene que ver con el ingreso de las direcciones de los registros específicos del dispositivo: al seleccionar esta opción se empareja el método de direccionamiento del servidor con el utilizado por el PLC. La utilización de la función 06 para la escritura de los registros de PLC y el orden de los bytes de los registros se escogieron también basándose en el protocolo utilizado por el PLC.

Una vez configurada la comunicación con el PLC, se procedió a la creación de los “tags” requeridos de este dispositivo. Se crearon “tags” para las mediciones de potencia de los EPM-7000, para los límites ingresados por el usuario en la HMI, y para los datos calculados por el PLC que están involucrados con el proceso. En la figura 5.30 se muestra la creación del “tag” para el dato de la potencia medida por el primer EPM-7000:



KEPServer Enterprise.

Figura 5.30 Configuración de “tags” para en el servidor OPC.

En la configuración de los “tags” se especificó el nombre respectivo, así como la dirección del registro en el dispositivo que contiene el dato. Esta dirección se

especificó tomando en cuenta la localización en la memoria de cada dato en el PLC. Se especificó además el tipo de dato considerando el tipo de dato utilizado en el PLC, el cual fue de tipo entero de 16 bits. El nivel de acceso del cliente (aplicación HMI) para cada dato se especificó dependiendo del dato en cuestión: variables medidas y datos calculados por el PLC poseen nivel de acceso de sólo lectura, mientras que los comandos de la aplicación (ignorar, avisar, apagar, y ejecutar transferencia) poseen un nivel de acceso de lectura y escritura. Esto debido a que el PLC debe ser escrito con los comandos indicados por las acciones del operador de la HMI, para así tomar la acción respectiva en la lógica programada. El tiempo de escaneo se dejó como venía por defecto, por recomendación del fabricante.

En las figuras 5.31 y 5.32 se presentan los “tags” creados para el dispositivo New_Momentum:

| Tag Name | Address | Data Type | Scan Rate | Scaling |
|----------|---------|-----------|-----------|---------|
| Pot_EPM1 | 400022 | Short | 100 | None |
| FP_EPM1 | 400023 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM2 | 400024 | Short | 100 | None |
| FP_EPM2 | 400025 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM3 | 400026 | Short | 100 | None |
| FP_EPM3 | 400027 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM4 | 400028 | Short | 100 | None |
| FP_EPM4 | 400029 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM5 | 400030 | Short | 100 | None |
| FP_EPM5 | 400031 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM6 | 400032 | Short | 100 | None |
| FP_EPM6 | 400033 | Short | 100 | None |
| Pot_EPM7 | 400034 | Short | 100 | None |
| FP_EPM7 | 400035 | Short | 100 | None |

KEPserver Enterprise.

Figura 5.31 Lista de “tags” creados para los datos medidos por los EPM-7000 almacenados en el PLC.

| Tag Name | Address | Data Type | Scan Rate | Scaling |
|-------------------------|---------|-----------|-----------|---------|
| hora_act | 400006 | Short | 100 | None |
| min_act | 400007 | Short | 100 | None |
| seg_act | 400008 | Short | 100 | None |
| periodo_act | 400009 | Short | 100 | None |
| menor_al_ICE_kW | 400010 | Short | 100 | None |
| num_TF_devolver_caso2y3 | 400011 | Short | 100 | None |
| cont_TFs_ICE | 400012 | Short | 100 | None |
| limite_carga_turbina | 400036 | Short | 100 | None |
| SP_Punta | 400037 | Short | 100 | None |
| SP_Valle | 400038 | Short | 100 | None |
| SP_Noct | 400039 | Short | 100 | None |
| sumatoria_ICE | 400101 | Short | 100 | None |
| avisar | 400103 | Short | 100 | None |
| ejecutar | 400104 | Short | 100 | None |
| apagar_TF | 400105 | Short | 100 | None |
| ignorar_TF | 400106 | Short | 100 | None |
| num_TF_posi_caso1 | 400200 | Short | 100 | None |
| reg1 | 400201 | Short | 100 | None |
| reg2 | 400202 | Short | 100 | None |
| reg3 | 400203 | Short | 100 | None |
| reg4 | 400204 | Short | 100 | None |
| reg5 | 400205 | Short | 100 | None |
| reg6 | 400206 | Short | 100 | None |
| reg7 | 400207 | Short | 100 | None |
| caso1 | 400301 | Short | 100 | None |
| caso2 | 400302 | Short | 100 | None |
| caso3 | 400303 | Short | 100 | None |

KEPServer Enterprise.

Figura 5.32 Lista de “tags” creados para las variables internas almacenadas en el PLC.

Posteriormente se creó el enlace de comunicación con el Multilin F650 para la obtención de la potencia consumida del generador. Los parámetros para la configuración de la comunicación con este dispositivo se presentan en la tabla 5.13:

Tabla 5.13 Características configuradas para la comunicación del servidor OPC con el Multilin F650.

| | |
|----------------------------|---|
| Nombre del dispositivo | Multilin_F650 |
| Modelo | Modbus |
| Identificación | 172.16.11.84.254 |
| Número de puerto | 502 |
| Protocolo IP | TCP/IP |
| Ajustes de acceso de datos | -Direccionamiento con base en cero. -Utilizar la función Modbus 06 para la escritura. -Utilizar el orden de bytes Modbus por defecto. |

El único parámetro que cambia respecto a la configuración de la comunicación con el dispositivo New_Momentum es la identificación. En el caso del Multilin F650, su dirección IP e identificación Modbus se obtuvieron de la información brindada por los ingenieros de la planta. En la figura 5.33 se muestra la lista de “tags” creados para el Multilin F650:

| Tag Name | Address | Data Type | Scan Rate | Scaling |
|----------|---------|-----------|-----------|---------|
| Ia | 403823 | Short | 100 | None |
| Ib | 403825 | Short | 100 | None |
| Ic | 403827 | Short | 100 | None |
| Vab | 403845 | Short | 100 | None |
| Vbc | 403847 | Short | 100 | None |
| Vca | 403849 | Short | 100 | None |
| Pot_3f | 403883 | Short | 100 | None |
| FP_3f | 403895 | Short | 100 | None |
| Frec | 403897 | Long | 100 | None |

KEPserver Enterprise.

Figura 5.33 Lista de “tags” creados para las variables reportadas por el Multilin F650.

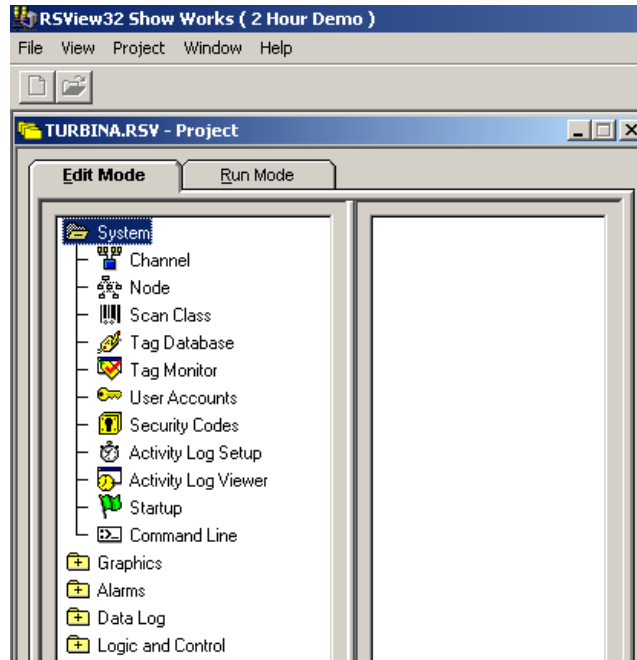
Cabe destacar que, debido a la limitación en el número de “tags” (35) que se pueden utilizar con la licencia de prueba del software RSView32, no se pudo incluir en la HMI todas las “tags” creadas: para cumplir con la limitación de esta licencia se decidió utilizar únicamente el “tag” de la potencia real consumida del generador (Pot_3f). Además se descartaron los “tags” del factor de potencia reportado por cada EPM-7000.

Una vez configurado el servidor OPC, este se ejecuta en la computadora de la aplicación HMI, proporcionándole acceso a todos los “tags” creados.

5.3.2.2 Creación de la aplicación HMI

La aplicación HMI se desarrolló utilizando el software RSView32 con una licencia de prueba. La aplicación desarrollada funciona como cliente del servidor OPC

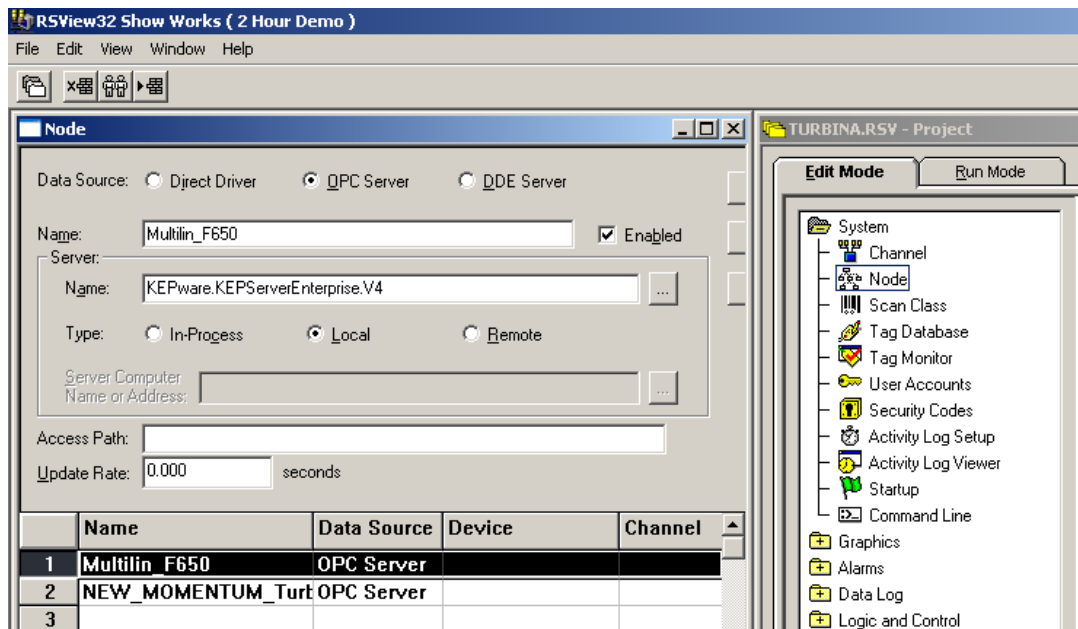
configurado con el KEPServer Enterprise. En la figura 5.34 se muestra el entorno de desarrollo del RSView 32:



RSView32.

Figura 5.34 Entorno de desarrollo de aplicaciones HMI en RSView32.

La creación de la aplicación HMI inicia con el establecimiento de los nodos para la comunicación con los dispositivos de la arquitectura, éstos son el Multilin F650 y el PLC Momentum. La configuración de los nodos para estos dispositivos se presenta en la figura 5.35:

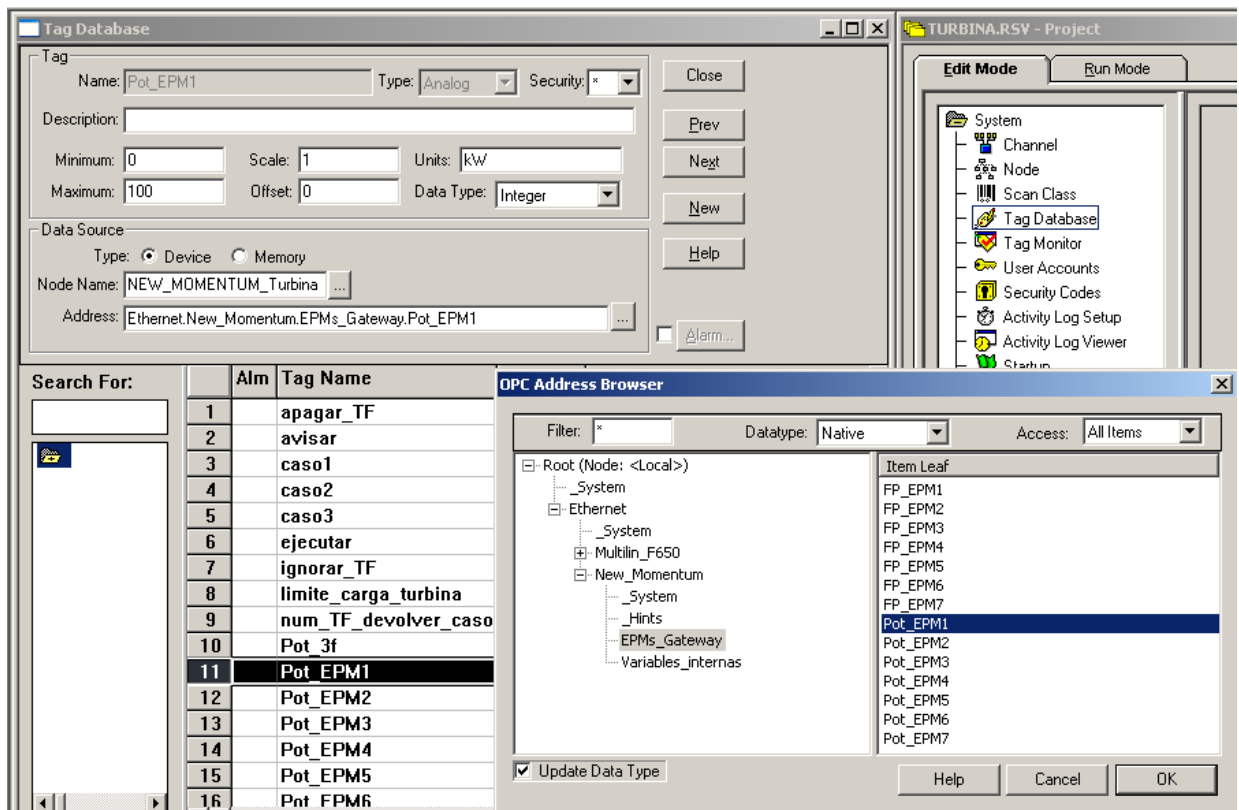


RSView32.

Figura 5.35 Creación de los nodos para la comunicación de la aplicación HMI con el PLC y el Multilin F650.

Como se observa, el enlace de la aplicación con los nodos creados se hizo mediante el servidor OPC.

Una vez creados los nodos, se procedió a la creación de la base de datos de los “tags” (*Tag database*) a utilizar en la aplicación. Esta base de datos es una repetición de todos los “tags” configurados en el servidor OPC, y su existencia en la aplicación HMI se debe al enlace proveído por el servidor. En la figura 5.36 se muestra el proceso de construcción de la *Tag Database* de RSView a partir de las “tags” configuradas en el servidor OPC:



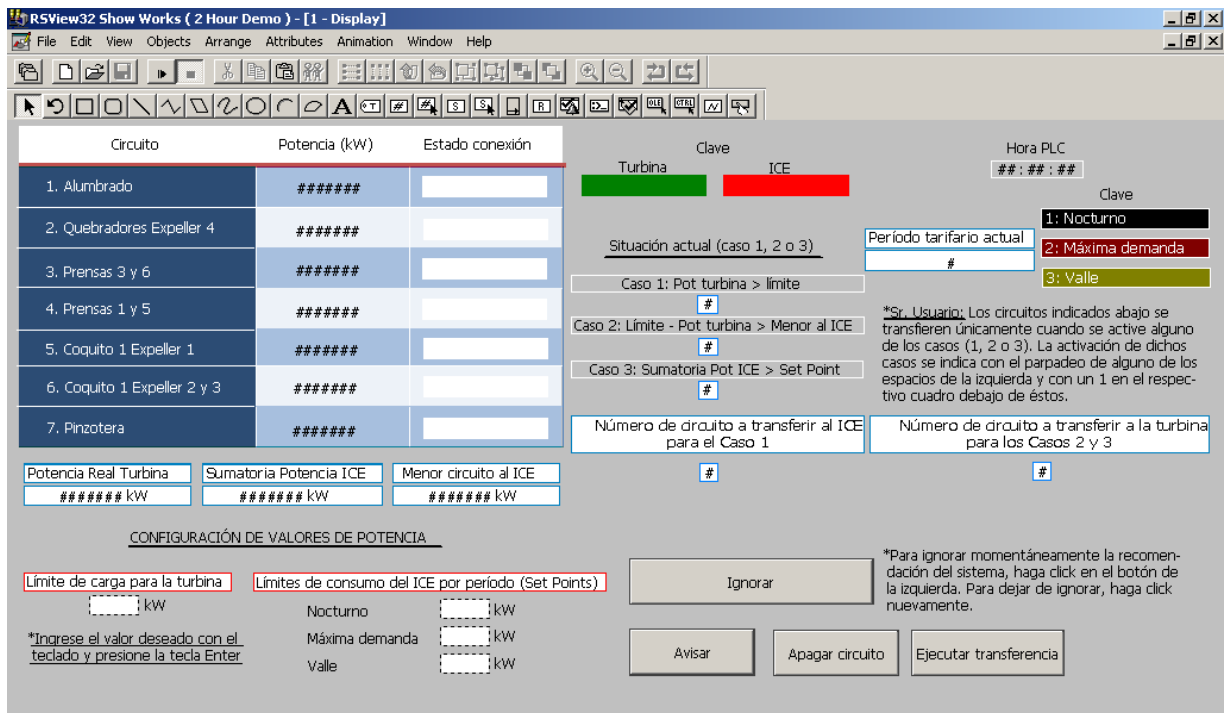
RSView32.

Figura 5.36 Construcción de la Tag Database a partir de las “tags” del servidor OPC.

La creación de la *Tag Database* se hizo utilizando el explorador de los nodos creados, mediante este se llegó a la lista de “tags” disponibles en el servidor. Para cada “tag” se configuró la unidad de medida, el escalamiento y el tipo de dato. Estos parámetros se configuraron de acuerdo a lo establecido tanto en el PLC, Multilin F650 y servidor OPC, para cada uno de los datos.

El proceso ilustrado en la figura 5.36 se repitió para cada una de las “tags” que se incluyeron en la aplicación HMI.

Una vez creados los nodos a cada dispositivo y la *Tag Database*, se procedió al diseño y configuración de la pantalla de que serviría como interfaz gráfica del sistema. La interfaz diseñada se ilustra en la figura 5.37:



RSView32.

Figura 5.37 Interfaz gráfica del sistema.

La pantalla se diseñó con el fin de exponerle al operador la información relacionada con el proceso de transferencias de la forma más comprensible. En esta se muestra una tabla con el consumo de potencia de cada circuito transferible, así como su estado de conexión actual. El estado de conexión se ilustra con un rectángulo de color variable: si el circuito se encuentra conectado al generador, el rectángulo será verde; mientras que si la conexión es al ICE, el rectángulo será rojo. Se muestran también valores calculados en el PLC como la sumatoria de potencia consumida del ICE y el número de circuito conectado al ICE con menor consumo de potencia. La potencia del generador reportada por el Multilin F650 también se incluyó en la pantalla.

Se incluyeron espacios para el ingreso del límite de carga deseado del generador, así como para los límites de potencia por período tarifario.

En la parte derecha de la pantalla se incluyeron la hora del día y el período tarifario actual. Este último se representó como un número (1, 2 o 3); a la derecha de éste número se colocó su clave de interpretación.

Se incluyó también la situación actual del sistema, esto es, si se cumple alguno de los tres casos. Si se cumple alguno, el rectángulo que posee la leyenda “Caso x” fue configurado para que parpadeara y así llamar la atención del operador; además, el cuadro debajo del caso que se cumple se pondrá en 1. El operador, además de ubicar el caso que se cumple, puede leer en la pantalla el número de circuito por transferir recomendado por el sistema para el caso respectivo.

Por último, la pantalla incluye los botones para ejecutar las acciones necesarias en el proceso de transferir un circuito.

En la interfaz se redactaron indicaciones para su correcto uso de manera que se le facilite al operador la manipulación del sistema.

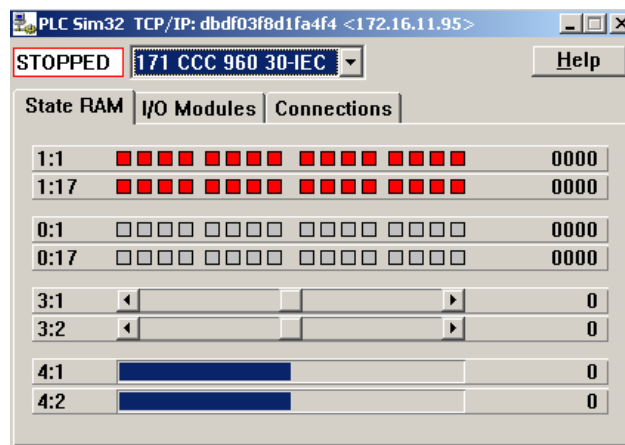
Cada uno de los elementos de la pantalla fue enlazado con el respectivo dato definido anteriormente en la *Tag Database*. El proceso de creación de la pantalla se describe en el apéndice A.3.

6 Capítulo 6: Análisis de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la simulación del sistema diseñado con el fin de verificar el correcto funcionamiento del mismo. Simultáneamente se comentan los resultados y se analizan a la luz de los objetivos planteados.

Como se ha comentado anteriormente, el no contar con el presupuesto para la implementación del sistema diseñado imposibilitó la obtención de resultados reales. Sin embargo se llevó a cabo la simulación del sistema como si este funcionara en la realidad.

Para la simulación del funcionamiento del PLC se utilizó la herramienta IEC 32-bit Simulator de Concept. Esta se utilizó para probar el funcionamiento del PLC en línea pero sin requerir el hardware. En la figura 6.1 se muestra la interfaz de simulación de esta herramienta:



Concept.

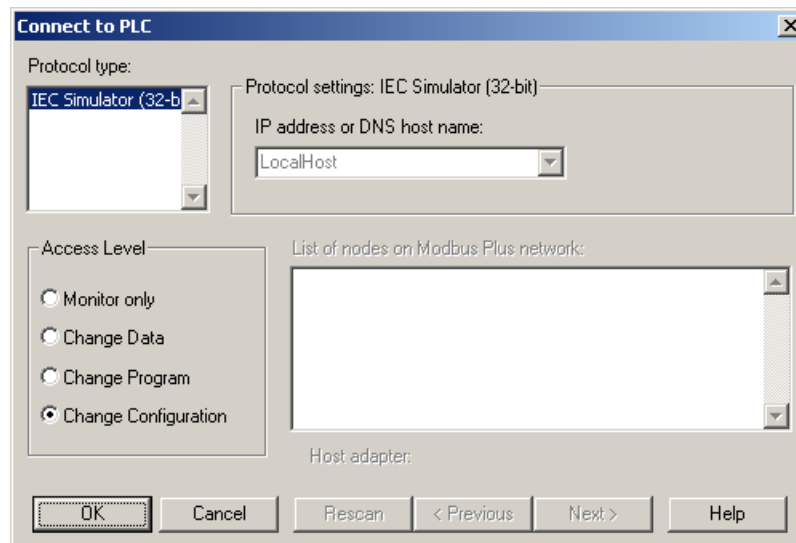
Figura 6.1 Herramienta de simulación del PLC IEC 32-bit Simulator.

Esta herramienta permitió observar el estado de las salidas discretas, así como el contenido de los registros de las variables calculadas por el programa. Además, fue posible manipular las entradas del programa y escribir datos en los registros. La columna izquierda muestra las referencias de memoria de las entradas y salidas

discretas (1:X y 0:X respectivamente), así como de los registros que contienen las variables del programa (4:X). En el caso de las entradas discretas, éstas se pueden activar o desactivar haciendo click en el cuadro respectivo a la entrada deseada. Los cuadros de las referencias 0:X se muestran en color rojo cuando el programa los desactiva y en verde cuando son activados por la lógica programada. Las referencias de los registros se pueden leer y escribir en la columna derecha. De esta manera fue posible manipular las entradas del programa con el fin de verificar su funcionamiento. Además de poderse verificar el estado de las salidas discretas conectadas a los contactores de las transferencias y a las luces estroboscópicas usadas como alerta en el panel diseñado y en las secciones donde se ubican los equipos transferibles.

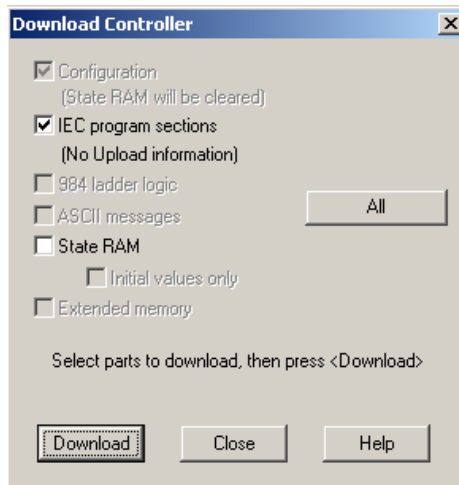
En conjunto con el IEC 32-bit Simulator se utilizó el servidor OPC y se ejecutó la aplicación HMI desarrollada.

Para arrancar con la simulación fue necesario primero conectarse en línea con el PLC simulado, para luego descargarle el programa codificado. En las figuras 6.2 y 6.3 se muestra la conexión con el simulador y la descarga del programa a éste, respectivamente:



Concept.

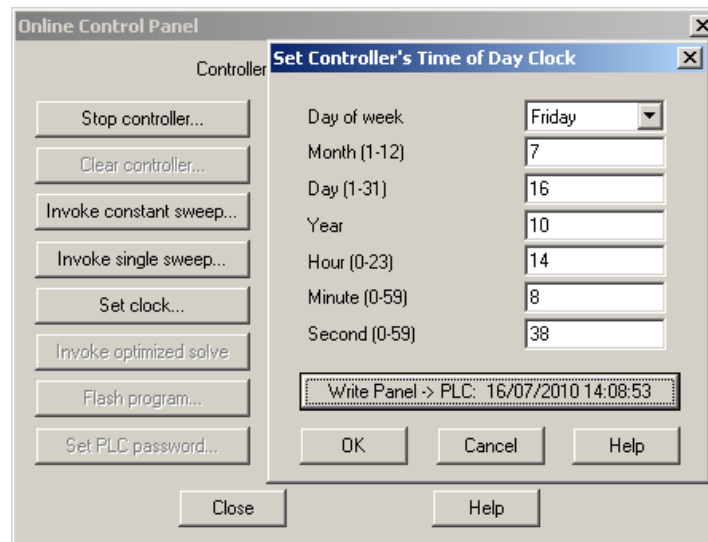
Figura 6.2 Conexión al PLC simulado utilizando el IEC 32-bit Simulator.



Concept.

Figura 6.3 Descarga del programa al PLC simulado.

Además, para el correcto funcionamiento del programa diseñado, se configuró el reloj del PLC simulado. Este se estableció usando la opción de escribir la hora del día de la computadora en el PLC. Esta configuración se presenta en la figura 6.4:



Concept.

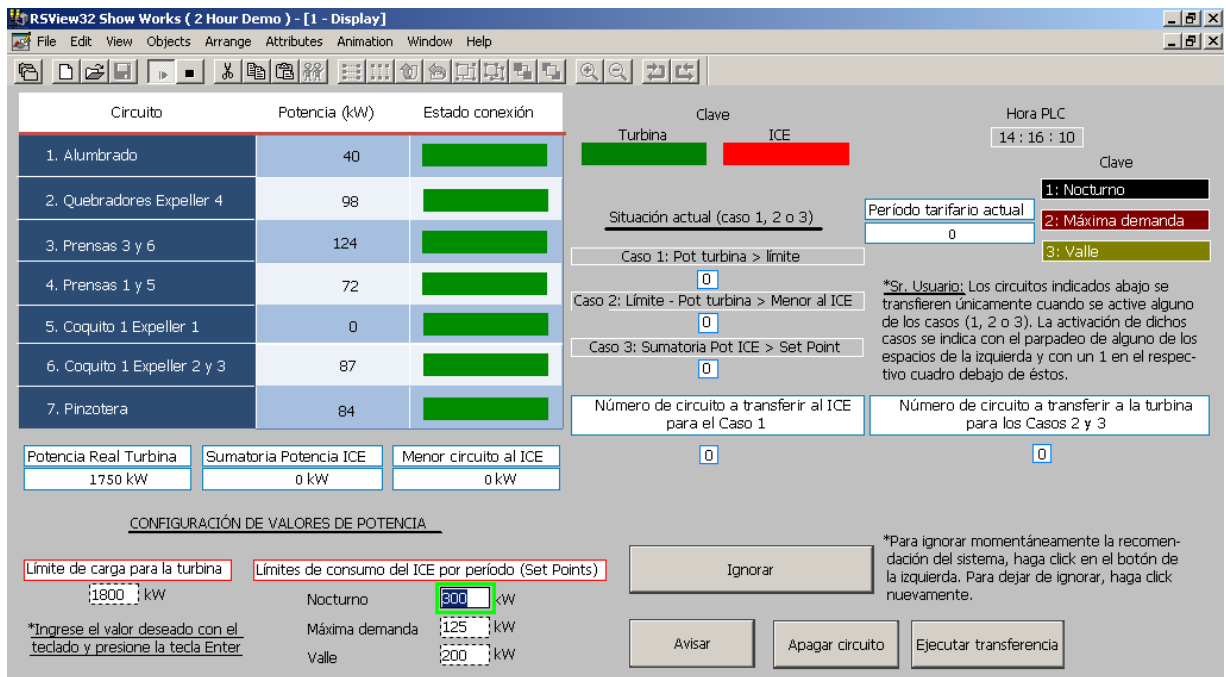
Figura 6.4 Establecimiento del reloj del PLC simulado.

Los alcances de la simulación realizada, así como sus limitaciones y configuraciones realizadas se describen a continuación:

- En una computadora se utilizó la herramienta IEC 32-bit Simulator para manipular las entradas de modo de operación y reinicio del sistema.
- En la misma computadora se ejecutó la aplicación HMI diseñada y se simuló el funcionamiento del sistema para varias condiciones.
- Por razones de presupuesto, no se contó con los dispositivos medidores EPM-7000, por lo que fue necesario simular los valores de potencia consumida por cada circuito de cargas.
- Con el fin de ilustrar el funcionamiento con una corrida del sistema en condiciones controladas, se omitió el valor de potencia generada reportado por el Multilin F650 y éste valor fue simulado. Sin embargo, en condiciones reales, el sistema no debería presentar inconvenientes y esto se hace con el fin de mostrar el funcionamiento en una corrida controlada.
- Además, al final de este capítulo se muestra la prueba de comunicación entre el servidor OPC y el Multilin F650.

Con las limitaciones y los alcances de la simulación definidos, se procede a continuación a presentar los resultados una corrida del sistema en condiciones controladas para la mejor comprensión del lector.

En la figura 6.5 se presentan las condiciones iniciales configuradas en el sistema para su simulación:

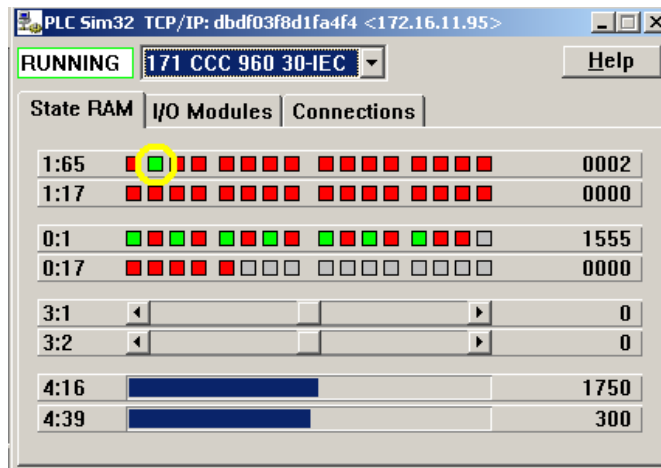


RSView32.

Figura 6.5 Condiciones iniciales configuradas en el sistema para su simulación.

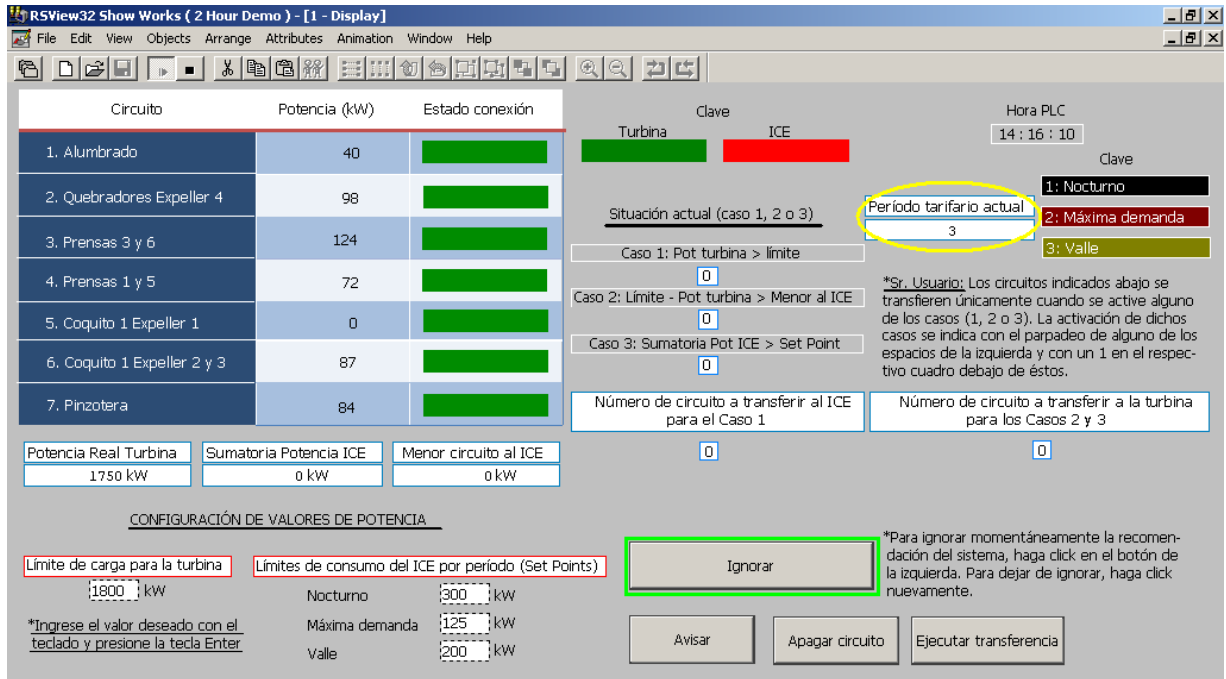
Los límites de consumo del generador y del ICE en cada período tarifario fueron ingresados con el teclado de la computadora simulando la posibilidad de configuración para el operador de la sección de turbinas.

En este momento se asume que el modo de operación se encuentra en manual, por lo que el sistema se mantiene inactivo. Al seleccionar el modo de operación automático, el sistema inicia con la determinación del período tarifario actual. Estas acciones se ilustran en las figuras 6.6 y 6.7:



Concept.

Figura 6.6 Selección del modo de operación automático.



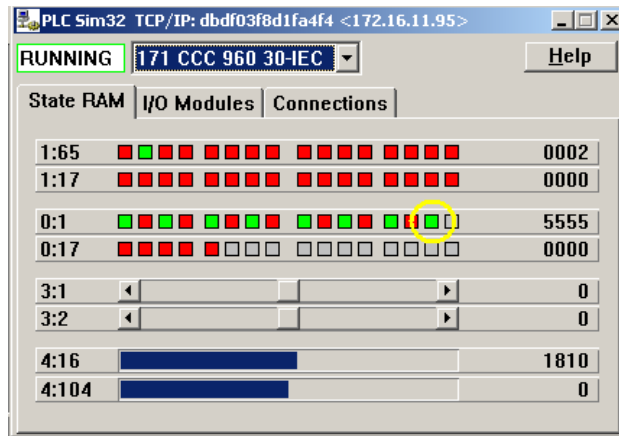
RSView32.

Figura 6.7 Comprobación de la determinación del período tarifario actual.

En la figura 6.6 se observa además que las salidas a los contactores se encuentran en la configuración de conexión al generador para todos los circuitos.

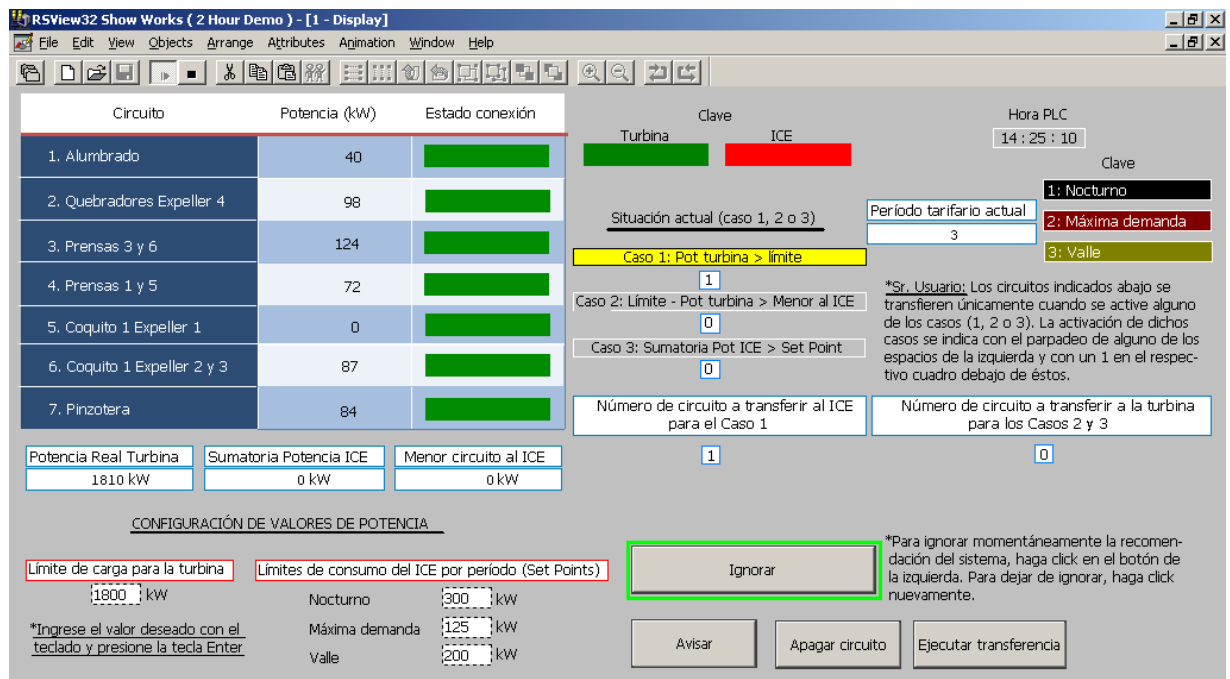
Posterior a esto, se configura la potencia real consumida del generador para sobrepasar el límite configurado. De esta manera el sistema debía activar la alerta

del panel diseñado, así como indicar en la pantalla el cumplimiento del caso 1 y la recomendación del sistema. Esta recomendación debía ser el circuito número 1 ya que éste es el que presentaba el menor consumo de potencia, tal y como se programó en la lógica diseñada. Este funcionamiento se corrobora en las figuras 6.8 y 6.9:



Concept.

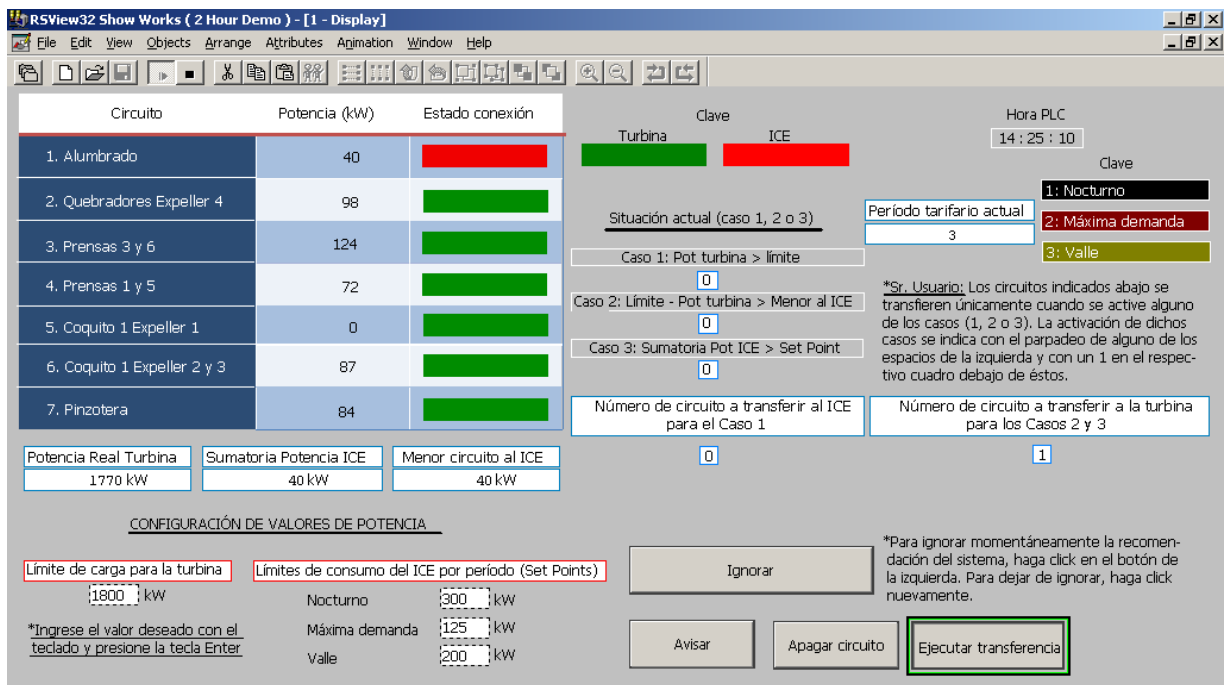
Figura 6.8 Comprobación de la alerta en el panel diseñado por cumplimiento del caso 1.



RSView32.

Figura 6.9 Comprobación de la activación del caso 1 y correcta recomendación del sistema.

Debido a que el circuito por transferir es el alumbrado no es necesario avisar la transferencia, por lo que la acción tomada fue presionar el botón para la ejecución de la transferencia. En este caso, la pantalla debía actualizar los valores calculados en el PLC, como lo son: el estado de conexión del circuito transferido, la sumatoria de potencia consumida del ICE y el menor consumo del ICE. Lo anterior se corrobora en la figura 6.10:



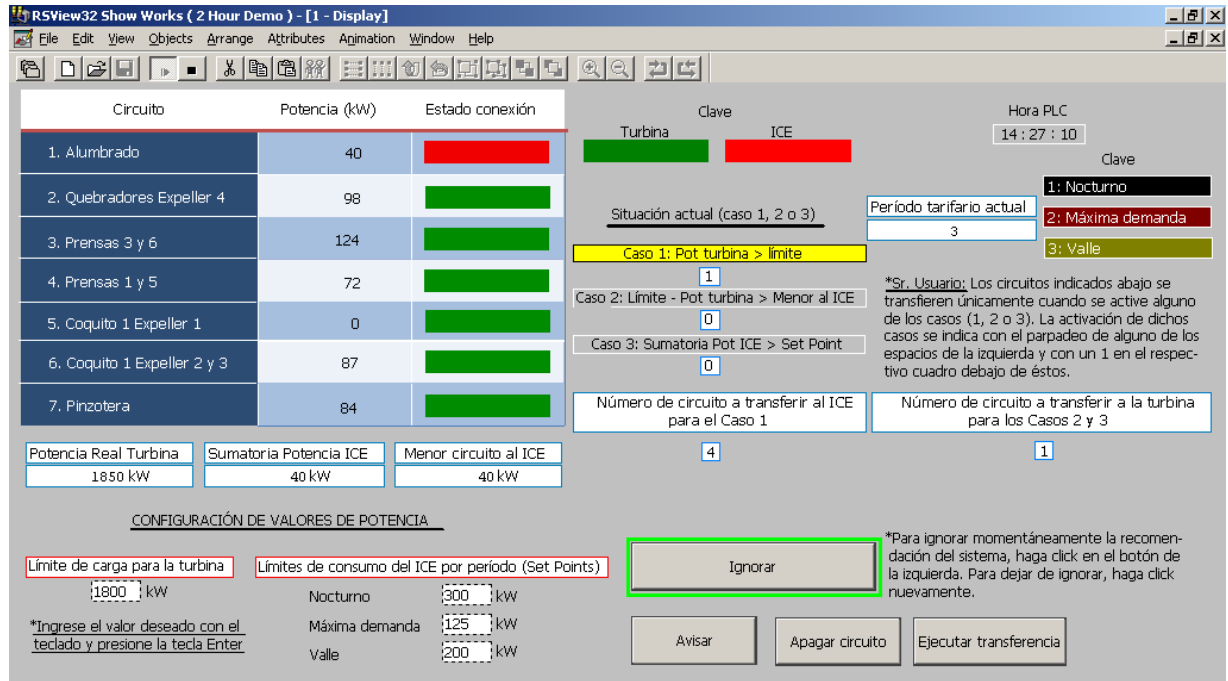
RSView32.

Figura 6.10 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la primer transferencia.

Como se observa se obtuvo el comportamiento esperado al presionar el botón de ejecutar la transferencia recomendada: el estado de conexión se pasó al ICE, la sumatoria de potencia consumida del ICE cambió a 40kW que fue el consumo reportado por el medidor del circuito transferido; de la misma manera el menor consumo conectado al ICE son los 40kW transferidos.

Después de esto, se volvió a modificar la potencia del generador de manera que se cumpliera nuevamente con el caso 1. En esta ocasión, el sistema debía recomendar

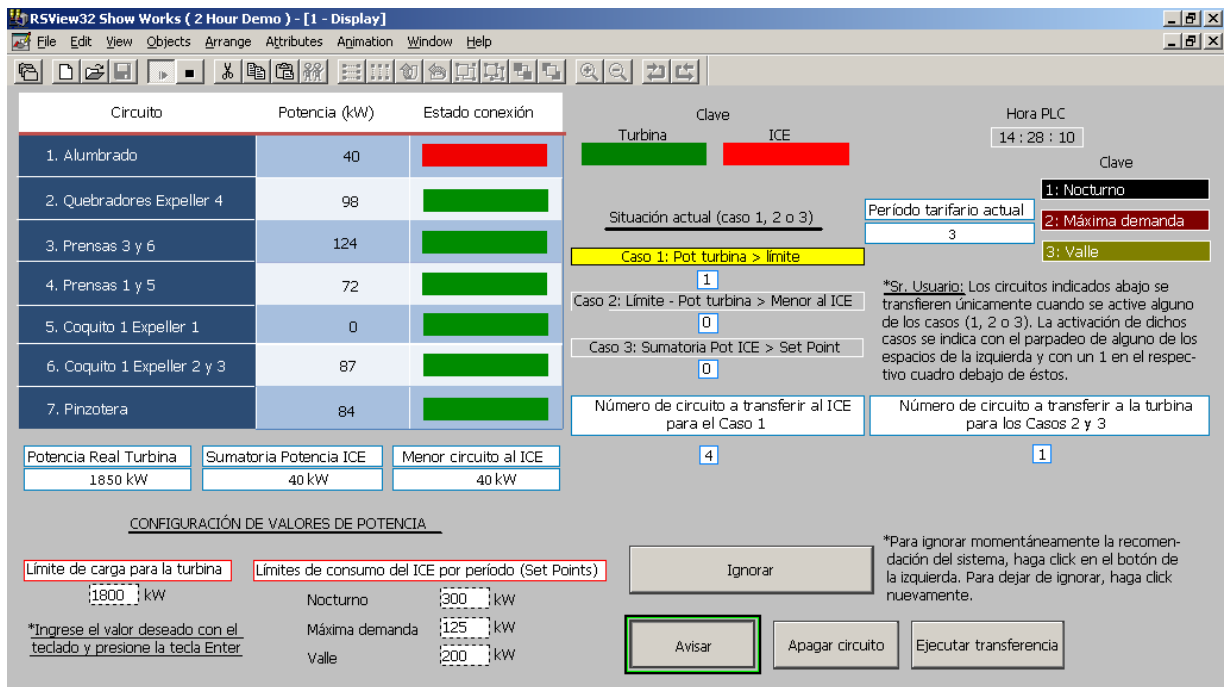
el siguiente menor consumo de los circuitos conectados al generador, es decir el circuito número 4. Esto se comprueba en la figura 6.11:



RSView32.

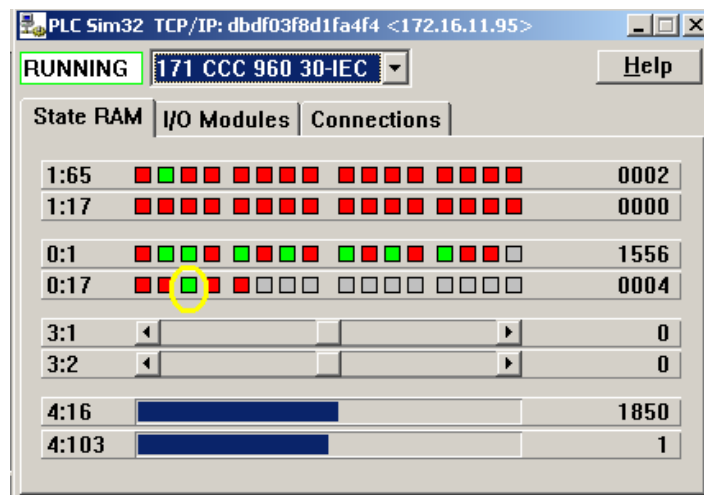
Figura 6.11 Comprobación del cumplimiento del caso 1 y correcta recomendación del sistema #2.

Como se observa, el circuito recomendado es el 4. Prensas 1 y 5. En este caso, el operador puede avisar a la sección donde se ubican estas prensas para que el operador externo tome las previsiones necesarias y se prepare para el cambio de fuente del equipo. Posteriormente el turbinero apaga el circuito para que el operador externo descargue los motores y el turbinero por último ejecuta la transferencia y el operador externo vuelve a cargar gradualmente el equipo transferido. Estas acciones se ilustran en las figuras 6.12 a 6.16:



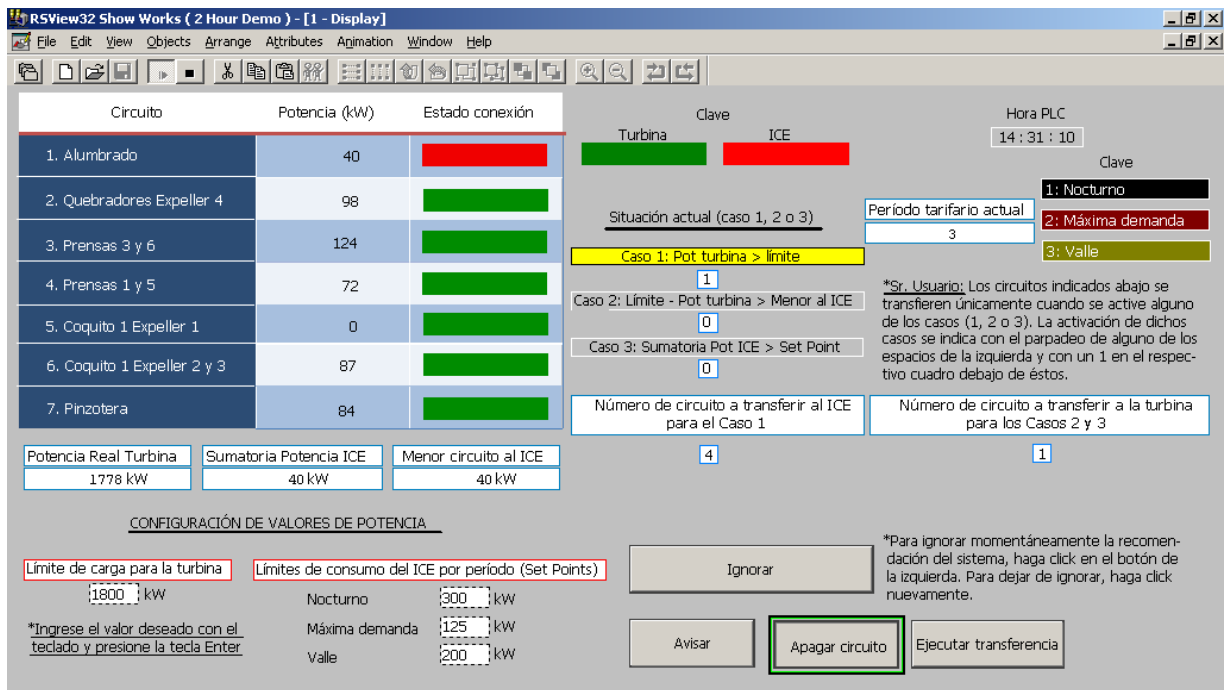
RSView32.

Figura 6.12 El operador presiona el botón “Avisar” para alertar al operador del circuito 5 sobre la transferencia de éste al ICE.



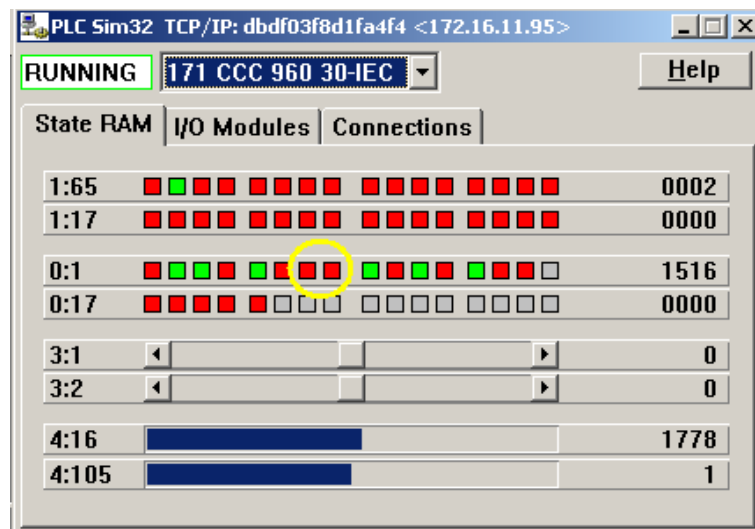
Concept.

Figura 6.13 Comprobación de la activación de la alerta de la sección donde se encuentran las prensas 1 y 5.



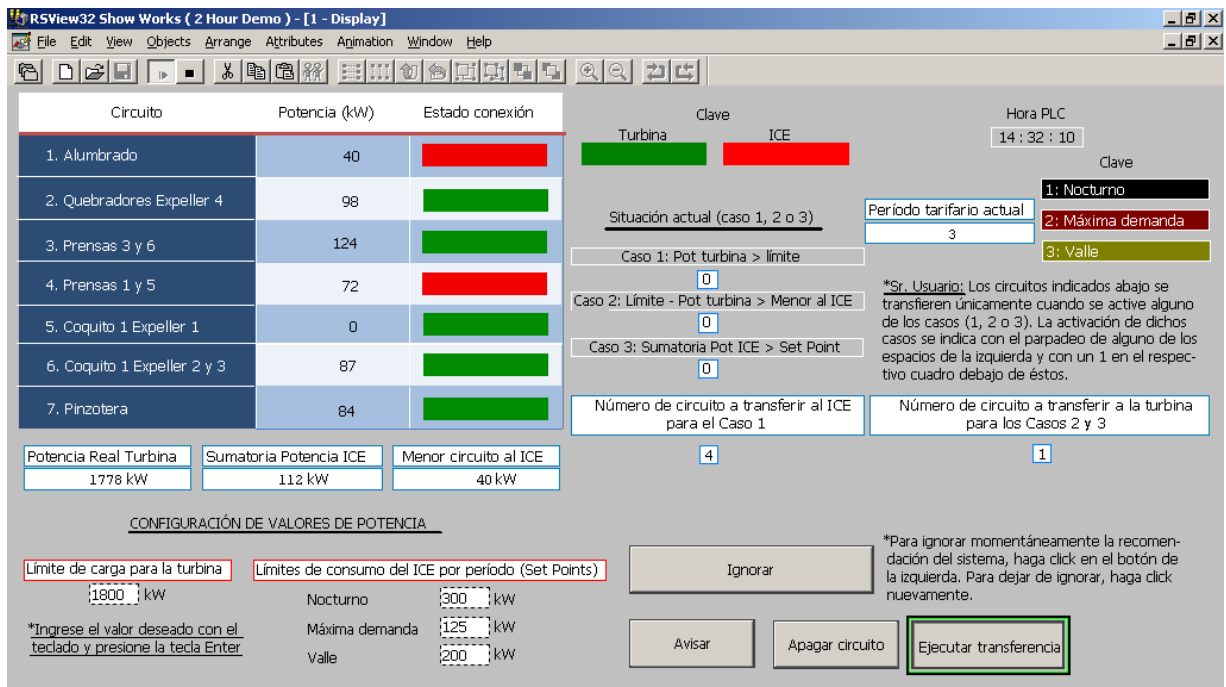
RSView32.

Figura 6.14 El operador presiona el botón “Apagar circuito” disminuyéndose la potencia consumida del generador.



Concept.

Figura 6.15 Comprobación de la desactivación de los contactores del circuito 4 debido a la ejecución del comando “Apagar circuito”.

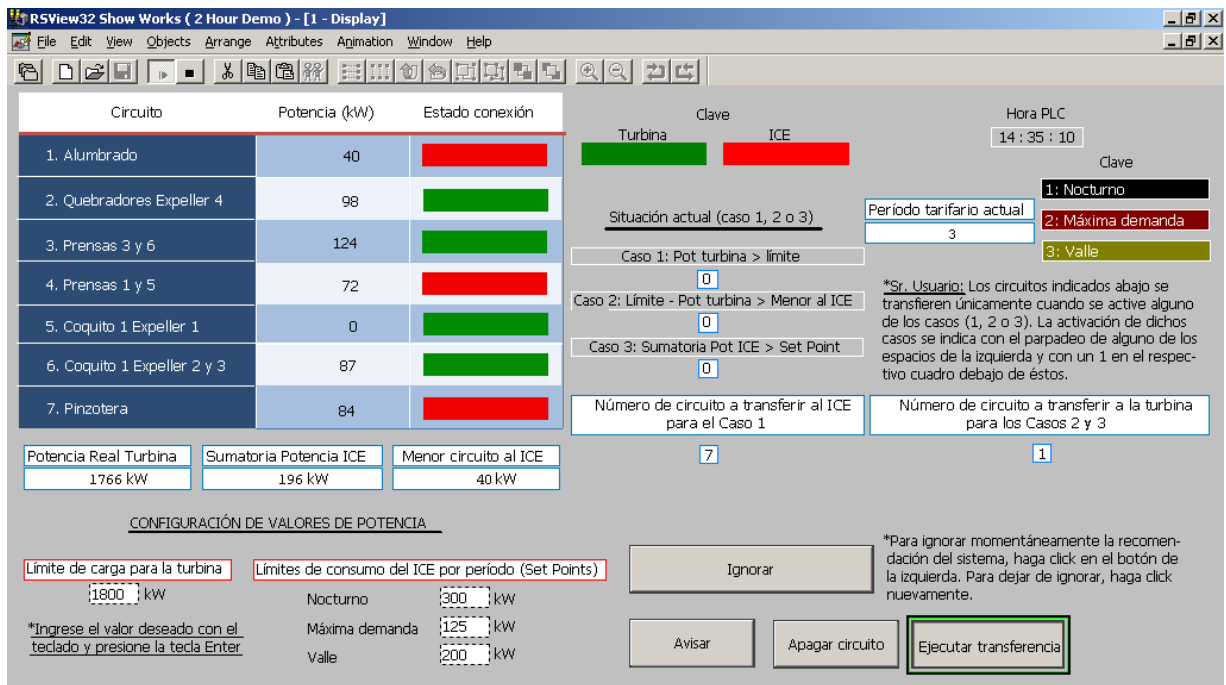


RSView32.

Figura 6.16 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la segunda transferencia.

Como se observa, después de todo el proceso seguido para transferir el circuito 4 al ICE, se muestran en la pantalla los valores esperados: al consumo anterior del generador se le restó la potencia del circuito 4 ya que fue transferida al ICE; cambió el estado de conexión del circuito 4 al ICE; se actualizó la sumatoria de potencia consumida del ICE a la suma de la potencia de los dos circuitos transferidos hasta el momento; el menor consumo de potencia del ICE por alguno de los circuitos conectados a esta fuente se mantuvo en 40kW debido a que el primer circuito transferido consume menos potencia que este último circuito transferido.

El proceso de transferencia por caso 1 se repitió una vez más. En este caso, la recomendación del sistema fue transferir el circuito 7, tal y como se esperaba ya que este presenta el menor consumo de los circuitos restantes conectados al generador. El proceso de transferencia del circuito 7 fue similar al descrito anteriormente para el circuito 4 por lo que no se incluye; en la figura 6.17 se presenta el reporte en la pantalla luego de haber realizado esta transferencia:



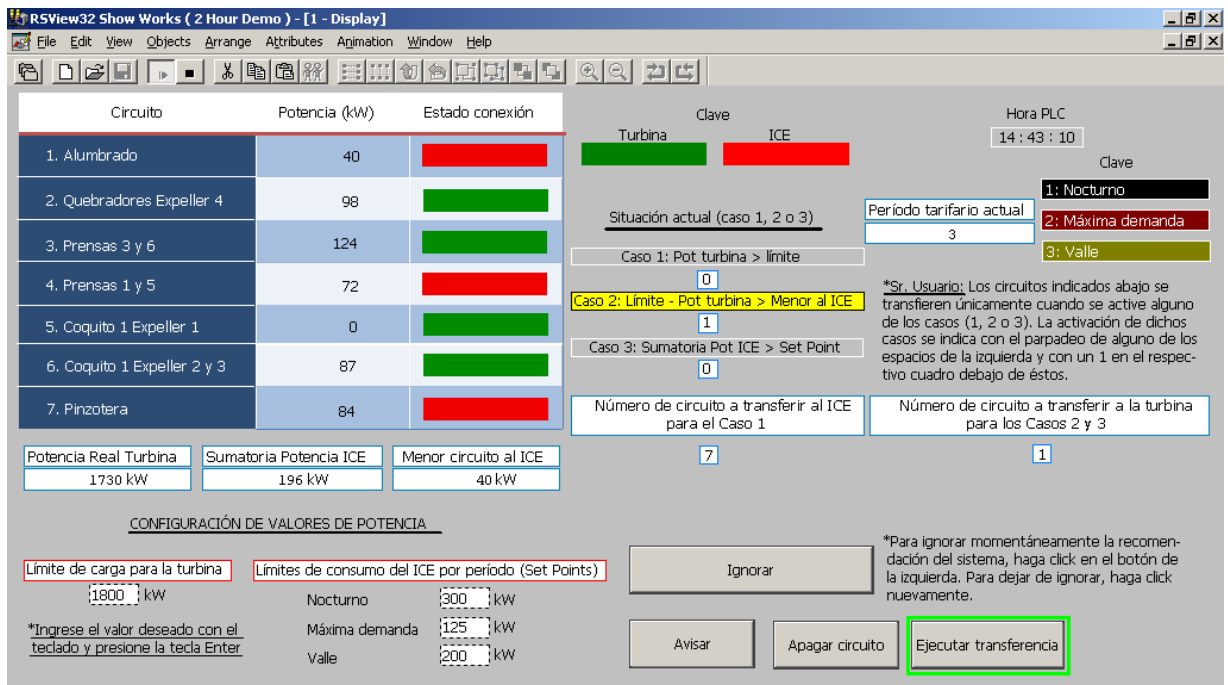
RSView32.

Figura 6.17 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la tercer transferencia.

Como se observa, en este momento la sumatoria de potencia del ICE es la suma de la potencia consumida por los tres circuitos transferidos hasta el momento, tal y como se esperaba.

La simulación continúa suponiendo que el consumo del generador baja, cumpliéndose con la condición del caso 2. La disminución de la potencia consumida del generador puede ser a causa de la detención de alguna máquina en el proceso de la planta.

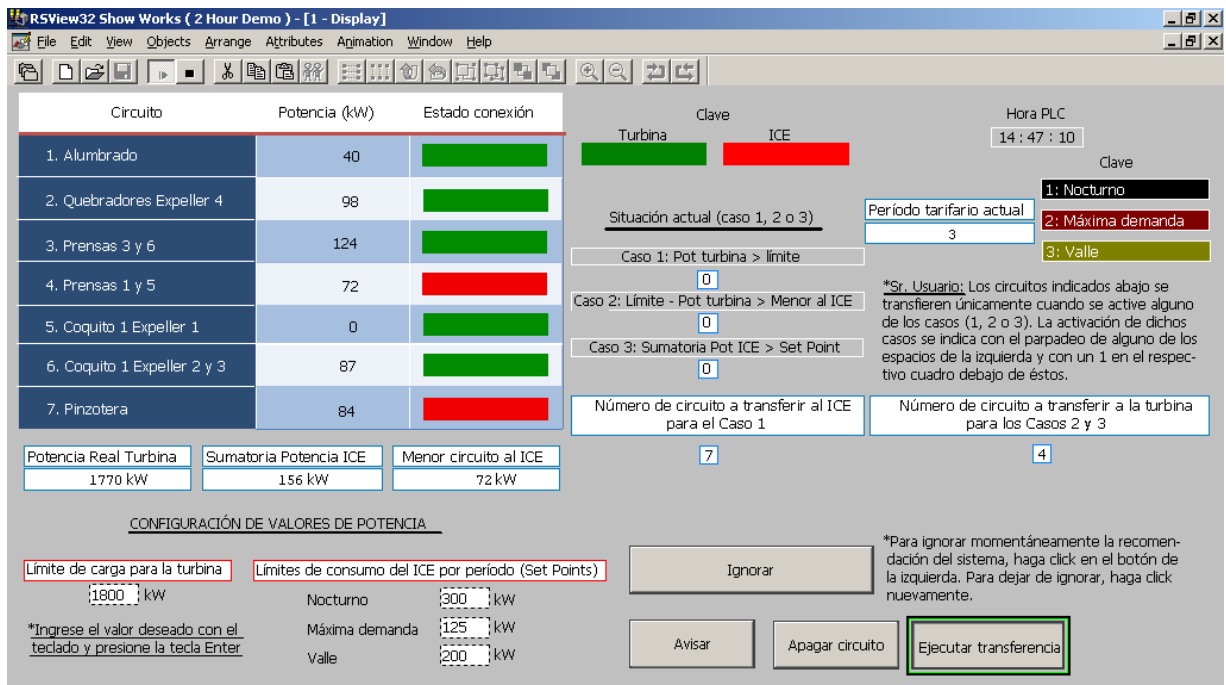
Al disminuir la potencia del generador hasta una cantidad que cumpla con la condición del caso 2, el sistema debe recomendar la realización de una transferencia en hacia el generador. En específico, el sistema debe recomendar al operador retornar al generador el circuito conectado al ICE con el menor consumo de potencia, es decir, el circuito 1. En la figura 6.18 se muestra el comportamiento obtenido en este caso:



RSView32.

Figura 6.18 Comprobación de la activación del caso 2 y la correcta recomendación del sistema.

Una vez ejecutada la transferencia recomendada por el sistema, la potencia conectada al generador debía incrementar debido a la transferencia realizada, mientras que la potencia conectada al ICE debía disminuir. Este accionar del sistema se corrobora en la figura 6.19:

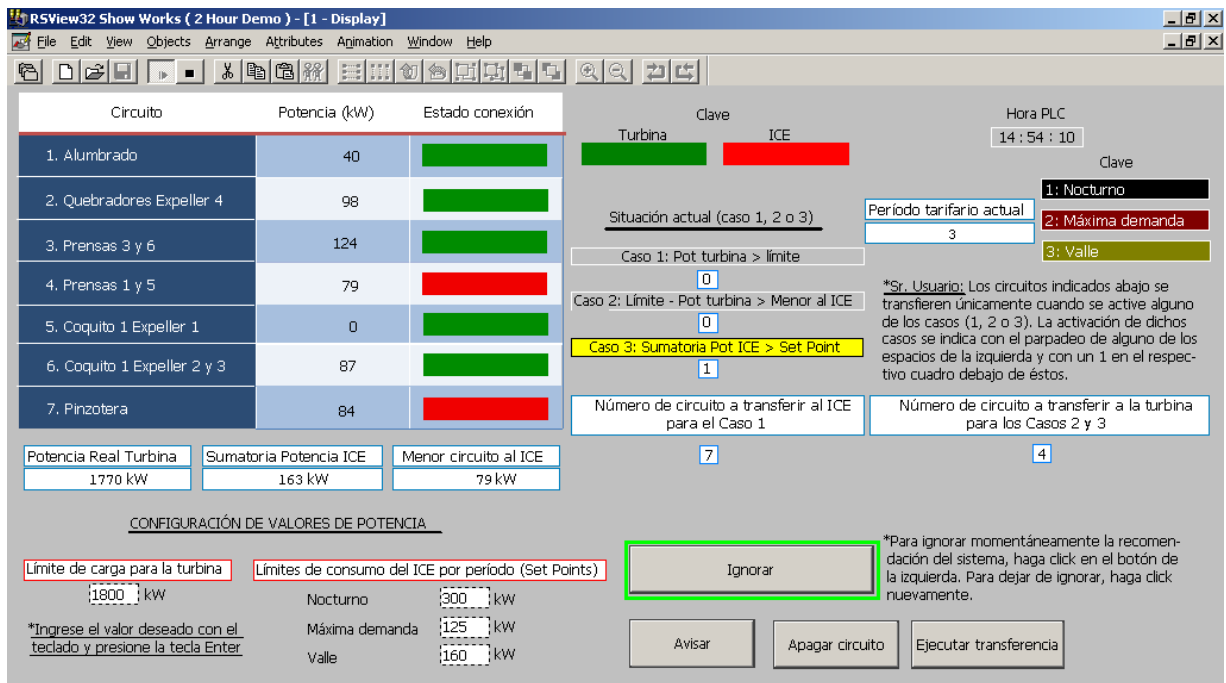


RSView32.

Figura 6.19 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la cuarta transferencia.

Como se observa, al retornar el circuito 1 al generador se actualiza el estado de conexión de este circuito, además de que el valor de potencia del menor circuito conectado al ICE pasó a ser el del circuito 4, tal y como se esperaba.

Para la simulación del caso 3, se modificó el límite de consumo de potencia del ICE en el período actual (Valle) de 200kW a 160kW, así como el valor medido en el circuito 4 de 72kW a 79kW. Estas modificaciones debían hacer que se cumpliera la condición del caso 3 y el sistema debía recomendar el retorno al generador del circuito 4 ya que éste presentaba el menor consumo de los 2 circuitos disponibles para el retorno. Estas acciones se ilustran en la figura 6.20:

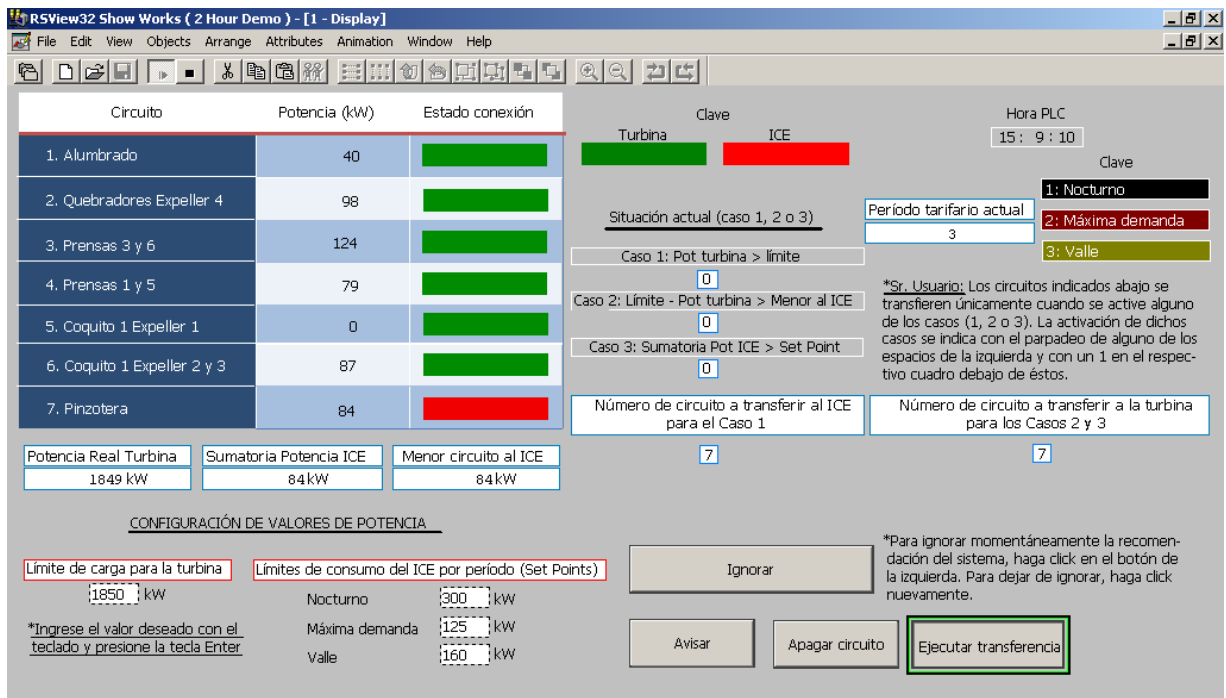


RSView32.

Figura 6.20 Modificación de los valores para el cumplimiento del caso 3 y comprobación de la correcta recomendación del sistema.

Antes de retornar el circuito 4 al generador, el operador debía modificar el límite de carga del generador para que no se cayera en el caso 1 nuevamente, por lo que se varió este límite a 1850kW previendo que el retorno del circuito al generador no hiciera que se sobrepasara este límite.

Realizada esta modificación, el sistema asistió al operador en la transferencia de este circuito y actualizó los valores de la pantalla. En la figura 6.21 se muestra el funcionamiento esperado en este caso:



RSView32.

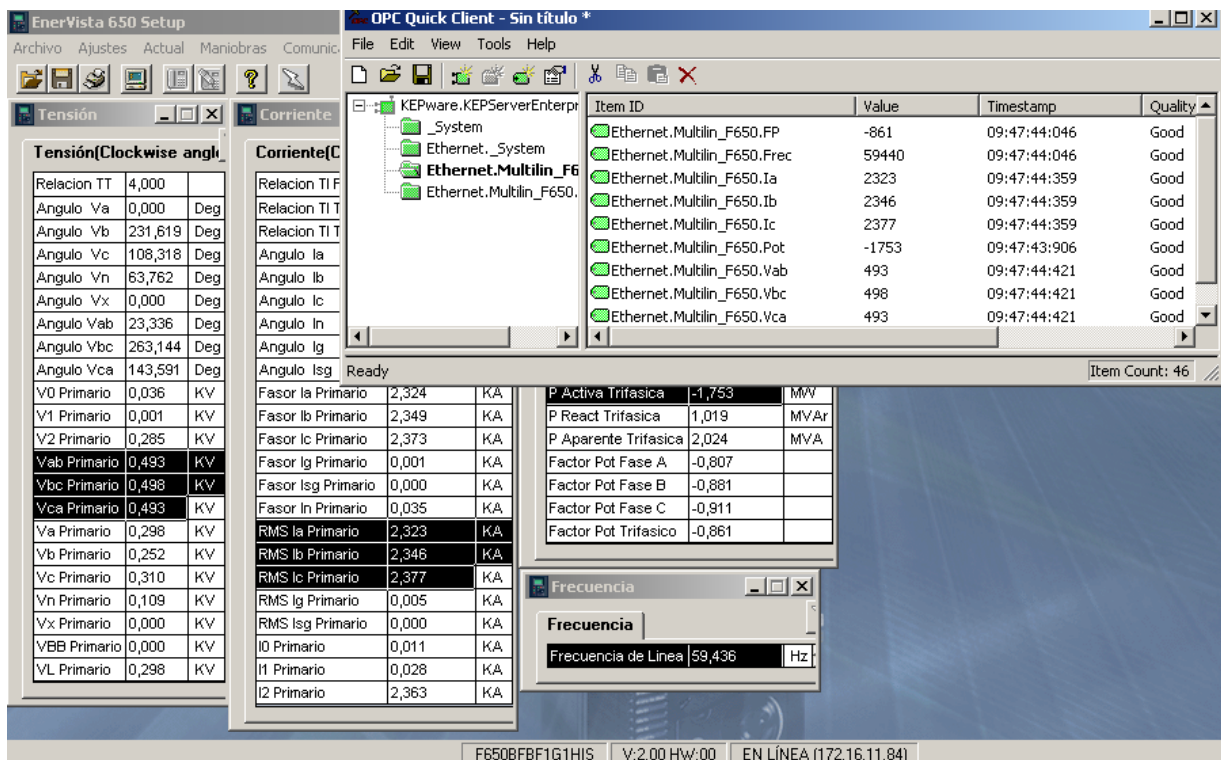
Figura 6.21 Comprobación de la actualización de las variables una vez realizada la quinta transferencia.

Como se observa, al realizar la transferencia recomendada se obtuvieron los valores esperados en la pantalla.

De esta manera se comprobó el correcto funcionamiento de la lógica programada en el PLC, así como el funcionamiento de la aplicación HMI diseñada y la configuración del servidor OPC. Además se comprobó la correcta comunicación entre estos módulos.

Por último se probó la comunicación del servidor OPC con el Multilin F650 instalado en la planta. La comunicación con los medidores EPM-7000 no se llevó a cabo debido a que no se contó con los dispositivos.

Para la corroboración de la comunicación del servidor OPC con el Multilin F650 se utilizó un cliente del servidor OPC creado y se compararon los valores obtenidos para los “tags” configurados con los valores reportados por el software del Multilin F650 llamado Enervista. En la figura 6.22 se presenta el resultado de esta prueba:



Energista y KEPserver Enterprise.

Figura 6.22 Comprobación de la comunicación entre el servidor OPC y el Multilin F650.

Como se observa en la figura anterior, los valores obtenidos del cliente del servidor OPC configurado son iguales a los valores reportados por el Multilin F650 en su herramienta de monitorización Energista. El resultado favorable de esta prueba garantiza el correcto funcionamiento a nivel de comunicación del sistema diseñado. El hecho de no poder contar con los EPM-7000 hizo imposible probar la comunicación con éstos, sin embargo no debería existir ningún problema en cuanto la comunicación se llevaría a cabo con el mismo protocolo utilizado en la prueba realizada. El acceso a los datos de dispositivos Modbus se puede garantizar con una correcta configuración de las rutinas de comunicación con éstos dispositivos, de manera que si la configuración realizada para leer datos del Multilin F650 funcionó correctamente, no habrá problema accediendo a los datos de los medidores ya que éstos son también dispositivos Modbus y las rutinas de comunicación con éstos se hizo similar a la del Multilin F650.

7 Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. La simulación del sistema diseñado en condiciones controladas presentó el comportamiento esperado en cada escenario.
2. Se diseñó un sistema de medición de la potencia consumida por cada circuito de cargas transferible. Este sistema presentó una precisión de 0.2% y se acopló a la red eléctrica de la planta, así como a la red de datos del sistema. El tiempo de escaneo de los datos medidos fue de 100 ms.
3. Se configuró una rutina de comunicación con el Multilin F650 para la adquisición de la potencia generada, obteniéndose un porcentaje de error menor al 1% en el dato de frecuencia.
4. Se implementó y simuló el funcionamiento de una HMI mediante la cual el usuario pudo ingresar los límites de potencia deseados y se desplegaron los valores medidos y demás variables involucradas en el proceso de transferencia de cargas.
5. Se llevó a cabo la configuración de la comunicación entre el servidor OPC y el PLC y el Multilin F650, obteniéndose el funcionamiento esperado.
6. Se confeccionó la documentación del proyecto para la empresa, además se obtuvieron los archivos de programación desarrollados para su entrega a la misma.

7. El resultado obtenido de la simulación del sistema diseñado, cerciora la optimización el proceso de transferencia de cargas tal y como se planteó en la meta del proyecto. Sin embargo, la limitación del proyecto fue que éste no se puso en marcha por cuestiones de presupuesto.

7.2 Recomendaciones

1. Al momento de instalar el sistema diseñado en este proyecto, se recomienda proteger la alimentación de los dispositivos de control (PLC y PC con HMI) con un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).
2. De contar con el presupuesto, se recomienda incluir relés de sincronismo en las transferencias. Esto permitirá realizar las transferencias de forma instantánea y sin corte en la alimentación de los equipos por transferir, evitando el proceso de avisar al operador externo, descarga de los motores, cambio en la fuente y carga gradual de los motores nuevamente.
3. Se recomienda incluir como funcionalidad adicional el control del factor de potencia para evitar sanciones del ICE. Para esto se pueden utilizar los recursos que quedaron disponibles en el PLC, como lo son la memoria y entradas y salidas.
4. Integrar más sectores a la red de monitorización de la planta y hacer un SCADA general de la planta Coquito y Fraccionamiento que sirva para la supervisión de los altos mandos; con control sobre algunas etapas como Esterilización (que posee actualmente un panel de control) y Turbinas (manejo de las transferencias diseñado en este proyecto).
5. Para la adquisición de nuevos equipos de monitorización y control se debe procurar que éstos cumplan con el protocolo Modbus TCP. Esto para facilitar la integración a la red actual de nuevos sistemas de automatización en distintas etapas del proceso productivo, en contraste con lo que sucedería si los dispositivos adquiridos poseen un protocolo propietario.

8 Bibliografía

- [1] Chapman, Stephen. *Máquinas eléctricas*. Cuarta edición. McGraw-Hill. México, 2005.
- [2] Edwards Signaling. *AdaptaBeacon Strobes: 104ST Series* [en línea]. Estados Unidos, 2004. Disponible en: http://www.alliedelec.com/Images/Products/Datasheets/BM/EDWARDS_SIGNALING_AND_SECURITY/267-1056.PDF. [Consulta: 14 julio 2010].
- [3] ElectroIndustries/ GaugeTech. *Shark 100/100T Installation and operation manual* [en línea]. Estados Unidos, 2008. Disponible en: http://www.electroind.com/pdf/shark_manual.pdf. [Consulta: 25 febrero 2010].
- [4] Espurz, Olga. *Las turbinas* [en línea]. Disponible en: http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/tecnologia/decargar_las-turbinas.pdf. [Consulta: 13 abril 2010].
- [5] GE Multilin. *F650 Digital bay controller Instruction manual* [en línea]. Canadá, 2005. Disponible en: <http://pm.geindustrial.com/viewprod.asp?Model=GEK-106310>. [Consulta: 25 enero 2010].
- [6] *Generador elemental de corriente alterna* [en línea]. Disponible en: <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/generadoralterna.html>. [Consulta: 5 abril 2010].
- [7] Hsiang Cheng. *Power meter EPM 7000 Instruction manual*. Taiwan, 2005. Obtenido vía correo electrónico por parte del fabricante.
- [8] INACAP. *Arquitectura PLC Modicon TSX Momentum* [en línea]. 2002. Disponible en: <http://www.cadfamilly.com/Download.asp?ID=228814>. [Consulta: 17 febrero 2010].
- [9] Instituto Costarricense de Electricidad. *Tarifas para el servicio de distribución* [en línea]. Disponible en: http://www.grupoice.com/esp/ele/docum/serv_dist_10.html. [Consulta: 26 abril 2010].
- [10] Kamble, S. Rao M, V. Jain, S. *OPC Connectivity to Remote Monitoring & Control* [en línea]. India, 2004. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.120.1550&rep=rep1&type=pdf>. [Consulta: 9 marzo 2010].

- [11] Lammert Bies. *Modbus interface tutorial* [en línea]. Disponible en: <http://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html>. [Consulta: 10 febrero 2010].
- [12] López, Germán. *Principio de funcionamiento de las turbinas* [en línea]. Disponible en: http://www.uamerica.edu.co/tutorial/1intro_text_1_2.htm. [Consulta: 10 abril 2010].
- [13] Luna, Christian. *Transferencia y sincronización automática de generadores de emergencia en instalaciones industriales* [en línea]. Guatemala, 2006. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7583.pdf. [Consulta: 15 abril 2010].
- [14] Rockwell Automation. *RSView32: Getting results guide* [en línea]. 2007. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/vw32-gr001_-en-e.pdf. [Consulta: 15 marzo 2010].
- [15] Sandoval, Rodrigo. *Búsqueda y ordenamiento* [en línea]. Chile. Disponible en: <http://www2.ing.puc.cl/~iic11026/materia/cap12.pdf>. [Consulta: 3 mayo 2010].
- [16] Schneider Electric Industries. *Human/Machine interfaces catalogue* [en línea]. 2007. Disponible en: <http://www.schneider-electric.ae/documents/hmiscada/hmi/hmi.pdf?q=hmiscada>. [Consulta: 20 febrero 2010].
- [17] Schneider Electric Industries. *ConneXium Ethernet Gateway TSXETG100 User's guide* [en línea]. 2006. Disponible en: [http://www.global-download.schneider-electric.com/85257563005C5254/all/C1256EDE0038AFB2C125712600583584/\\$File/63230-319-211a1.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/85257563005C5254/all/C1256EDE0038AFB2C125712600583584/$File/63230-319-211a1.pdf). [Consulta: 27 abril 2010].
- [18] Schneider Electric Industries. *Momentum M1 Processor adapter and Option adapter User guide* [en línea]. 2005. Disponible en: <http://www.alamedaelectric.com/Modicon%20Documents/PLC%20Momentum%20PLC%20Processor%20&%20Option%20Adapter%20Guide%20v4.0.pdf>. [Consulta: 18 febrero 2010].
- [19] Schneider Automation. *Momentum automation platform catalogue* [en línea]. 2002. Disponible en: <http://www.schneider-electric.cn/export-edms/offer-presentation/documents/060417143940993.pdf>. [Consulta: 1 febrero 2010].
- [20] SENA. *Introduction to MODBUS: technical tutorial* [en línea]. 2002. Disponible en: http://www.sena.com/download/tutorial/tech_Modbus_v1r0c0.pdf. [Consulta: 10 febrero 2010].

- [21] Square D. *PowerLogic Power Meter Class 3020 Instruction bulletin* [en línea]. Estados Unidos, 1998. Disponible en:
<http://www.alamedaelectric.com/Modicon%20Documents/Powerlogic%20Power%20Meter%20600%20User%20Manual.pdf>. [Consulta: 20 febrero 2010].
- [22] Tknika. *OPC: Conceptos* [en línea]. Disponible en:
http://kaioa.tknika.net/sections/tecnologias -- tecno/automatizacion -- au/industrial_ethernet/ikastaroak/ethernet/omron/downloadFile/attachedFile_6_f0/Tknika_Actividad_6 OPC_Conceptos.ppt?nocache=1180423121.9. [Consulta: 10 marzo 2010].
- [23] Universitat Jaume I. *Turbina de vapor* [en línea]. Disponible en:
<http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=3&codigo=59&fichero=1083858240359>. [Consulta: 10 abril 2010].
- [24] Wikipedia. *Programmable Logic Controller* [en línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller. [Consulta: 2 febrero 2010].
- [25] Wikipedia. *Ley de Lenz* [en línea]. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Lenz. [Consulta: 6 abril 2010].
- [26] Wikipedia. *Blondel's theorem* [en línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Blondel's_theorem. [Consulta: 22 febrero 2010].
- [27] Wikipedia. *Quicksort* [en línea]. Disponible en:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Quicksort>. [Consulta: 3 mayo 2010].
- [28] Wikipedia. *Ordenamiento de burbuja* [en línea]. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Ordenamiento_de_burbuja. [Consulta: 3 mayo 2010].
- [29] Wikipedia. *Selection sort* [en línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Selection_sort. [Consulta: 3 mayo 2010].
- [30] Wikipedia. *Insertion sort* [en línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Insertion_sort. [Consulta: 3 mayo 2010].
- [31] Wikipedia. *Ordenamiento por inserción* [en línea]. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Ordenamiento_por_inserci%C3%B3n. [Consulta: 4 mayo 2010].
- [32] Wikipedia. *IEC 61131-3* [en línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3. [Consulta: 26 febrero 2010].

9 Apéndices

9.1 Apéndice A.1 Glosario

Cliente OPC: Dispositivo o aplicación que solicita datos provenientes de un servidor OPC.

Contactor: Dispositivo electrónico que controla la conexión entre dos puntos mediante el energizado de una bobina de control.

Enclavamiento: Condición que evita la conexión simultánea de dos fuentes en paralelo.

Enervista: Software para computadora que realiza la monitorización de los datos provenientes del Multilin F650.

HMI: Interfaz humano-máquina.

Luz estroboscópica: Dispositivo que produce flashes periódicos de luz.

Modbus: Protocolo de comunicación industrial abierto utilizado en la mayoría de dispositivos de medición y control.

OPC: OLE for Process Control (Object Linking and Embedding for Process Control). En español, Enlazamiento e Incrustación de Objetos para el Control de Procesos.

Pasarela: Dispositivo electrónico que realiza la conversión de protocolos de comunicación. Permite la comunicación entre aparatos con distintos protocolos.

PLC: Programmable Logic Controller. En español, Controlador Lógico Programable.

Quick Client: Herramienta del software KEPserver Enterprise que crea un cliente OPC para probar el funcionamiento del servidor OPC.

Referencia de registro: Dirección de memoria en el mapa de registros Modbus.

Servidor OPC: Aplicación de software que permite el acceso a los datos de los dispositivos en la red, a los clientes OPC que los requieran.

Tag: Dato utilizado por servidores y clientes OPC, así como por aplicaciones HMI que se encuentra enlazado con alguna variable en algún dispositivo de medición o control en la red.

Transferencia: Proceso mediante el cual se cambia la fuente de alimentación de un circuito de cargas.

9.2 Apéndice A.2 Variables utilizadas en la programación del PLC

En las siguientes figuras se presenta el listado de variables utilizadas en el programa diseñado para el PLC y desarrollado en Concept. Las figuras muestran también el tipo de variable y su dirección en la memoria del PLC.

| | Exp | Variable Name | Data Type | Address | InitValue | Used | Comment |
|----|-----|---------------|-----------|---------|-----------|------|---------|
| 1 | | Co1_TF1 | BOOL | 000001 | | 1 | |
| 2 | | Co2_TF1 | BOOL | 000002 | | 1 | |
| 3 | | Co1_TF2 | BOOL | 000003 | | 1 | |
| 4 | | Co2_TF2 | BOOL | 000004 | | 1 | |
| 5 | | Co1_TF3 | BOOL | 000005 | | 1 | |
| 6 | | Co2_TF3 | BOOL | 000006 | | 1 | |
| 7 | | Co1_TF4 | BOOL | 000007 | | 1 | |
| 8 | | Co2_TF4 | BOOL | 000008 | | 1 | |
| 9 | | Co1_TF5 | BOOL | 000009 | | 1 | |
| 10 | | Co2_TF5 | BOOL | 000010 | | 1 | |
| 11 | | Co1_TF6 | BOOL | 000011 | | 1 | |
| 12 | | Co2_TF6 | BOOL | 000012 | | 1 | |
| 13 | | Co1_TF7 | BOOL | 000013 | | 1 | |
| 14 | | Co2_TF7 | BOOL | 000014 | | 1 | |
| 15 | | alerta_turb | BOOL | 000015 | | 6 | |
| 16 | | alarma_2 | BOOL | 000017 | | 0 | |
| 17 | | alarma_3 | BOOL | 000018 | | 0 | |
| 18 | | alarma_4 | BOOL | 000019 | | 0 | |
| 19 | | alarma_5 | BOOL | 000020 | | 0 | |
| 20 | | alarma_6 | BOOL | 000021 | | 0 | |
| 21 | | resetear | BOOL | 100065 | | 1 | |
| 22 | | modo | BOOL | 100066 | | 1 | |
| 23 | | hora_act | INT | 400006 | | 9 | RS |
| 24 | | min_act | INT | 400007 | | 2 | RS |
| 25 | | seg_act | INT | 400008 | | 0 | RS |
| 26 | | periodo_act | INT | 400009 | 0 | 8 | RS |
| 27 | | menor | INT | 400010 | | 22 | RS |
| 28 | | devolver | INT | 400011 | | 16 | RS |

Concept.

Figura 9.1 Primera parte del listado de variables del PLC.

Variable Editor

Type
 Variables Constants

Search/Paste
Search/Replace

| | Exp | Variable Name | Data Type | Address | InitValue | Used | Comment |
|----|-----|----------------------|-----------|---------|-----------|------|-------------------|
| 29 | | cont | INT | 400012 | 0 | 11 | RS |
| 30 | | Pot_F650 | INT | 400016 | | 2 | |
| 31 | | Pot_EPM1 | INT | 400022 | | 5 | |
| 32 | | FP_EPM1 | INT | 400023 | | 0 | |
| 33 | | Pot_EPM2 | INT | 400024 | | 5 | |
| 34 | | FP_EPM2 | INT | 400025 | | 0 | |
| 35 | | Pot_EPM3 | INT | 400026 | | 5 | |
| 36 | | FP_EPM3 | INT | 400027 | | 0 | |
| 37 | | Pot_EPM4 | INT | 400028 | | 5 | |
| 38 | | FP_EPM4 | INT | 400029 | | 0 | |
| 39 | | Pot_EPM5 | INT | 400030 | | 5 | |
| 40 | | FP_EPM5 | INT | 400031 | | 0 | |
| 41 | | Pot_EPM6 | INT | 400032 | | 5 | |
| 42 | | FP_EPM6 | INT | 400033 | | 0 | |
| 43 | | Pot_EPM7 | INT | 400034 | | 5 | |
| 44 | | FP_EPM7 | INT | 400035 | | 0 | |
| 45 | | limite_carga_turbina | INT | 400036 | | 2 | RS |
| 46 | | SP_PUNTA | INT | 400037 | | 1 | RS |
| 47 | | SP_VALLE | INT | 400038 | | 1 | RS |
| 48 | | SP_NOCT | INT | 400039 | | 1 | RS |
| 49 | | sumatoria_ICE | INT | 400101 | 0 | 17 | RS |
| 50 | | avisar_TF | INT | 400103 | | 0 | Viene de pantalla |
| 51 | | ejecutar_TF_turb | INT | 400104 | | 0 | Viene de pantalla |
| 52 | | apagar_TF_turb | INT | 400105 | | 0 | Viene de pantalla |
| 53 | | ignorar | INT | 400106 | | 0 | Viene de pantalla |
| 54 | | arr_tfs | TFS | 400110 | Set... | 1 | |
| 55 | | pos1 | INT | 400200 | | 11 | RS |
| 56 | | reg1 | INT | 400201 | | 2 | RS |

Concept.

Figura 9.2 Segunda parte del listado de variables del PLC.

Variable Editor

Type
 Variables Constants

Search/Paste
Search/Replace

| | Exp | Variable Name | Data Type | Address | InitValue | Used | Comment |
|----|-----|------------------|-----------|---------|-----------|------|---------|
| 57 | | reg2 | INT | 400202 | | 2 | RS |
| 58 | | reg3 | INT | 400203 | | 2 | RS |
| 59 | | reg4 | INT | 400204 | | 2 | RS |
| 60 | | reg5 | INT | 400205 | | 2 | RS |
| 61 | | reg6 | INT | 400206 | | 2 | RS |
| 62 | | reg7 | INT | 400207 | | 2 | RS |
| 63 | | bandera_av | INT | 400250 | | 3 | |
| 64 | | bandera_ap_caso1 | INT | 400251 | | 1 | |
| 65 | | bandera_ap_caso3 | INT | 400252 | | 1 | |
| 66 | | caso1 | INT | 400301 | | 2 | RS |
| 67 | | caso2 | INT | 400302 | | 2 | RS |
| 68 | | caso3 | INT | 400303 | | 2 | RS |
| 69 | | arr_final | potencias | | Set... | 8 | |
| 70 | | arr_ini | potencias | | Set... | 9 | |
| 71 | | bandera | BOOL | | | 3 | |
| 72 | | encontrada | BOOL | | | 3 | |
| 73 | | estado | INT | | 0 | 6 | |
| 74 | | flag | BOOL | | | 17 | |
| 75 | | i | INT | | | 5 | |
| 76 | | index | INT | | | 3 | |
| 77 | | i | INT | | | 20 | |
| 78 | | k | INT | | | 5 | |
| 79 | | q | INT | | | 3 | |
| 80 | | SP | INT | | | 4 | |
| 81 | | terminado | BOOL | | | 9 | |
| 82 | | | | | | | |
| 83 | | | | | | | |

Concept.

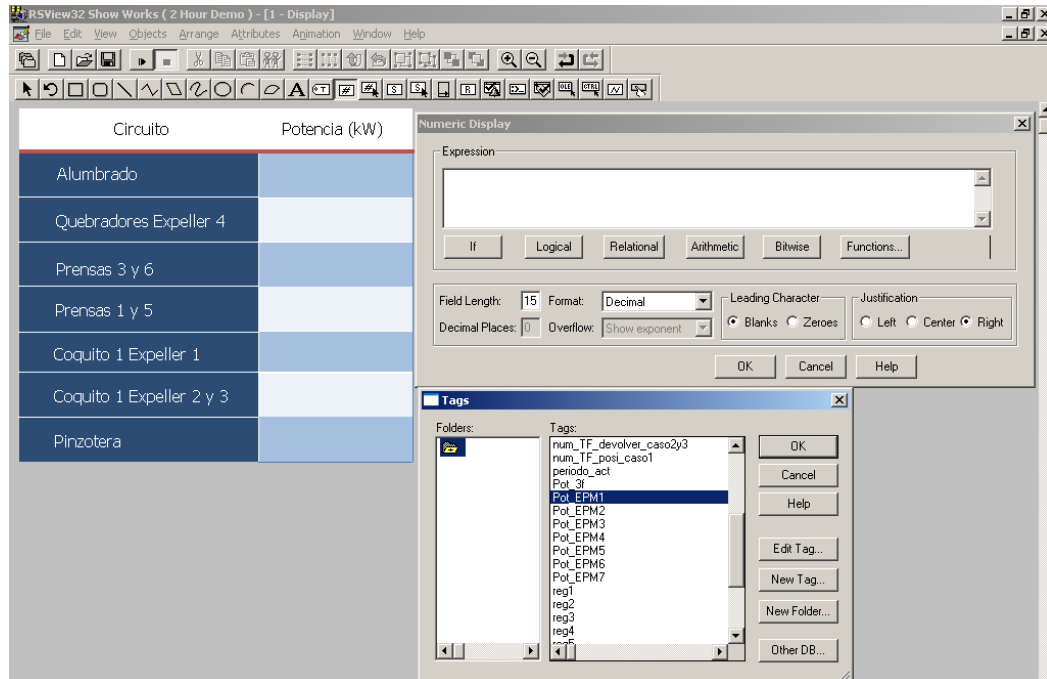
Figura 9.3 Tercera parte del listado de variables del PLC.

9.3 Apéndice A.3 Detalle del proceso de creación de la pantalla HMI

En esta sección se presenta el proceso de creación de la pantalla diseñada para la aplicación HMI en el software RSView32.

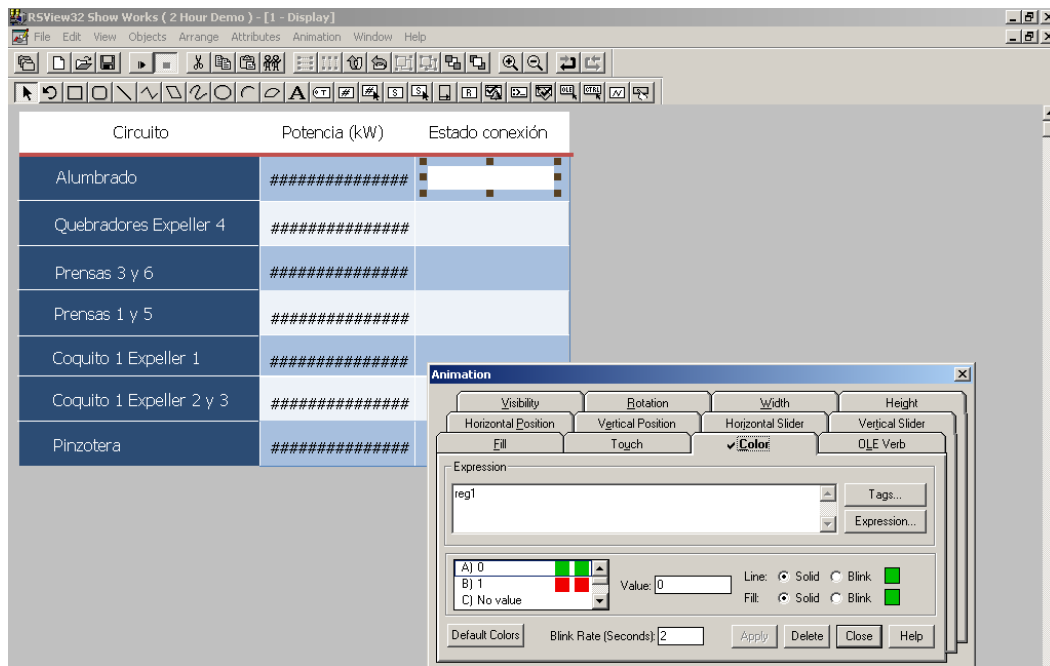
Una vez creada la *Tag Database*, se procedió a diseñar la pantalla incluyendo en ésta elementos enlazados a cada “tag”. De esta manera, se crearon los siguientes elementos: espacios para el ingreso de valores numéricos, espacios para la visualización de datos, y botones para la ejecución de las acciones del proceso de transferencia de cargas. Además se configuraron animaciones para los espacios de visualización del estado de conexión de los circuitos, así como para el cumplimiento de los casos.

En las siguientes figuras se ilustra el proceso seguido para la creación de la pantalla y la configuración de los elementos que la componen:



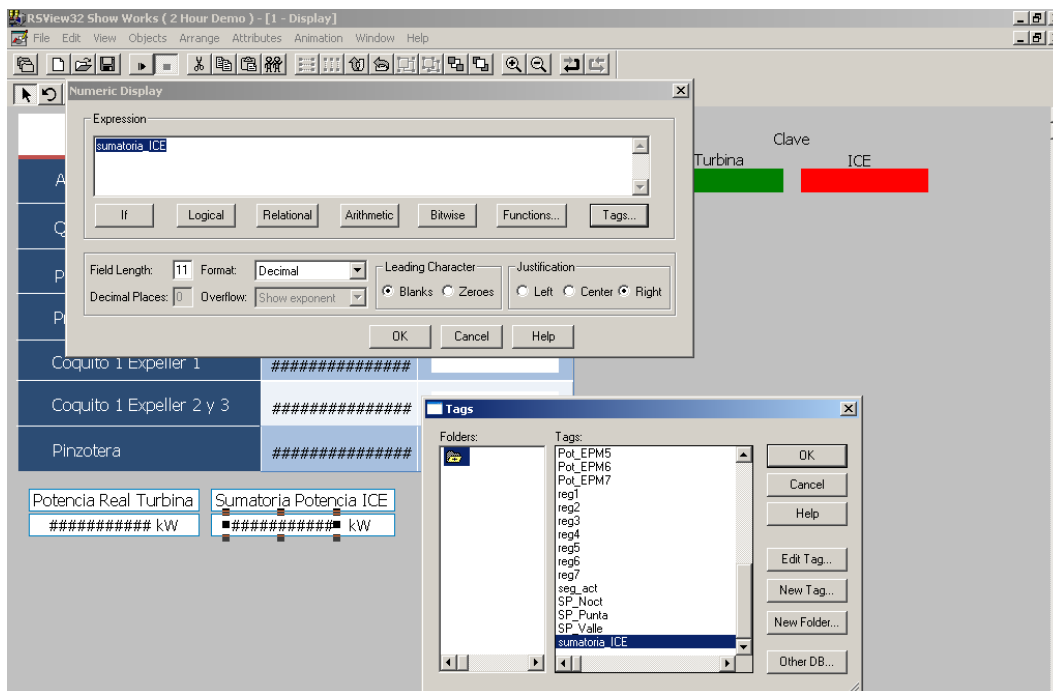
RSView32.

Figura 9.4 Creación de los espacios para la visualización de las mediciones de potencia de los EPM-7000.



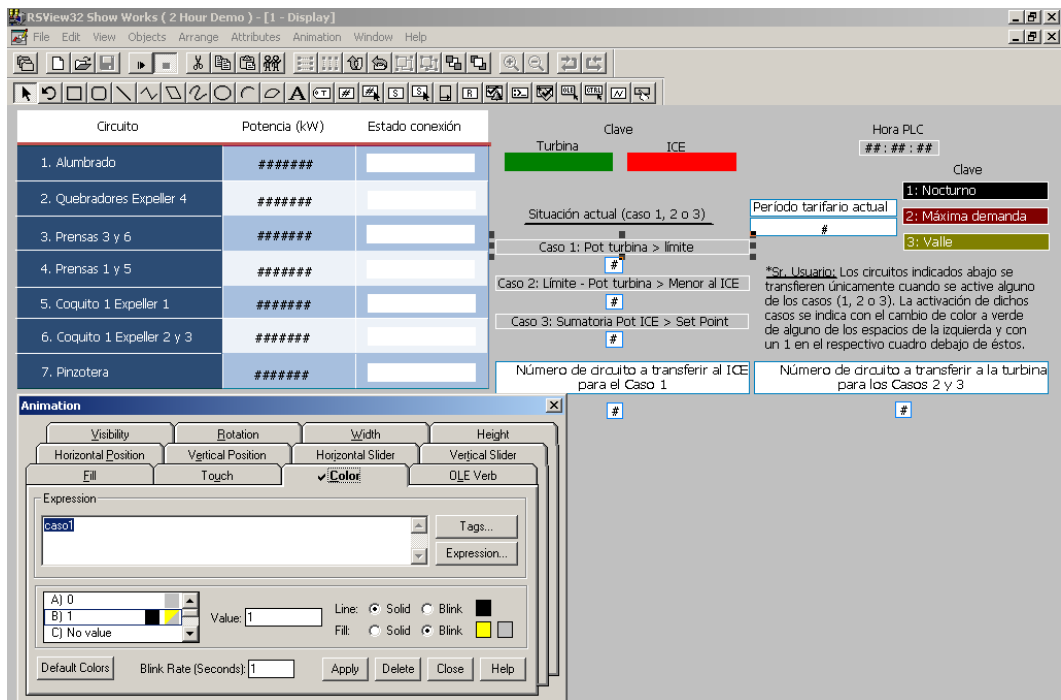
RSView32.

Figura 9.5 Configuración de la animación de los rectángulos de indicación del estado de conexión de los circuitos.



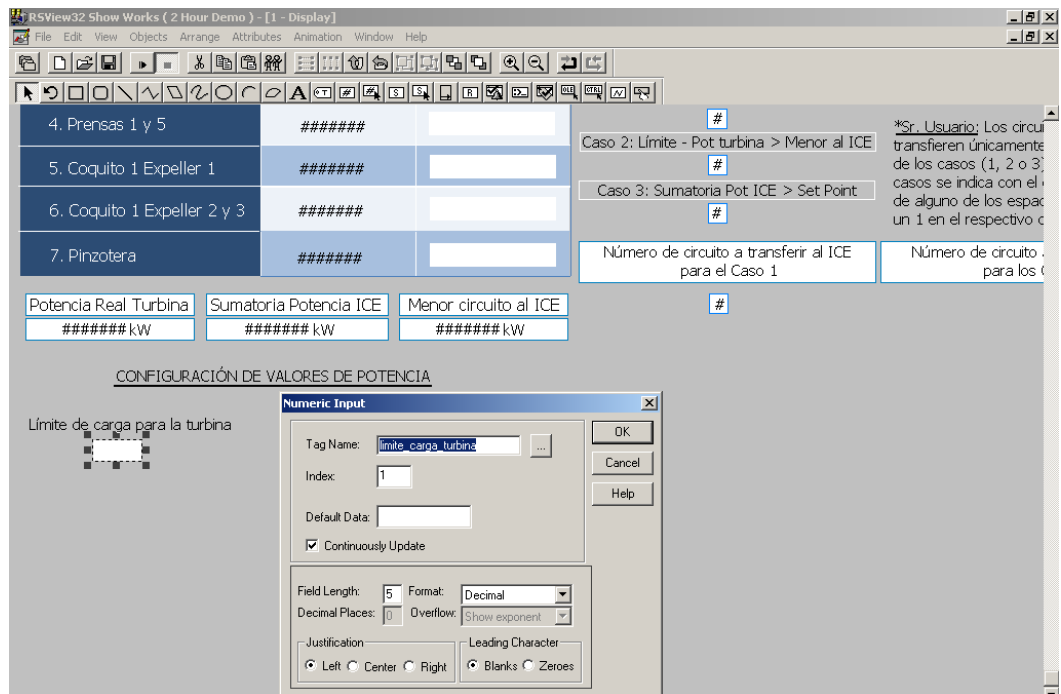
RSView32.

Figura 9.6 Creación de los espacios para la visualización de las variables calculadas por el PLC.



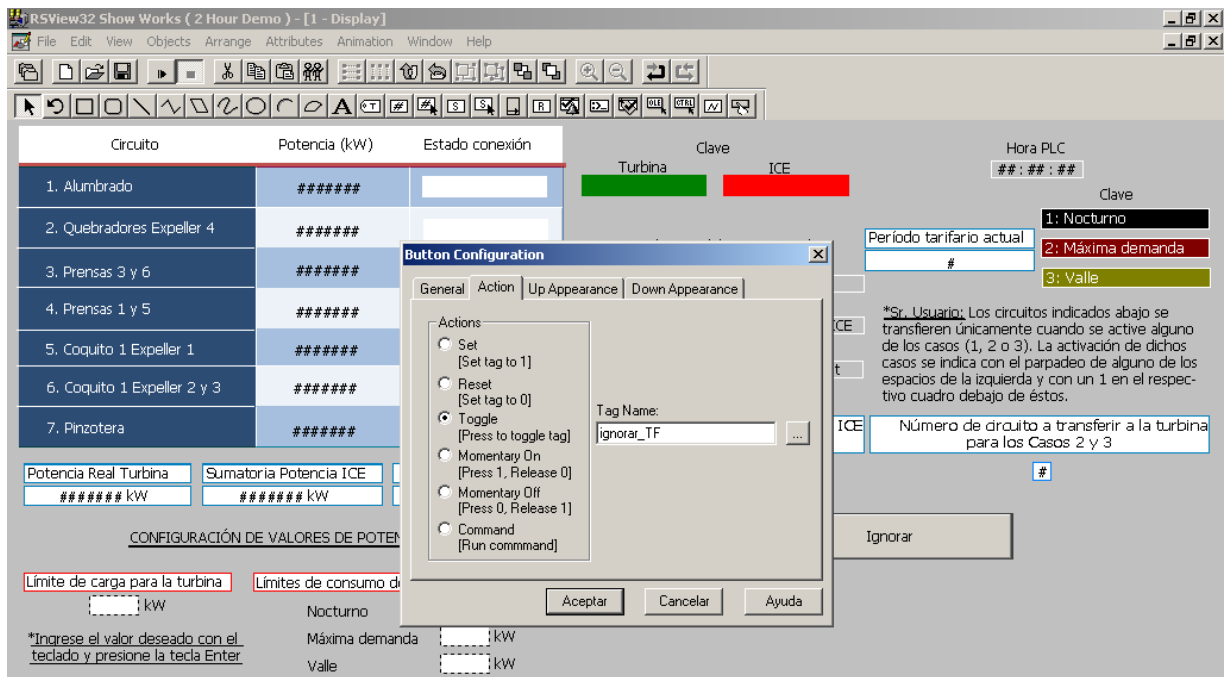
RSView32.

Figura 9.7 Configuración de la animación de los rectángulos de indicación del cumplimiento de los casos.



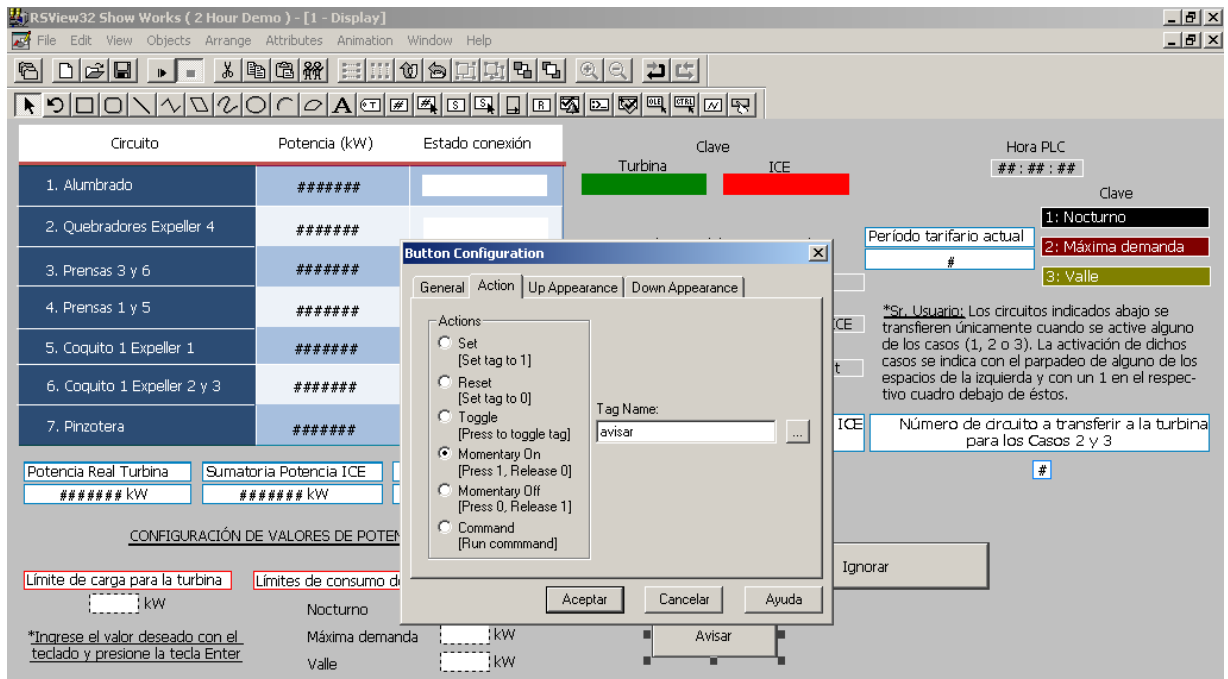
RSView32.

Figura 9.8 Creación de los espacios para el ingreso de los límites deseados por el operador.



RSView32.

Figura 9.9 Configuración del botón Ignorar.



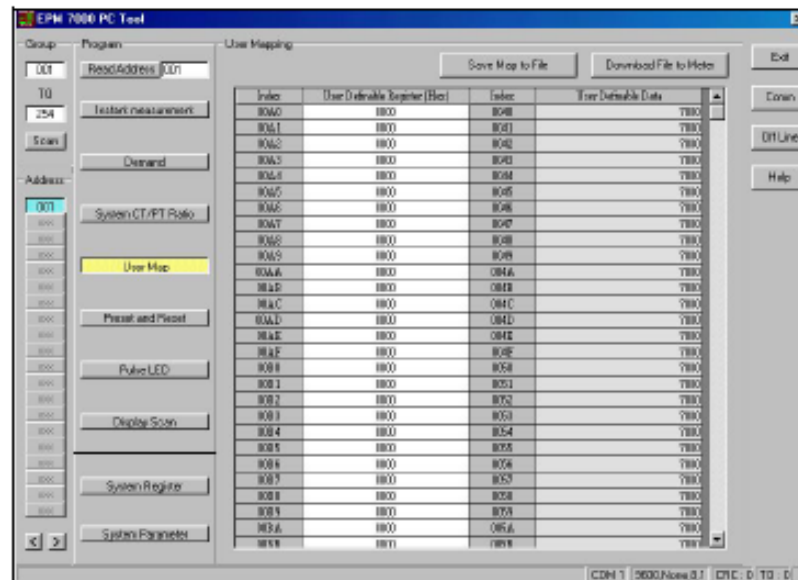
RSView32.

Figura 9.10 Configuración del botón Avisar.

10 Anexos

10.1 Anexo B.1 Configuración del mapeo de los registros del EPM-7000 usando la herramienta PCTool 7000 [7]

4.4. User Mapping



User Map : The function displays user mapping parameter settings and user mapping values.

The data stored in the meter is grouped as Setpoints and Actual Values. Setpoints can be read and written by a computer. Actual values can be read only. All Setpoints and Actual Values are stored as two byte values. Each register address is the address of a two byte value. Addresses are listed in hexadecimal.

The meter has a User Definable area and this area allows the user to remap the addresses of all Actual Values and Setpoints registers. The User Definable area has two sections:

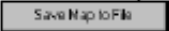
- User Definable Register (map addresses 00A0H – 00BFH): It includes 90 Actual Values or Setpoints register addresses.
- User Definable Data (map addresses 0040H – 005FH): It includes the data at addresses in the User Definable Register.

Register data that is separated in the rest of the map may be remapped to adjacent register addresses in the User Definable Data section. This is accomplished by writing to register addresses in the User Definable Register section. It allows for improved throughput of data and can eliminate the need for multiple read command sequences.

For example, if the values of Phase A Current and Phase A Power Factor are requested to be read, their addresses may be remapped as follows.

1. Write 0130H to address 00A0H (User Definable Register 0) using function code 06 (06h) or 16 (10h).
2. Write 0148H to address 00A1H (User Definable Register 1) using function code 06 (06h) or 16 (10h).

A read (function code 03 (03h) of registers 0040H (User Definable Data 0) and 0041H (User Definable Data 1) will return the Phase A Current and Phase A Power Factor.

If the user wants to backup the data in the User Definable Register section, click  button.

10.2 Anexo B.2 Configuración de los parámetros de comunicación de la pasarela TSXETG100 [17]

68290-319-211 A1
2/2006

ConneXium™ Ethernet Gateway
Setup

SETUP

To access the Setup web page links, click Setup on the ETG menu bar.

Ethernet and TCP/IP Settings

| Action | Result |
|--|---|
| 1. From the Setup page, click Ethernet & TCP/IP . | Opens the Ethernet & TCP/IP page. |
| 2. Select your frame format and media type. Contact your network administrator if you do not know. | Selects the frame format and media type. |
| 3. Enter your IP address, subnet mask, and default gateway address assigned to your ETG by your network administrator. | Enters the Ethernet parameters for the ETG. <i>NOTE: If you enter an IP address that is used by another device, you will be prompted to select a new IP address. See "Duplicate IP Address Detection" on page 6.</i> |
| 4. Click Apply . | Updates the ETG Ethernet and TCP/IP settings. |

* See Table 2 on page 6 for a list of options.

NOTE: After making changes to the Ethernet parameters and clicking **Apply**, the ETG will reboot.

Figure 2: Ethernet & TCP/IP Page

Table 2: ETG Ethernet and TCP/IP Settings

| Option | Description | Setting |
|-----------------|--|--|
| Frame Format | Used to select the format for data sent over an Ethernet connection. | Ethernet II, 802.3 SNAP Default: Ethernet II |
| Media Type | Used to define the physical Ethernet connection or media type. | <ul style="list-style-type: none"> • 10/100T Auto • 10BaseT-MD • 10BaseT-PD • 100BaseTX-MD • 100BaseTX-PD Default: 10/100T Auto |
| IP Address | Used to enter the static IP address of the ETG. | 0.0.0.0 to 255.255.255.255 Default: 192.254.0.10 |
| Subnet Mask | Used to enter the Ethernet IP subnet mask address of your network. | 0.0.0.0 to 255.255.255.255 Default: 255.255.0.0 |
| Default Gateway | Used to enter the gateway (router) IP address used for wide area network (WAN) communications. | 0.0.0.0 to 255.255.255.255 Default: 0.0.0.0 |

Serial Port

| Action | Result |
|--|--|
| 1. From the Setup page, click Serial Port. | Opens the Serial Port page. |
| 2. Select your mode, physical interface, transmission mode, baud rate, parity, and response timeout (see Table 4 on page 7). | Selects the serial port options. |
| 3. If you select Slave mode, enter the IP addresses for the remotely connected devices (see Table 4 on page 7). | Enters the IP addresses of the remote devices. |
| 4. Click Apply. | Updates the ETG Serial Port settings. |

Figure 3: Serial Port Page

Table 4: Serial Port Settings

| Option | Description | Setting |
|--|--|---|
| Mode | Used to select how the COM port on the ETG is utilized (master or slave). <i>NOTE: When the Mode is changed, the ETG reboots.</i> | Master, Slave Default: Master |
| Physical Interface | Used to select how the ETG serial port is physically wired. | RS485 4-wire, RS485 2-wire, or RS232 Default: RS485 2-wire |
| Transmission Mode | Used to select how data is transmitted over a serial connection. | Modbus RTU, Modbus ASCII Default: Modbus RTU |
| Baud Rate | Used to select the data transmission speed over a serial connection. | 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 56000*, 57600* Default: 19200 |
| Parity | Used to select if data is checked for accuracy using a parity bit. | Even, None Default: Even |
| Response Timeout | Used to select how long the ETG will wait to receive a response from a serial device. | 0.1 to 10 seconds Default: 3 seconds |
| Remote Modbus TCP/IP Connections (Slave mode only) | Used to define a list of Modbus TCP/IP addresses for the ETG to use during slave mode communications. | — |

* Available only if the physical interface and transmission mode is RS232/Modbus ASCII.

Device List

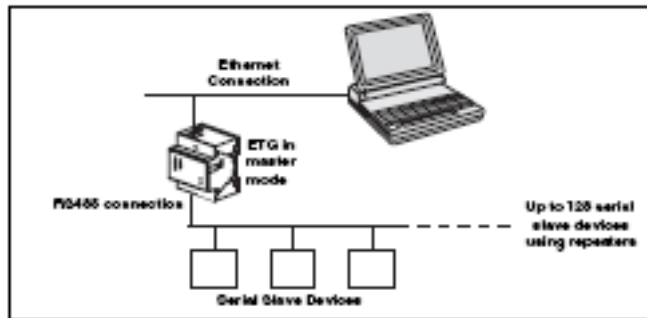
Master Mode Device List Setup

Before you begin, keep in mind the following:

For master mode usage of the COM port:

- Modbus devices do not have to be defined in the Device List, but it helps you manage your system.

Figure 4: Master Mode Topology



If you selected Master mode on the Serial Port page, follow the steps below to set up the device list:

| Action | Result |
|--|--|
| 1. From the Setup page, click Device List. | Opens the Device List page. |
| 2. Select the number of viewable devices (1 to 128), then click Apply. | Selects the number of viewable locations that can be used to define serial slave devices connected to the ETG. |
| 3. In the Local ID text box, type the local ID (address) of the serial slave device. | Enters the local address of the device. |
| 4. Repeat step 3 until all of the devices are entered. | Enters all of the connected devices. |
| 5. Click Apply. | Updates the Device List settings. |

Figure 5: Device List Page in Master Mode

The screenshot shows the 'Device List' page. At the top, there is a dropdown menu for 'Number of Viewable Devices' set to '8'. Below this is a table with a header 'Local ID' and eight rows, each containing a number from 1 to 8. At the bottom of the table is an 'Apply' button.

10.3 Anexo B.3 Hojas de datos de los principales componentes del sistema diseñado

10.3.1 B.3.1 PLC Momentum 171CCC96030 [18]

171 CCC 960 30 M1 Processor Adapter

Overview This section describes the 171 CCC 960 30 processor adapter, including key features, an illustration, and specifications.

Note: The 171CCC 960 30 units are shipped with the latest IEC exec installed.

Note: The 984LL exec used in the 171 CCC 960 30 will not operate in a 171 CCC 960 20.

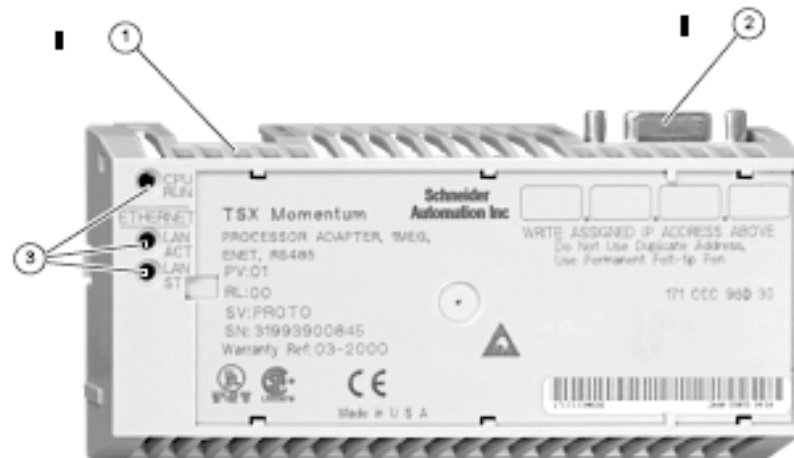
Key Features The key features of this processor adapter are

- Ethernet port
- I/O bus port
- 544K bytes of internal memory
- 50 MHz clock speed

Note: The Ethernet port connector looks like a Modbus port connector. Do not attempt to use an Ethernet adapter as a Modbus unit. Do not attempt to place a Modbus connector in an Ethernet connector.

Illustration

The connectors and LED indicators are shown in the following illustration.



Legend:

| Label | Description |
|-------|-------------------------|
| 1 | Ethernet port connector |
| 2 | I/O Bus port connector |
| 3 | LED Indicators |

LED Indicators

This processor adapter has three LED indicators, RUN, LAN ACT(IVE), and LAN ST(ATUS). Their functions are described in the table below.

| LED | Indicator Pattern | Status |
|----------|--|---|
| Start up | Both | Single flash. Indicates good health. |
| Run | Green | On continuously when the CPU has received power and is solving logic. Flashes an error pattern if the CPU is in kernel mode. (See <i>Run LED Flash Patterns and Error Codes</i> .) |
| | Off | CPU is not powered up or is not solving logic. |
| LAN ACT | Green | May be on continuously or blinking. Indicates activity on Ethernet port. |
| | Off | No activity on Ethernet port. |
| LAN ST | Green | On continuously during normal operation. |
| | | Fast blink indicates normal Ethernet initialization at power-up. |
| | | 3 flashes indicates no 10BASE-T link pulse detected. Check cable and hub. |
| | | 4 flashes indicates duplicate IP address detected. |
| | 5 flashes indicates no IP address available. | |
| Off | No valid MAC address. | |

Specifications

The following table contains specifications for the 171 CCC 960 30 Momentum M1 processor adapter.

| | |
|--|----------------------|
| Memory | |
| Internal Memory | 544K bytes |
| User Memory | 18K words 984LL Exec |
| | 200k words IEC Exec |
| Flash RAM | 1 Megabyte |
| Clock Speed | 50 MHz |
| 984LL Input and Output References | |
| Registers | 26048 |
| Discretes | 8192 0x References |
| | 8192 1x References |
| IEC Input and Output References | |
| Registers | 11200 |

| Memory | |
|----------------------------------|---|
| Discretes | 4096 0x References 4096 1x References |
| I/O Servicing | |
| Local I/O | Services all the points on any host Momentum I/O base |
| Watchdog Timeout | 335 ms |
| Logic Solve Time | See Scantime Formula for 984LL Exec, following |
| Mechanical | |
| Weight | 42.5 g (1.5 oz.) |
| Dimensions (HxDxW) | 25.9x61.02x125mm (1.01 x 2.37 x 4.86 in.) |
| Material (Enclosures/ Bezels) | Lexan |
| Operating Conditions | |
| Temperature | 0 ... 60 degrees C |
| Humidity | 5 ... 95% (noncondensing) |
| Chemical Interactions | Enclosures and bezels are made of Lexan, a polycarbonate that can be damaged by strong alkaline solutions |
| Altitude, Full Operation | 2000m (6500ft.) |
| Vibration | 10 ... 57Hz @ 0.075mm displacement amplitude 57 ... 150Hz @ 1g Ref. IEC 68-2-6 FC |
| Shock | +/-15g peak, 11ms, half sine wave Ref. IEC 68-2-27 EA |
| RFI Susceptibility/ Immunity | Meets CE mark requirements for open equipment. Open equipment should be installed in an industry-standard enclosure, with access restricted to qualified service personnel. |
| Storage Conditions | |
| Temperature | -40 ... +85 degrees C |
| Humidity | 5 ... 95% (noncondensing) |
| Safety Parameters | |
| Degree of Protection | Unintentional access (UL 508 Type 1, NEMA250 Type 1, IP20 conforming to IEC529) |
| DI-electric Strength | Ethernet is isolated from logic common 500 VDC |
| Ground Continuity | 30 A test on the exposed metal connector |
| Agency approvals | UL 508, CSA, CUL, CE; FM class1, div2 pending |

10.3.2 B.3.2 Pasarela ConneXium TSXETG100 [17]

INTRODUCTION

This manual is to be used with a ConneXium™ ETG100 with firmware version 2.0 or higher. For installation information, see the installation guide.

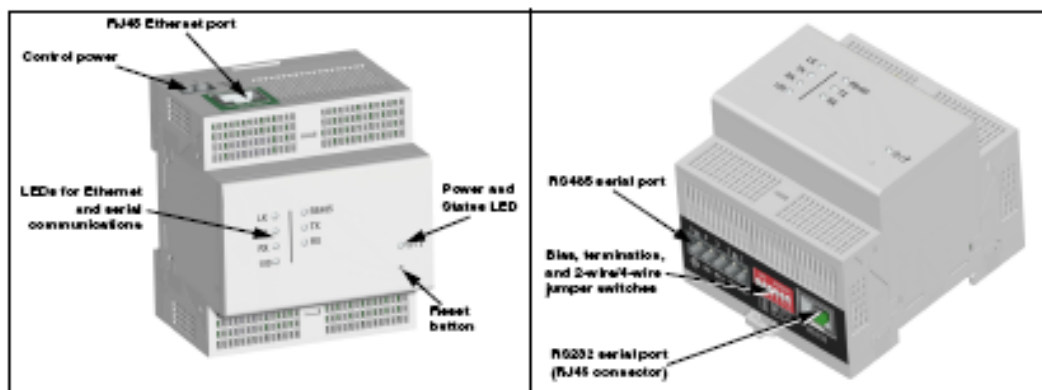
The ETG100 is a communications device that provides connectivity between Ethernet (Modbus TCP/IP) and serial line devices, allowing Modbus TCP/IP clients to access information from serial slave devices. It also allows serial master devices to access information from slave devices distributed across an Ethernet network.

Supported Ethernet Protocols

The ETG supports the following Ethernet protocols:

- **Modbus TCP/IP:** Modbus TCP/IP is a combination of the Modbus protocol, which provides master-slave communication between devices, and TCP/IP, which provides communications over an Ethernet connection. Modbus TCP/IP is used to exchange data between the ETG and other compatible Modbus TCP/IP devices via TCP port 502.
- **Hypertext Transfer Protocol (HTTP):** HTTP is a network protocol that handles the delivery of files and data on the World Wide Web. It provides web server functionality via TCP port 80. Remote configuration of the ETG and the viewing of diagnostic data is possible using a web browser.
- **File Transfer Protocol (FTP):** FTP is a network protocol that provides the ability to transfer files over the Internet from one computer to another. FTP is used to transfer firmware updates to the ETG via TCP port 21.
- **Simple Network Management Protocol (SNMP):** Based on MIB format, SNMP provides the ability to store and send identifying and diagnostic information used for network management purposes via UDP port 161.
- **Address Resolution Protocol (ARP):** ARP is used to convert IP addresses to Ethernet addresses. ARP requests are sent by the ETG to determine if its address is a duplicate IP address (see "Duplicate IP Address Detection" on page 6).

Hardware



Additional Resources

Documentation and Firmware: Go to www.telemecanique.com, select Products > Products index > Systems and architectures > ConneXium.

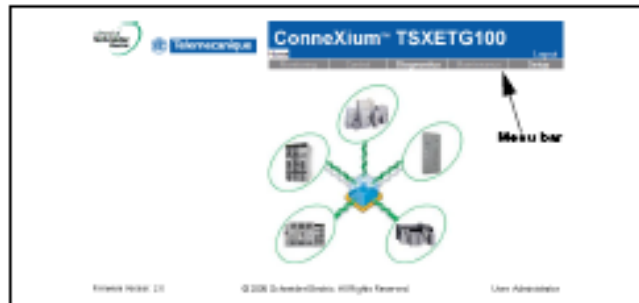
ACCESSING THE ETG OVER A NETWORK

After you set up the Ethernet parameters (see the installation guide), you can access the ETG over an Ethernet LAN using Internet Explorer 6.0 or higher.

Logging into the ETG

| Action | Result |
|---|--|
| 1. Launch Internet Explorer 6.0 or higher. | Opens Internet Explorer. |
| 2. In the Address text box, type the address of your ETG (169.254.0.10 is the default), then press Enter. | Opens the Login dialog box. |
| 3. Type your user name (Administrator is the default) and password (Gateway is the default) into the text boxes, then click OK. | Enters the user name and password, then opens the ETG home page. |
| 4. Click Setup to access the ETG setup page, or click Diagnostics to access the ETG diagnostics page. | Opens the Setup or Diagnostic pages. |

Figure 1: The ETG Home Page



Logging Out

We recommend logging out whenever you do not need access to the ETG. To log out of the ETG configuration session, click Log Out to end your session.

10.3.3 B.3.3 Medidor de variables eléctricas EPM-7000 [7]

Power Meter

EPM 7000

Introduction

About Power Meter EPM 7000

EPM 7000 power meters are conceptualized and intelligent to revolutionize the approach to traditional power metering.

Each power meter is a compact, electronically advanced and programmable multi-display metering device (MDMD). It is the answer to future generation of electrical metering needs and methodology.

Environmental Impact & Cost Saving

A power meter can replace many units of conventional analog or digital instruments and change over switches (e.g. Amp, Volt, KVA, KW, PF, KWH, KVarH, Freq. etc.).

This saves on the wiring material usage and reduces the cost on metering needs.

With the power meter modern and practical MDMD, the front layout of switch boards and control panels are aesthetically refined.

Increase Productivity & Efficiency

The power meters are specifically designed to be compatible with the world's 2 most widely used DIN standard panel instruments (It fits the DIN 92 x 92 mm panel cutout holes).

The power meter as a MDMD greatly reduced cabling complexity and time. It is also a standardize hardware suitable for either 1 phase 2 wires, 1 phase 3 wires, 3 phase 3 wire or 3 phase 4 wires networks.

Improved Technical Superiority and Reliability

The power meters are endowed with technical specifications, (overload capabilities, accuracy levels, long term stability, readout dependability etc.) far exceeding those of conventional instruments. To overcome the critiques of digital metering, the power meter MDMD supports a LCD screen with

alphanumeric readouts. The multi-display readings can be "damped" through its readout resolution besides the option to manually or automatically prioritize and sequentially view the more than 30 electrical parameters.

To meet future metering environments, the power meter is equipped with a serial port (RS-485 or RS-232), to allow connection to an open architecture computerized network. Running on PC or data acquisition system and complying with Modbus® protocol. The software provides a simple yet practical solution to energy management in factories and plant, small industries, building services, etc.

Parameters Conversion

The microprocessor-based power meter now provides compatibility with the Modicon Modbus® system as a standard feature. From the LCD multi-display reading V, A, VA, W, Var, WH, etc. more than 30 power and energy parameters.

Features

- For factory and building automation
- Modbus® RTU protocol
- Maximum 600V
- True RMS conversion
- LCD display
- Field programmable PT / CT ratio
- Accuracy up to 0.2%
- Memory for all setup and energy data
- Comprehensive self test diagnostics
- Low input burden 0.1VA (5A / 120V)
- Wide power supply range 80~260V AC / DC
- Compact physical configuration
- Compatible for DIN & ANSI cut out
- 2KV RMS input / output / power isolation

Factory & Building Automation (FA & BA)

The power meter was developed for factory and building automation (FA & BA) applications, more all of power and energy parameters can easily apply to wide range of AC switch-gear or industrial power distribution system for metering.

PLC Modbus® Compatible

The Modbus® communications protocol allows information and data to be efficiently transferred between EPM 7000 and modicon programmable logic controller (PLC) or other third party Modbus® compatible monitoring and control system. The EPM 7000 can also establish a monitoring system just simply adopt an IPC-based centralized master display software. The RTU mode Modbus® protocol with default baud rate 9600 bps, 8 data bit.

Memory for all setup and energy data

All of the meter status setting and energy data are retaining in memory while was lost power. EPM 7000 power meter records includes the watt-hour that been measured, PT and CT ratio, the measured system configuration, displaying setting, and communication related.

Field Programmability

The field programmable power meter is able to set e.g. CT and PT ratio, Modbus® address, communication baud rate, meter's display, etc. either programming by push-bottom or by rear RS-485 / RS-232 communication port from a PC.

Accuracy up to 0.2%

With a well developed conversion, sampling and software compensation technology that make EPM 7000 power meter successfully meet the accuracy requirement of modern metering, that voltage and current up to 0.2% and other power up to 0.25%.

Comprehensive System Integration

The EPM 7000 power meter now provides the Modbus® (are compatible with the Modicon system as a standard feature for comprehensive system integration. The PLC compatible RS-485 / RS-232 Modbus® communication protocol allows information and data to be efficiently transferred between power meter EPM 7000 and Modicon programmable logic controller (PLC) existing RTU Power SCADA system and DCS system or other Modbus® protocol compatible system. For more detail information or software backup please contact Hsiang Cheng Electric Corp. or representative sales department.

Input

- ⊙ Range
 - Voltage : 10-600V
 - Current : Suitable for CT secondary rating (option)
 - Maximum 6A for 5A rating
 - Maximum 1.2A for 1A rating
 - Frequency : 40-70 Hz
- ⊙ Burden
 - Voltage < 0.4VA at 600V
 - < 0.04VA at 150V
 - Current < 0.1VA at rating
- ⊙ Overload rating

| Current | Voltage |
|-----------------------|------------------|
| 2 x rated continuous | 750V continuous |
| 10 x rated 30 seconds | 1000V 10 seconds |
| 25 x rated 2 seconds | 1200V 3 seconds |
| 50 x rated 1 second | |

Measured system

- ⊙ Suitable for 3 phase 4 wires / 3 phase 3 wires / single phase 2 & 3 wires / 3 phase balance
- ⊙ Select by input wiring & software configuration

Programmability

- ⊙ Software accessible / password lock
- ⊙ System selection : 3 phase 4 wires / 3 phase 3 wires / 1 phase 2 & 3 wires and 3 phase balance
- ⊙ PT : 1 - 5000.0 ; CT : 1-5000.0
- ⊙ Readout display control
 - 4 digits / auto scan or manual selection / scanning time
- ⊙ Communication
 - Baud rate 1200 / 2400 / 4800 / 9600 / 19200
 - Address setting 1 - 254
- ⊙ Calibration : software with password lock
- ⊙ Memory : all of energy date and status setting

Communication port

RS485 (standard) ; RS232 (option)
Modbus® RTU protocol

Display

LCD 0.4" display, 3 rows of 8 alphanumeric

Dielectric strength

IEC 255-5
2KV AC rms 1 minute between input / output / power

Impulse and surge test

ANSI/IEEE C37.90.1-1989 (3KV) SWC test
IEC 255-22-1 class III SWC test
IEC 255-22-4 class IV (IEC 801-4) SWC test
IEC 255-5 1.2 x 50us (5KV) impulse test

Stability

Temperature range -25 to +55°C, maximum 100 ppm/°C
Long term stability 0.15% drift maximum per year

Operating condition

Temperature range -25 to +60°C,
RH 20 - 95% non-condensed

Storage condition

Temperature range -25 to +70°C,
RH 20 - 95% non-condensed

Power supply

AC 80 - 260V, 40 - 70 Hz, DC 80 - 330V
DC 20 - 60V
Dissipation maximum 12VA for AC and 6 Watts for DC

Mounting / Dimension

Panel type mounting
Size : 120 x 120 x 130.5mm
Cut out : 92 x 92mm

10.3.4 B.3.4 Multilin F650 [5]

1.2 OVERVIEW

1.2.1. INTRODUCTION TO F650 FAMILY OF RELAYS

This platform of relays has been designed to meet the goals that are appearing nowadays in the environment of new substations.

Historically, protection, control and metering functions have been performed by electromechanical elements at the beginning, then static devices, and finally by digital equipment able to integrate all these functions in a single device, called IED (Intelligent Electronic Device).

These IEDs not only must be able to perform all functions related to system protection and control, but also, using high speed communications, they must share information among them and send this information to control dispatch centers, thus reducing the quantity of auxiliary elements and wiring up to 70%.

The F650 relay belongs to this new generation of devices, and can be easily incorporated in substation automation schemes.

1.2.2. HARDWARE ARCHITECTURE

F650 units incorporate a series of interconnected modules to perform protection and control functions. Firstly, it includes a group of AC transformers for retrieving current and voltage. These magnitudes, once digitized, are sent to a digital signal processor (DSP), which performs metering functions and communicates with the main processor via a wide band bus. This architecture liberates the main processor from performing real time metering, allowing a high sampling rate, of up to 64 samples per cycle, without interfering with global performance.

F650 relays are digital devices that include a CPU that can control multiple types of input and output signals.

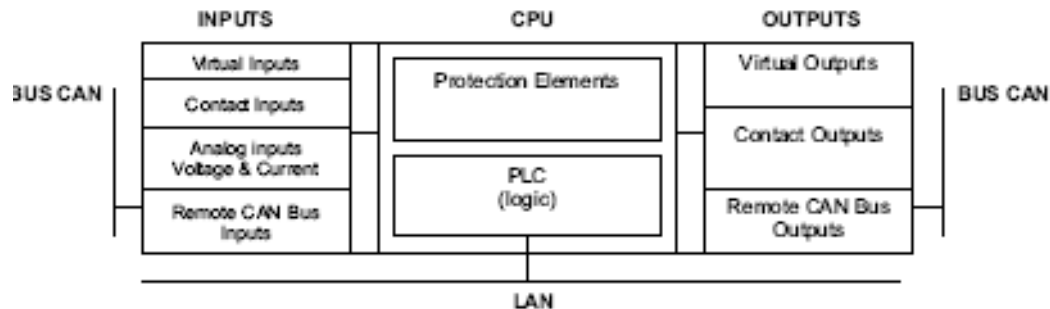


FIGURE 1-6. F650 CONCEPT BLOCK DIAGRAM

Contact Inputs/Outputs are signals associated to physical input/output contacts in the relay

Analog Inputs are signals coming from the inputs of current and voltage transformers, used for monitoring the power system signals.

Remote CAN Bus Inputs/Outputs: are signals associated to physical input/output contacts from independent modules connected to the F650 unit via a fiber optic CAN Bus.

PLC: Programmable Logic Controller. Control module that enables the unit configuration (assignment of inputs/outputs) and the implementation of logic circuits.

Protection Elements: Relay protection elements, for example: Overcurrent, overvoltage, etc.

1.2.3. SOFTWARE ARCHITECTURE

The firmware (software embedded in the relay) has been designed using object oriented programming techniques (OOP). These techniques are based on the use of objects and classes, and provide the software architecture with the same characteristics as the hardware architecture, i.e., modularity, scalability and flexibility.

1.2.4. COMMUNICATIONS ARCHITECTURE

The main processor performs protection, control, and communication functions, incorporating two internal processors, one for generic use and a second one dedicated for communications.

A dedicated serial port is used for communication between the main processor and the human-machine interface. Serial connection provides great immunity against electromagnetic disturbances, thus increasing system safety.

All F650 units incorporate an RS232 serial port on the front of the relay. There is also a possibility to incorporate up to two additional communication modules on the rear.

One of the modules provides asynchronous serial communications, using different physical media (RS485, plastic or glass fiber optic) depending on the selected model. The module incorporates two identical ports, COM1 and COM2. COM2 port is multiplexed with the front port. Additionally, this module may incorporate a glass fiber optic port for CAN BUS communications, used for the connection to the Remote CAN BUS I/O module. This feature allows increasing up to 100% the I/O capability, when the maximum number of I/Os available inside the relay (up to 32 inputs and 16 outputs) is not enough for a specific application.

Available options are:

TABLE 1-1 REAR SERIAL COMMUNICATIONS BOARD 1

| Board Code | Functionality |
|------------|---|
| F | Without additional communication ports |
| A | Two RS485 ports |
| P | Two Plastic F.O. ports |
| G | Two Glass F.O. ports |
| X | Two RS485 ports and a CAN port for remote CAN Bus Inputs/Outputs |
| Y | Two Plastic F.O. ports and a CAN port for remote CAN Bus Inputs/Outputs |
| Z | Two Glass F.O. ports and a CAN port for remote CAN Bus Inputs/Outputs |

The other module provides Ethernet communications (COM3 port), using 10/100BaseTX (self-negotiable speed) or 100BaseFX connectors, depending on the selected model. Most complete models include a double redundant 100BaseFX fiber optic port. Redundancy is provided at a physical media level; the unit incorporates internally duplicated and independent controllers for extended system reliability and accessibility.

Available Options are:

TABLE 1-2 REAR ETHERNET COMMUNICATIONS BOARD 2

| Board Code | Functionality |
|------------|---|
| B | One 10/100BaseTX port (self-negotiable speed) |
| C | One 10/100BaseTX port and one 100BaseFX port. |
| D | One 10/100BaseTX port and two 100BaseFX ports |

For options C and D it is required to select the active physical media, by means of an internal selector inside the module. The factory configuration for this selection is the 10/100BaseTX port.