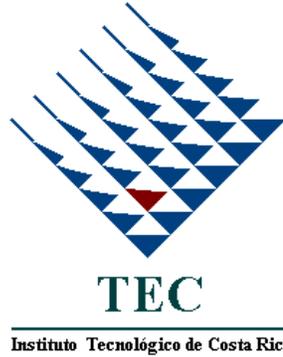


Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



ELVATRON S. A.

**“Sistema de Protección Inteligente Contra Perturbaciones Eléctricas”
SPI-CPE**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el grado de
Bachiller en Ingeniería Electrónica**

Sergio Eduardo Ovando Chajón

Cartago, 2000

Dedico este trabajo a Dios, a mis Padres y hermanos,

..., (abuelito Poncho, abuelita Lipa, lo logré...)

AGRADECIMIENTO

*Gracias a ti **Dios** por permitirme cumplir una etapa más en mi vida, por todo lo que me has regalado, lo que me has permitido disfrutar y lo que harás en mi vida futura, te agradezco por todo, ...*

Agradezco muy en especial a mi papá Raúl Eduardo Ovando Jurado y a mi mamá Rosa Eugenia Chajón González por la vida, por haberme enseñado tantas cosas, ..., de la vida, del trabajo, del estudio, de todo y por esos momentos tan especiales que me regalaron, los quiero mucho.

A mis hermanos por todo lo que han hecho por mí, por sus enseñanzas y por su amor. A Roxana Rosales por todo lo lindo que me has dado, por tu ayuda, por tu comprensión, por tu amor.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica, por todas sus enseñanzas y ayuda.

A todas las personas de Elvatrón S. A., que de una u otra forma ayudaron a que este proyecto se realizara.

Muchas gracias a todos,

Sergio Eduardo Ovando Chajón

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	13
1.1. Descripción de la empresa	14
1.2. Definición del problema y su importancia	15
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	20
Capítulo 2: Antecedentes	22
2.1. Estudio del problema a resolver	23
2.2. Requerimientos de la empresa	24
2.3. Solución propuesta	25
2.3.1. Funciones de protección	26
2.3.2. Componentes del sistema	26
2.3.3. Funcionalidad del sistema	26
2.3.4. Ventajas del sistema	27
2.3.5. Propósito del sistema	28
Capítulo 3: Procedimiento metodológico	29
3.1. Investigación bibliográfica	30
3.2. Investigación en Internet	31
3.3. Documentación de la investigación	31
3.4. Uso de equipo de medición	32
3.5. Uso del variador de frecuencia	33

3.6.	Distribución de red	33
3.7.	Estudio de código de programación del PLC	34
3.8.	Programación del PLC	34
3.9.	Pruebas del Módulo de Control Maestro	35
3.10.	Documentación y presentación de resultados	36
Capítulo 4: Descripción del hardware utilizado.....		45
4.1.	Computadora personal (PC).....	46
4.2.	Powermonitor II.....	47
4.2.1.	Características generales.....	48
4.2.2.	Características de monitoreo.....	49
4.2.3.	Descripción de entradas y salidas	53
4.2.4.	Tipos de comunicación	54
4.2.5.	Gráficas y Archivos de registro	54
4.2.6.	Conexión al sistema	55
4.3.	Controlador programable SLC 5/03	56
4.4.	Variador de frecuencia y motor	58
4.5.	Dispositivos de red DF1 y DH485.....	61
4.5.1.	Red DF1	61
4.5.2.	Red DH485	62
4.6.	Dispositivos de red DeviceNet	63
4.6.1.	Interfase física.....	64
4.6.2.	Interfase RS-232 a DeviceNet 1770-KFD	66

4.6.3. Interfase SCANport a DeviceNet 1203-GK5	66
4.6.4. Semáforo 855T	67
Capítulo 5: Descripción del software del sistema.....	69
5.1. RSLinx	70
5.2. DeviceNet Manager.....	73
5.3. RSPower32.....	75
5.4. RSLogix 500	84
Capítulo 6: Análisis y resultados.....	88
6.1. Investigación.....	89
6.1.1. Otros proyectos	89
6.1.2. Otros productos.....	91
6.1.3. Encuesta	93
6.1.4. Entrevistas.....	94
6.2. Alcances y limitaciones	95
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....	96
7.1. Conclusiones	97
7.2. Recomendaciones.....	98
Bibliografía	99
Apéndices.....	102
Apéndice 1: Diagrama de Gantt, desglose por tarea.....	103
Apéndice 2: Encuesta	107
Apéndice 3: Entrevista.....	113

A.3.1. Formato de la entrevista	113
A.3.2. Resultados de las entrevistas	114
Apéndice 4: Diagrama de conexión del Powermonitor II.....	118
Anexos	119
Anexo 1: Hoja de datos del SLC 5/03.....	120
Anexo 2: Manual del usuario del 1305 variador de frecuencia.....	124
Anexo 3: Manual del usuario de la tarjeta 1784-PCMK.....	129
Anexo 4: Manual del usuario de dispositivos de DeviceNet.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Diagrama de bloques	25
Figura 3.1	Diagrama de Gantt	37
Figura 3.2	Diagrama de Pert.....	41
Figura 4.1	Diagrama del sistema funcional.....	46
Figura 4.2	Controlador SLC 5/03.....	56
Figura 4.3	Variador de frecuencia 1305.....	58
Figura 4.4	Diagrama de conexión PC - Powermonitor	62
Figura 4.5	Diagrama de conexión PC – SLC 5/03	63
Figura 4.6	Cable de DeviceNet.....	64
Figura 5.1	Ventana principal RSLinx	72
Figura 5.2	Ventana principal DeviceNet Manager	73
Figura 5.3	Ventana principal RSPower32.....	75
Figura 5.4	Ventana de medición de voltajes y corrientes.....	77
Figura 5.5	Ventana de medición de potencias y energías	78
Figura 5.6	Ventana de medición de demanda.....	79
Figura 5.7	Ventana de entradas y salidas	80
Figura 5.8	Ventana de formas de onda.....	81
Figura 5.9	Ventana de análisis de armónicas	82
Figura 5.10	Ventana de archivos de registro	83
Figura 5.11	Ventana principal RSLogix 500	85
Figura 5.12	Diagrama de flujo del programa del SLC 5/03	86

Figura A.1	Diagrama de Gantt, desglose por tarea	103
Figura A.2	Porcentaje de clientes que respondieron.....	109
Figura A.3	Cantidad de equipo reportado por los clientes.....	110
Figura A.4	Cantidad de clientes con perturbaciones eléctricas externas	110
Figura A.5	Detalle de perturbaciones eléctricas externas.....	111
Figura A.6	Cantidad de clientes con perturbaciones eléctricas internas	111
Figura A.7	Detalle de perturbaciones eléctricas internas.....	112
Figura A.8	¿Han hecho algo contra las perturbaciones?	112
Figura A.9	Diagrama de conexión del powermonitor II.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Parámetros de voltaje y corriente	49
Tabla 4.2	Parámetros de potencia	50
Tabla 4.3	Parámetros de análisis de armónicos.....	51
Tabla 4.4	Parámetros de demanda	52
Tabla 4.5	Detalle de entradas del Powermonitor II.....	53
Tabla 4.6	Detalle de salidas del Powermonitor II.....	53
Tabla 4.7	Especificaciones de entrada y salida del 1305.....	60
Tabla 4.8	Parámetros de ajuste del 1305.....	60
Tabla 4.9	Terminología del color de los alambres del cable de DeviceNet.....	65
Tabla 4.10	Limitaciones de distancia vrs velocidad de transmisión	65
Tabla 6.1	Comparación PM2 vrs otros productos	91
Tabla 6.1	Comparación PM2 vrs otros productos (continuación)	92
Tabla A.1	Clientes encuestados	109

RESUMEN

Calidad energética, un tema de índole internacional que tiene como meta la disminución de perturbaciones eléctricas, tanto de parte de las empresas generadoras de electricidad, como de los usuarios del servicio.

Este concepto implica el monitoreo y medición, a bajo costo y de muy alta calidad, de parámetros eléctricos de la red de distribución, líneas de alimentación de equipo de planta, equipo computacional, en fin todo aquel equipo susceptible a las variaciones en el voltaje y la corriente y demás distorsiones.

Además se requiere el análisis e interpretación, en tiempo real, de eventos eléctricos de potencia, realizados por el mismo dispositivo de medición. A la vez éste debe tener comunicación con dispositivos de almacenamiento y despliegue de los datos y gráficas recopilados.

Para llegar al nivel de calidad energética, en el que todas las partes unen esfuerzos para llegar a un mejor desempeño de los medios productivos y de distribución, se requiere que el mercado tenga conciencia del concepto de mejoramiento del servicio de suministro de energía eléctrica.

Elvatrón S. A. planteó la posibilidad de implementar un sistema de monitoreo, medición y control de perturbaciones eléctricas para poder ofrecer a sus clientes una solución efectiva, de bajo costo, utilizando conocimientos nacionales aplicados a productos internacionales de alta calidad, como lo son los desarrollados por Rockwell Automation y Allen-Bradley.

Lo anterior da origen a un sistema inteligente contra perturbaciones eléctricas SPI-CPE, que tiene el propósito de monitorear y medir parámetros eléctricos, con integración a un módulo de control basado en un controlador lógico programable y una computadora. Este sistema es el resultado del análisis de las exigencias de clientes, de la competencia y de los parámetros establecidos por Elvatrón.

Palabras clave: Calidad Energética, Controlador Lógico, Monitor de Potencia, Perturbaciones Eléctricas.

ABSTRACT

Power quality, an international concept that has the main purpose to minimize electrical disturbances, the ones coming from the power supplier and the ones produced by the supplier's customers.

Permanent monitoring and measurement of electrical quantities, at low cost and as effective as possible of the power network, power supply of floor equipment, computer equipment and all those devices susceptible to electrical disturbances.

It is required to have a high end, real time analysis and data interpretation of electrical power events. The system must have communications with other devices that could handle data management, data storage and graphical display of trends and data logging.

To reach the power quality's level, in which all the parts involved have to join forces in order to have a good performance of productivity means and power supply, it is required the market to have an idea of electrical improvement.

Elvatron S.A. had the idea to improve a power monitoring, measurement and control system of electrical distortions, in order to offer another effective, low cost, high quality product to its customers. This system uses international high quality products from Rockwell Automation and Allen-Bradley's stock.

This brings up an intelligent system against electrical disturbances called SPI-CPE, that has the main purpose to monitor and measure electrical parameters, with system integration to a programmable logic controller based central module, with computer background. This is the result of the analysis of customer's demands, competition and requirements of Elvatron.

Keywords: Power Quality, Programmable Logic Controller, Power Monitor, Electrical Disturbances.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la empresa

El presente Proyecto de Graduación se desarrolló en ELVATRON S.A.. Esta empresa se fundó en el año de 1973, con la idea de brindar el mejor servicio y las mejores soluciones en el área de la automatización industrial para la región centroamericana. Cuenta con más de 50 ingenieros y electricistas orientados en el área de control de procesos, trabajo que abarca desde el diseño hasta el soporte técnico a los clientes.

Entre los clientes a los que se les ha dado servicio se pueden mencionar industrias de generación de electricidad, alimentos y bebidas, llantas y hules, cemento, petróleo, tabaco, detergentes, etc. Para el desarrollo de los distintos proyectos, se hace uso de productos de fabricantes de reconocida clase en el ámbito internacional como Rockwell Automation, BLH, Milltronics, Rittal, Brooks, NCS y el grupo Fisher Rosemount.

En ELVATRON se ofrecen diversas soluciones de alto rendimiento, las cuales contemplan aspectos como el soporte en el diseño, ingeniería en el control de procesos, modernización en el control de maquinaria, ingeniería en el control de maquinaria, servicios CAD/CAE, diseño y construcción de tableros, puestas en marcha, manejo de materiales, complemento con sistemas SCADA, sistemas de pesaje, aplicaciones para códigos de barras y redes locales, entre otras.

El departamento de Operaciones y Proyectos es el departamento directo en el que se desarrolló el proyecto. Este departamento está a cargo del ingeniero Pedro Ruiz Obando, quien fue el asesor del proyecto dentro de la empresa junto con el ingeniero Francisco Barrantes R., gerente de ventas.

El Departamento de Operaciones y Proyectos se divide en seis secciones: Soporte técnico, Capacitación, Dibujo, Taller y Proyectos Alfa y Beta (subdivisiones internas), en las cuales laboran 24 personas en total, entre ingenieros en electrónica, ingenieros eléctricos, técnicos electricistas, instructores y dibujantes.

Los ingenieros de este departamento están dedicados a desarrollar el diseño, programación, generación de ideas, implementación y puestas en marcha de los proyectos solicitados y contratados.

1.2. Definición del problema y su importancia

Con el creciente uso de equipo electrónico y eléctrico en diversas aplicaciones, no sólo de uso particular, sino también a un nivel industrial, la red eléctrica debe ir mejorando debido a las exigencias de calidad de los equipos utilizados. Dicha red está sujeta a gran variedad de perturbaciones eléctricas y variaciones de carga, a la que alimenta. Los equipos industriales modernos son los que se ven más afectados al no tener control sobre dichas perturbaciones y por su sensibilidad ante los factores externos.

Estas perturbaciones se pueden dividir en dos:

- a. Problemas externos ocasionados por la calidad de la señal de energía suministrada
- b. Problemas internos que se presenten en la acometida de la empresa o fábrica y las perturbaciones debidas a la carga que se maneja

En cuanto a los problemas externos de suministro, se pueden mencionar los siguientes:

- a. Variación de voltaje
- b. Variación de frecuencia
- c. Incremento en el número de armónicas
- d. Problemas con tierras
- e. Descargas eléctricas atmosféricas

Algunos ejemplos de problemas internos debido a las cargas que se manejan son:

- f. Variaciones de voltaje, de corriente o ambas
- g. Incremento en el número de armónicas e interarmónicas (cargas no lineales)
- h. Factor de potencia, potencias activa, reactiva, aparente
- i. Cortocircuito
- j. Distorsión armónica total de corriente, de voltaje o ambas
- k. Sobrecarga
- l. Monto de la demanda

Los problemas de variación de voltaje pueden ser de dos tipos, sobre tensión o baja tensión. Ésta última se produce cuando la tensión suministrada es inferior al valor nominal de la carga, con lo cual ésta, al no poder disminuir su potencia, lo compensa con un aumento en la corriente.

En cambio, la sobre tensión en un sistema eléctrico o electrónico se produce por diversas causas, ya sean de origen interno o externo al mismo.

Las internas tienen origen en la operación de dispositivos de desconexión, las cuales son de corta duración y pueden alcanzar valores de 2 a 3 veces la tensión nominal. O bien, se pueden deber a fenómenos de ferorresonancia en el sistema, que generalmente es trifásico.

Se pueden dividir en alta frecuencia o baja frecuencia. Las de alta frecuencia se presentan cuando el estado estable de la red se ve interrumpido por operaciones de conmutación, produciendo que la frecuencia del voltaje resultante sea una senoide atenuada y con una armónica importante cercana a los 20 KHz. Las de baja frecuencia se presentan a la frecuencia y voltaje nominal del circuito y se pueden deber a la desconexión de alguna carga considerable.

Las sobre tensiones de origen externo se deben al contacto directo con líneas de mayor tensión o a descargas atmosféricas. Éstas son las de menor duración pero las que causan más daños, debido a que tienen la forma de un impulso unidireccional, de alta amplitud de voltaje, propiciando así un daño frecuentemente irreparable en las máquinas o equipo electrónico.

En cuanto a los problemas internos debido a las cargas, se puede citar el cortocircuito, el cual se produce cuando hay una conexión entre dos o más conductores de distinta fase en un circuito eléctrico. Éstos producen aumentos excesivos e instantáneos en la intensidad de la corriente que fluye por dicho circuito, produciendo daños en máquinas eléctricas, equipo electrónico y llegan a deteriorar las líneas eléctricas, así como a los mismos dispositivos involucrados en el cortocircuito.

Una sobrecarga se presenta cuando el circuito trabaja a una corriente mayor para la que fue diseñado, este aumento es gradual y tiene cierta duración, no se presenta instantáneamente. Este tipo de problema causa, generalmente, que las máquinas trabajen a un menor rendimiento y experimenten sobrecalentamientos indeseados.

Otro tipo de perturbación eléctrica es lo que se denomina ruido correlacionado, energía eléctrica no deseada, producto de una señal de entrada de un circuito o a una carga no lineal. Un ejemplo de esto es la distorsión armónica no lineal producida por elementos no lineales. Este tipo de perturbación cambia la forma de onda de la señal en el dominio del tiempo y el contenido espectral en el dominio de la frecuencia.

En términos técnicos, la distorsión armónica es el producto de ondas de frecuencia mayor a la suministrada por la red y que son generalmente no deseadas y se producen cuando la señal eléctrica fluye por un elemento no lineal.

La frecuencia original es la primera armónica y se denomina frecuencia fundamental. Las armónicas son señales con frecuencia mayor que la frecuencia fundamental y de amplitud diferente a la señal original.

La relación de la amplitud rms de la frecuencia de la segunda armónica a la amplitud rms de la frecuencia fundamental se denomina distorsión armónica de segundo orden. La distorsión armónica de tercer orden es la relación entre la amplitud rms de la tercera armónica a la amplitud rms de la fundamental. La relación de las amplitudes rms de las armónicas de orden superior a la amplitud rms de la fundamental se llama distorsión armónica total (THD= Total Harmonic Distortion). En forma matemática se escribe como:

$$\%THD = \frac{V_{(ALTO)}}{V_{(FUND)}} \times 100$$

donde: %THD = porcentaje de la distorsión total

$V_{(ALTO)}$ = suma cuadrática de los voltajes medios (rms) de las armónicas de orden superior

$$V_{(ALTO)} = \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}$$

$V_{(FUND)}$ = voltaje rms de la frecuencia fundamental

Otro de los factores críticos es el factor de potencia total, que denota la relación entre la potencia activa o potencia real a la potencia aparente, siempre y cuando se aplique una señal variante en el tiempo a una carga dada. En términos matemáticos se define, en forma general, el factor de potencia $\cos\varphi$ como:

$$FP = \frac{\text{potencia promedio}}{\text{potencia aparente}} = \frac{P}{V_{eff} I_{eff}} = \cos(\varphi)$$

$$S = \text{potencia aparente} = P + jQ = V_{eff} I_{eff} \quad [VA]$$

$$P = V_{eff} I_{eff} \cos(\varphi) \quad [W]$$

$$Q = V_{eff} I_{eff} \text{sen}(\varphi) \quad [VAr]$$

donde: V_{eff} e I_{eff} = son los valores efectivos del voltaje y la corriente

P = potencia promedio

φ = ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente

Como la potencia aparente es la suma geométrica de la potencia promedio y la potencia reactiva, la cual es producto de las cargas reactivas de la carga, el factor de potencia se ve afectado por el efecto de las cargas reactivas sobre la carga.

En otras palabras, el factor de potencia disminuye o aumenta si la carga reactiva aumenta o disminuye. Es decir, si la carga es puramente reactiva o el ángulo de desfase φ es aproximadamente de 90° , el $\cos\varphi$ será cero, en tanto si la carga es resistiva el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente es cero, el $\cos\varphi$ será 1 ó cercano a este valor.

En todos los casos, un $\cos\varphi$ bajo significa que los generadores o máquinas tienen un rendimiento bajo, ya que la potencia máxima suministrada no corresponde a la potencia real utilizada por ellas, lo que significa un consumo de potencia mayor para obtener funcionamiento nominal.

Por otro lado, un $\cos\varphi$ alto, cercano a uno, implica que la impedancia reactiva es mucho menor que la resistencia del sistema, con lo cual la potencia suministrada a la carga es predominantemente real, por lo tanto los valores de voltaje y corriente se aproximan a los valores nominales de la carga efectiva máxima. Esto implica una mejoría en la regulación de tensión y bajas pérdidas por calentamiento en las líneas de transmisión.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El presente proyecto tiene como objetivo realizar la investigación total preliminar del proyecto y desarrollar el sistema de control maestro para el sistema de protección inteligente contra perturbaciones eléctricas, con el fin de proteger equipo eléctrico o electrónico.

1.3.2. Objetivos específicos

A continuación se enumeran cada uno de los objetivos específicos:

- a. Realizar una investigación sobre productos existentes en el mercado que desempeñan labores de monitoreo de parámetros eléctricos, tomando en cuenta aspectos como grado de protección, arquitectura utilizada, tiempos de respuesta, modularidad del equipo, crecimiento y expansión del mismo, así como tipos de comunicación utilizados, base de datos utilizada, respaldo de datos para mediciones fuera de línea, costos, representantes locales, normas y certificaciones
- b. Recopilar información acerca de calidad energética, costos de fallas por industria, definiciones sobre perturbaciones de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), artículos publicados, situación en otros países, determinación del tipo de perturbaciones más comunes, ponderación de equipos susceptibles a perturbaciones, tolerancias de los equipos eléctricos y electrónicos y garantía de un sistema de protección
- c. Documentar toda la información de la investigación realizada en los dos puntos anteriores y generar ideas de mejoramiento y toma de decisiones acerca del proyecto
- d. Investigar, aprender a utilizar y realizar pruebas de funcionamiento del equipo de medición de los parámetros de la red de suministro del equipo
- e. Investigar sobre los protectores contra perturbaciones eléctricas
- f. Realizar un estudio sobre la conexión de red de los dispositivos de control remoto, con el fin de definir limitaciones, especificaciones o ventajas de la red acoplada al sistema

- g. Estudiar y programar un controlador lógico programable PLC, para cumplir con rutinas de adquisición de datos, parametrización de ramales, manejo de red, manejo de actuadores, diagnóstico del sistema de control, red y actuadores, y demás rutinas necesarias
- h. Realizar pruebas de verificación de funcionamiento del sistema de respaldo, arranque del sistema, red de protectores y funcionamiento total del módulo de control maestro
- i. Documentar las pruebas realizadas y generar conclusiones y recomendaciones respecto de los módulos experimentales para el mejoramiento del sistema
- j. Realizar una presentación de los resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones de los módulos de control maestro, del equipo de medición y de los protectores y actuadores, funcionando como un solo sistema

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1. Estudio del problema a resolver

Dentro del marco de avance tecnológico, se hace necesaria una mejora en todos los aspectos en los cuales la electricidad se utiliza. Esta idea de mejorar la calidad del suministro eléctrico ha conllevado al surgimiento de un concepto a nivel mundial: Calidad Energética o PQ (siglas en inglés: Power Quality).

Este es un estándar de calidad que determina las características del voltaje y el suministro de energía a la industria y zonas residenciales, donde la política es que los usuarios del sistema paguen en forma proporcional a la calidad del servicio. Esta medida provoca que las empresas encargadas de la generación de electricidad se preocupen por brindar un mejor servicio, a menor costo.

En sí, el problema se enfocó en la posibilidad de monitorear y controlar perturbaciones eléctricas en cualquier ambiente que permitiera la opción de tener un sistema abierto y adaptable a las exigencias del cliente. Además se deseaba generar un estudio sobre la realidad nacional respecto de la problemática energética y los factores que inciden negativamente en su calidad.

En síntesis, si las perturbaciones eléctricas no se controlan debidamente, los efectos que tienen sobre el equipo eléctrico y electrónico generan pérdidas en muchos campos, no solamente en su confiabilidad, entendida como la posibilidad de obtener un funcionamiento y rendimiento adecuados, sino también de su vida útil. Adicionalmente se debe tener presente que los costos de operación de los equipos aumentan debido al bajo rendimiento de las máquinas, lo que produce una baja eficiencia del sistema de producción en general, lo que a su vez redundaría en un mayor costo por el servicio energético.

Las perturbaciones eléctricas también incrementan los costos a largo plazo debido a sustitución de equipo o partes electrónicas o eléctricas, antes de cumplirse el tiempo efectivo de uso o por las reparaciones frecuentes debido al desgaste adicional en motores, controles o equipo computacional.

2.2. Requerimientos de la empresa

Elvatrón visualizó en el monitoreo y control de perturbaciones eléctricas un campo idóneo para poder brindar mejores servicios a sus clientes. La idea de desarrollar un sistema de monitoreo y control inteligente surgió del comité director de la empresa, para lograr un mejoramiento de la calidad energética y a la vez de brindar un producto más, dentro de la oferta de productos que maneja.

Además de contar con productos adecuados para el desarrollo e investigación de este proyecto, se tuvo en mente la idea de desarrollar aquí ese tipo de soluciones e implementarlas para su validación. Otro factor que determinó el lanzamiento de este prototipo fue el hecho de que el mercado en Costa Rica está dispuesto a mejorar su ambiente energético.

Debido a que esta es un área en la cual Elvatrón no ha incursionado, sino hasta ahora, este proyecto toma el carácter de prototipo, para realizar pruebas de funcionalidad, factibilidad y eficiencia, y a la vez se busca un punto de prueba en el mercado. Este es un proyecto de investigación propio de la empresa.

También se espera que este producto sea de bajo costo, de fácil instalación y que permita coordinación de alto nivel (PC, PLC) relacionado con la calidad energética. Si se podía enlazar con sistemas predictivos de mantenimiento y medios de comunicación, entonces se aproxima a la idea de la Automatización Total.

Dentro del marco de investigación, se requiere la búsqueda y el análisis de productos de medición similares al equipo utilizado. También es indispensable realizar un estudio sobre la situación de los clientes de Elvatrón y del mercado al cual entraría este producto. Para esto se necesitan conocer los parámetros o requerimientos por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, así como también del Instituto Costarricense de Electricidad.

2.3. Solución propuesta

Como se mencionó en la definición del problema, se pretendía realizar un sistema de protección contra perturbaciones eléctricas. Se explicará la solución propuesta en términos de lo que se deseaba que el sistema realizara, los componentes propuestos para solventar la problemática, la funcionalidad total y las ventajas que presentaba.

El proyecto estaba en su etapa de concepción, para lo cual se tomó como tema de proyecto de graduación. Se planteó la posibilidad de que dicho sistema fuese capaz de ajustarse a las necesidades de protección de equipos vitales, tanto eléctricos, como electrónicos. El sistema debía adaptarse a las diferentes necesidades de los equipos productivos, teniendo configuraciones específicas para cada clase de equipo a proteger. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques general para la solución que se propuso:

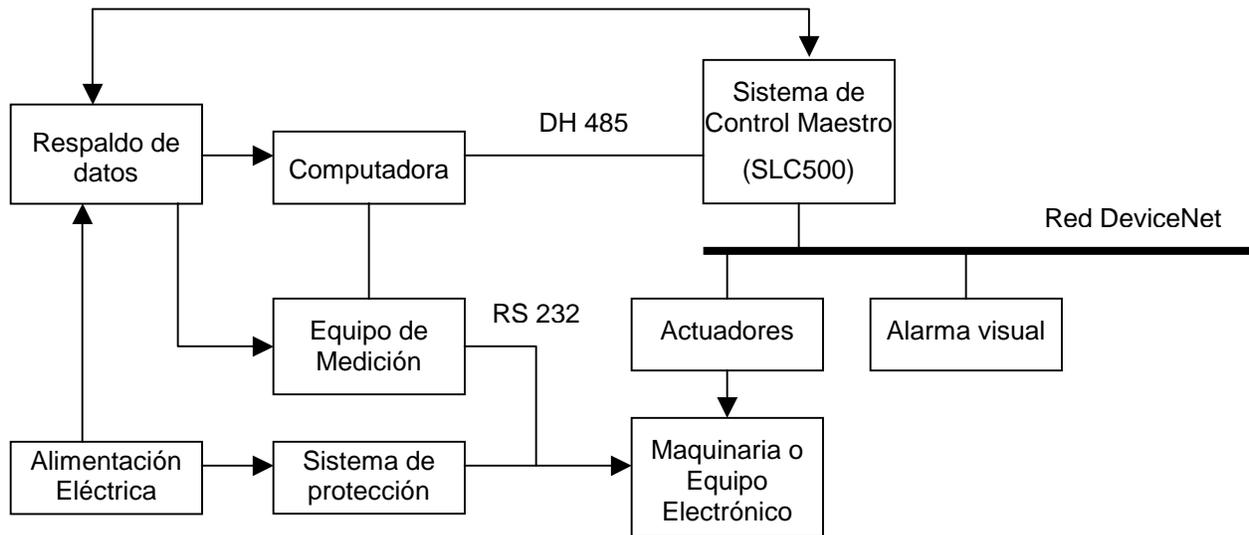


Figura 2.1 Diagrama de bloques

2.3.1. Funciones de protección

El sistema se diseñó para medir fluctuaciones de voltaje, corriente y frecuencia, el desbalance en la corriente y el voltaje, el factor de potencia, la distorsión armónica total (THD) de la corriente, armónicos presentes, la demanda y el factor de cresta.

2.3.2. Componentes del sistema

Como se puede observar de la figura 2.1, el sistema se compuso de equipo de medición especializado conectado a la entrada de alimentación de un motor de reluctancia trifásico, 230 V, de 746 W y 3,2 A, el cual estaba controlado por un variador de frecuencia. Éste a su vez tenía un módulo convertidor de DeviceNet a Mini Din, con el fin de comunicar dicho variador a la red mencionada. La distribución de la red, como se puede apreciar de la figura anterior, tuvo a su vez conectados un equipo de Control Master, basado en un SLC (Controlador Lógico Pequeño) y una alarma visual. La computadora se conectó vía puerto DH 485 con el SLC y vía puerto RS 232 al equipo de medición. Esta computadora tuvo instalado el software de comunicación y monitoreo de las variables a medir. Fue necesaria también una fuente ininterrumpida de energía, con el fin de mantener activos los principales componentes del sistema, como lo son la PC, el SLC y el equipo de medición.

2.3.3. Funcionalidad del sistema

El sistema funcionó de la siguiente forma: con el uso de equipo de medición de voltaje y corriente a la entrada de alimentación del motor, se obtuvo información, en tiempo real, sobre las variables críticas de la red.

Estos datos se enviaron a la computadora, la cual realizaba un muestreo de los parámetros del controlador del equipo de medición. Si se detectaba alguna falla en el suministro al motor, se activaba un relé, el cual activaba a la vez, una entrada del SLC, para que al final entrara a funcionar la alarma visual, gobernada por el programa de dicho PLC.

El control maestro, que estaba gobernado por un SLC y la computadora, fue el encargado de parametrizar, de forma independiente, los valores de alarma o de encendido y apagado de cada una de las salidas del controlador.

Las salidas a su vez controlaban el actuador del motor, que en este caso se trataba de un variador de frecuencia, programado con los parámetros o rangos de funcionamiento, necesarios para el encendido y apagado del motor, así como de controlar la velocidad del mismo. Dichos rangos pueden ser programados en el control maestro, mostrando de esta manera la versatilidad del sistema, ya que se pueden monitorear y proteger otro tipo de máquinas. En la figura 2.1 se observa una sola máquina conectada al sistema, pero en sí, se puede trabajar con una red distribuida de actuadores y motores, teniendo un solo sistema monitor.

Toda la información recolectada del equipo de medición se envía a la computadora, la cual por medio del software de adquisición de datos y de monitoreo, servía de interfaz de parametrización en tiempo real. El sistema capturó la forma de onda, los valores máximos y mínimos que se dieron durante algún evento.

Esta solución requería la utilización de una fuente ininterrumpida de energía, con el fin de capturar información durante largos períodos de tiempo aún sin presencia de energía eléctrica de la red principal, lo que permitía almacenar información sobre posibles procesos fallidos de energización por parte de la compañía de suministro eléctrico. En este caso la capacidad de almacenamiento del equipo de respaldo de datos estuvo limitada.

2.3.4. Ventajas del sistema

Dentro de las muchas ventajas que este sistema tuvo se pueden mencionar las siguientes:

- a. Utiliza tecnología de punta en el mercado de automatización industrial
- b. El hardware, software, redes y dispositivos de campo son de tecnología abierta en el mercado

- c. Se dispone de repuestos en plaza de cada uno de los componentes
- d. Fácil integración a equipos de automatización industrial
- e. Se puede incluir instalación electromecánica del sistema
- f. Existe soporte de ingeniería en el ámbito local
- g. Hay una amplia base instalada de los equipos incluidos en el sistema
- h. El sistema puede utilizar paneles de visualización remotos, los cuales pueden estar conectados al sistema de respaldo de datos

2.3.5. Propósito del sistema

Se deseaba que el sistema fuera capaz de desconectar cargas y/o maquinaria productiva cuando se presentaran perturbaciones eléctricas, fuera del rango de operación de dichas máquinas. Además se deseaba minimizar la posibilidad de que los equipos electrónicos o eléctricos fueran alimentados por energía eléctrica que no posea la tolerancia que especifica el propio fabricante. También se debía evitar que el sistema se pudiera energizar nuevamente si las condiciones de calidad energética no eran óptimas y estables.

Debido a que el sistema era modular, ampliable y configurable, el SPI-CPE podía fácilmente servir de plataforma inicial para un monitoreo de productividad de planta, análisis de eficiencia y eventualmente, el pilar de un futuro sistema SCADA a nivel de planta. De igual manera, podía servir para documentar la calidad energética como parámetro, dependiente de la productividad y con ello proveer la información básica para una auditoría energética.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología que se siguió se explicará en orden cronológico, basándose para este fin en los objetivos específicos planteados con anterioridad. Además, si el objetivo planteaba la realización de varias actividades para cumplir una sola meta, dichas actividades se pudieron realizar en forma paralela, siempre y cuando así lo permitiera la ejecución.

3.1. Investigación bibliográfica

Esta actividad fue de suma importancia, dado a que se investigaron diversos aspectos, como lo fue la existencia de productos que realizaban las funciones que el SPI-CPE ejecutaba, analizando para ello características de protección, arquitectura utilizada, etc. En sí, fue una investigación técnica sobre el proyecto. Pero también se hizo necesario un enfoque del mercado o el ambiente en el cual el sistema operaría, por lo tanto se buscaron estudios o artículos publicados referentes a esa problemática en la actualidad energética en el país, a las fallas más comunes en el suministro energético, así como la clasificación y definición de perturbaciones eléctricas por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Esta investigación fue útil para determinar el enfoque que se le debía de dar al proyecto y si las funciones que iba a ejecutar el sistema eran pertinentes para realizar una adecuada medición de parámetros eléctricos. Adicionalmente constituyó una herramienta útil para realizar una búsqueda preliminar de equipo de medición y de software que cumpliera con las especificaciones que se generaron en el planteamiento de la solución. Para realizar la recopilación de la información se consultó el material existente dentro de la empresa, se aplicaron encuestas a los clientes de Elvatrón, se realizaron entrevistas al personal técnico profesional de las compañías de distribución. Los detalles de la encuesta y de la entrevista se encuentran en el [apéndice 2](#) y [apéndice 3](#) respectivamente.

3.2. Investigación en Internet

Esta herramienta ayudó a buscar referencias de proyectos en otros países referentes a la calidad energética y temas afines al presente proyecto. También fue útil para determinar si existían aplicaciones de software o equipo de medición de distribuidores internacionales que ejecutaran las mismas funciones que se deseaban en las mediciones de los parámetros eléctricos. Al mismo tiempo sirvió para ampliar el marco conceptual del proyecto, el cual aborda un tema de trascendencia mundial, como lo es la calidad energética.

Estas dos primeras actividades se realizaron en forma paralela, como se puede apreciar en la gráfica de Gantt de la figura 3.1, que se encuentra al final de este capítulo, donde se muestran las tareas generales del proyecto y su duración. Como se puede observar, la segunda tarea abarcó un poco más de tiempo para su finalización. También cabe mencionar que dichas tareas, junto con la tercera, se llevaron en forma paralela con el resto de las tareas del proyecto, hasta llegar a un punto en común: la documentación final del mismo. El desglose de estas tareas generales se puede observar en el [apéndice 1](#): Diagrama de Gantt, Desglose por tarea.

3.3. Documentación de la investigación

En todo trabajo de investigación se hace necesario el análisis de la información y las conclusiones a las que se llega con dicho análisis, además de servir como una fuente de ideas para la toma de decisiones relevantes al proyecto, ya que en este caso cabía la posibilidad de que la investigación revelara que se necesitaba una ampliación dentro del marco del proyecto o bien la reducción en el mismo.

Otra posibilidad es que se encontrara un producto que cumpliera con las exigencias propuestas y que fuera más viable, con lo cual cambiaría la orientación total del sistema. En todo caso, este análisis fue importante porque ayudó a encontrar mejores herramientas para el análisis previo, pero en sí generó una buena base para decisiones.

Con un buen análisis de la información recopilada, se procedió a procesar y documentar la misma, progresando en cierto modo con esta tercera tarea general.

3.4. Uso de equipo de medición

Esta actividad pretendía analizar el funcionamiento del mismo y realizar las pruebas respectivas para determinar el buen funcionamiento, según las especificaciones de la carga a manejar. Lo primero que se hizo fue la lectura de los manuales de instalación y operación del equipo. Cabe destacar en este momento que se utilizaron productos de Allen Bradley en lo que a hardware se refiere y software de Rockwell Software, ambas divisiones de Rockwell Automation.

En sí, el equipo de medición utilizado fue el Powermonitor II, hardware de medición y RSPower32, software de aplicación. El detalle de funcionamiento, conexión, etc., se dará en el capítulo siguiente. Esta tarea implicaba también el estudio de la carga a utilizar, con el fin de detectar el equipo adicional necesario para realizar las mediciones, como lo fueron el tipo de cables utilizados, los bornes y fusibles empleados y los cables de comunicación con el Powermonitor II.

Además se realizaron pruebas de comunicación y de medición con el propósito de minimizar las posibilidades de error al acoplar este equipo al sistema total.

3.5. Uso del variador de frecuencia

Con el fin de conocer los elementos que tenía que gobernar el PLC, del sistema de control maestro, se hizo necesario investigar el funcionamiento de un variador de frecuencia que gobernaba un motor. El Powermonitor se conectó entre el variador y el motor, con el fin de tener una carga que monitorear. Se revisaron los manuales y se analizó el funcionamiento del variador. El procedimiento seguido fue la localización de los manuales o catálogos, así como también la búsqueda de los mismos en el sitio de internet de los fabricantes, dicha dirección electrónica se puede observar en la bibliografía.

Como se mencionó anteriormente, la mayor parte del equipo analizado era Allen Bradley, de Rockwell Automation, por lo que el variador que gobernó el motor en cuestión se trataba del 1305 AC Drive, del cual se hablará más detenidamente en el siguiente capítulo.

3.6. Distribución de red

Esta actividad pretendía analizar las formas de comunicación que se podrían tener dentro del sistema y escoger la o las que se acoplaban mejor a los dispositivos con que se contaba o analizar la comunicación disponible para cada dispositivo.

Para cumplir con esto, se buscó en la biblioteca del departamento de proyectos, los manuales de los dispositivos de red, de los tipos de comunicación con que cuentan los dispositivos, así como también la búsqueda de los documentos respectivos en internet.

Una vez recolectada la información se analizó y se escogió el tipo de red a utilizar y los protocolos de comunicación de los dispositivos. Se realizaron pruebas de comunicación de la red, de la computadora al Powermonitor y del SLC a la computadora.

3.7. Estudio de código de programación del PLC

Se estudió el código de programación del SLC que gobernó el módulo de control maestro. Se hizo necesario conocer modos de direccionamiento, recursos que brinda el controlador lógico programable, disposición de entradas y salidas, funcionamiento de las mismas, tipo de arquitectura utilizada y demás características. Además se hizo necesario conocer el código de programación para poder diseñar las rutinas de comunicación, de lectura de entradas y la activación de las salidas.

Para ello se buscaron los manuales de hardware y software, así como también se instalaron los programas de comunicación y programación del SLC. Se utilizó la ayuda que se brinda en el software de programación, la cual tiene la facilidad de referencia en línea. De esta característica se estará hablando en el capítulo 5. Otra forma de aprendizaje fue realizando consultas a los ingenieros del departamento, los cuales explicaron y aclararon con detalle las dudas y aportaron en gran medida a la comprensión de diversos temas.

3.8. Programación del PLC

Para esta tarea se tenía planeada la programación de las rutinas de monitoreo de red, adquisición de datos, etc. Esto implicó la realización de pruebas en vacío del PLC, o sea, el controlador no estuvo conectado a ningún dispositivo en el momento de estas pruebas, sino que se generaron los eventos de tal forma de tener control sobre los resultados esperados en la ejecución del programa principal, para tener la certeza de un buen funcionamiento del módulo a la hora de acoplarlo al resto del sistema.

Para cumplir con las pruebas, también se hizo necesaria la instalación de un módulo de comunicación de DeviceNet en el SLC. Para la prueba de este módulo se instaló un programa de manejo de DeviceNet, el software de DeviceNet Manager, el cual se explicará en el capítulo 5, pero que a grandes rasgos se trata de un programa que configura los dispositivos de red desde la computadora, asignando a cada dispositivo un número de nodo respectivo, sí el nodo o dispositivo es programable por software, de lo contrario, se programa por medio de hardware el número de identificación.

Luego de programar los dispositivos de la red, se llevaron a cabo las pruebas de comunicación entre los dispositivos y el software de manejo de red. Una vez terminadas estas pruebas, se tenía la garantía de la comunicación entre los dispositivos. Cabe mencionar que la alarma visual que se mencionó en la explicación de la solución propuesta, tenía comunicación de DeviceNet, por lo que el SLC también controlaba su activación.

3.9. Pruebas del Módulo de Control Maestro

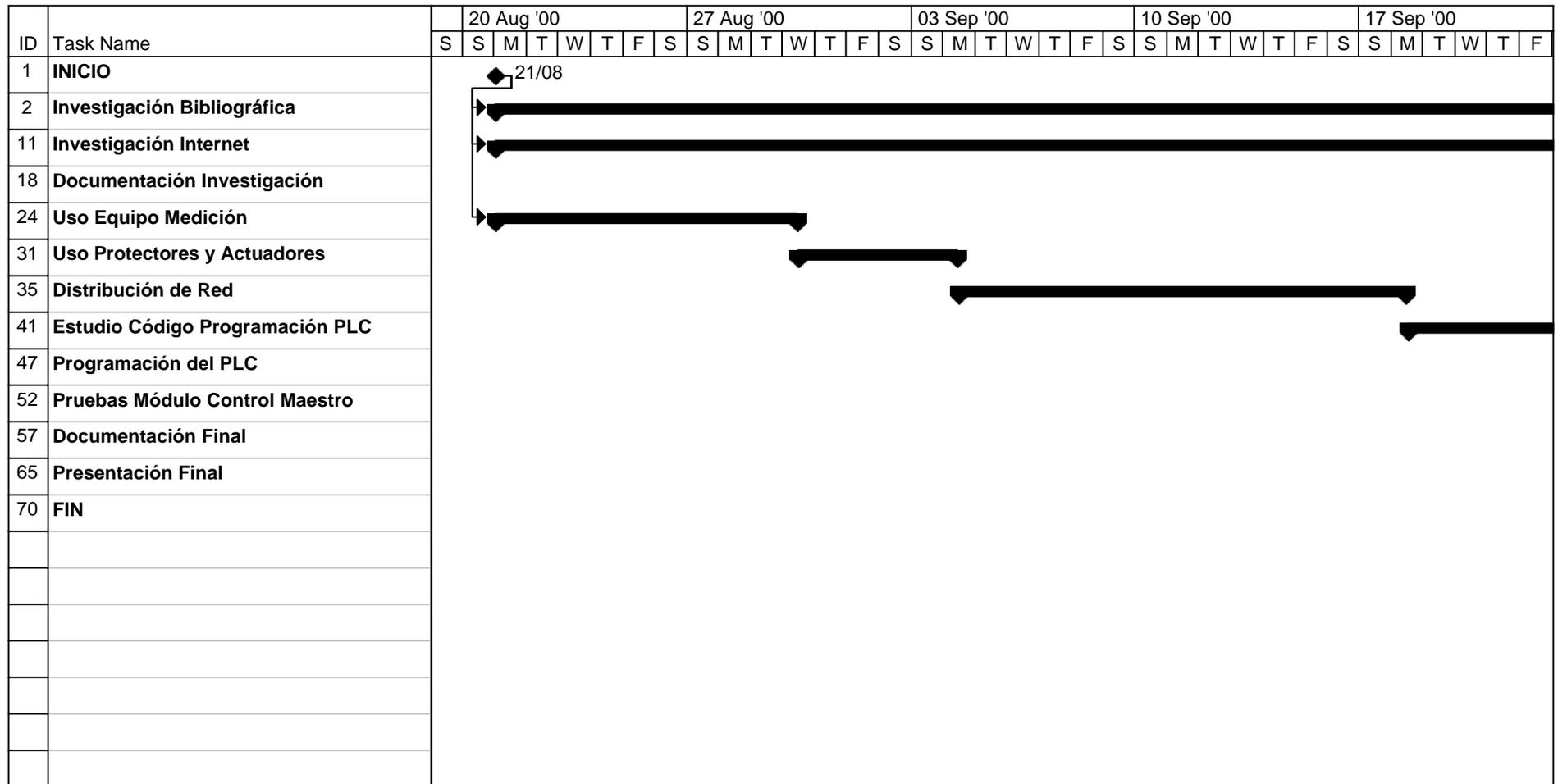
La ejecución de esta tarea se extendió a lo largo del aprendizaje del uso del equipo y al final de cada una de las tareas anteriores se procedía a realizar pruebas de funcionamiento aisladas, o como en el caso de la última, se generó una prueba en conjunto. Las pruebas que en este apartado se mencionan son las pruebas finales del sistema funcionando.

Al final de esta tarea, se realizaron las últimas pruebas del sistema funcional, para proseguir con las dos últimas actividades del proyecto, punto en el cual se unen las tareas de investigación con las de trabajo de campo, como se puede apreciar de la gráfica de Pert de la figura 3.2, , al final de este capítulo.

3.10. Documentación y presentación de resultados

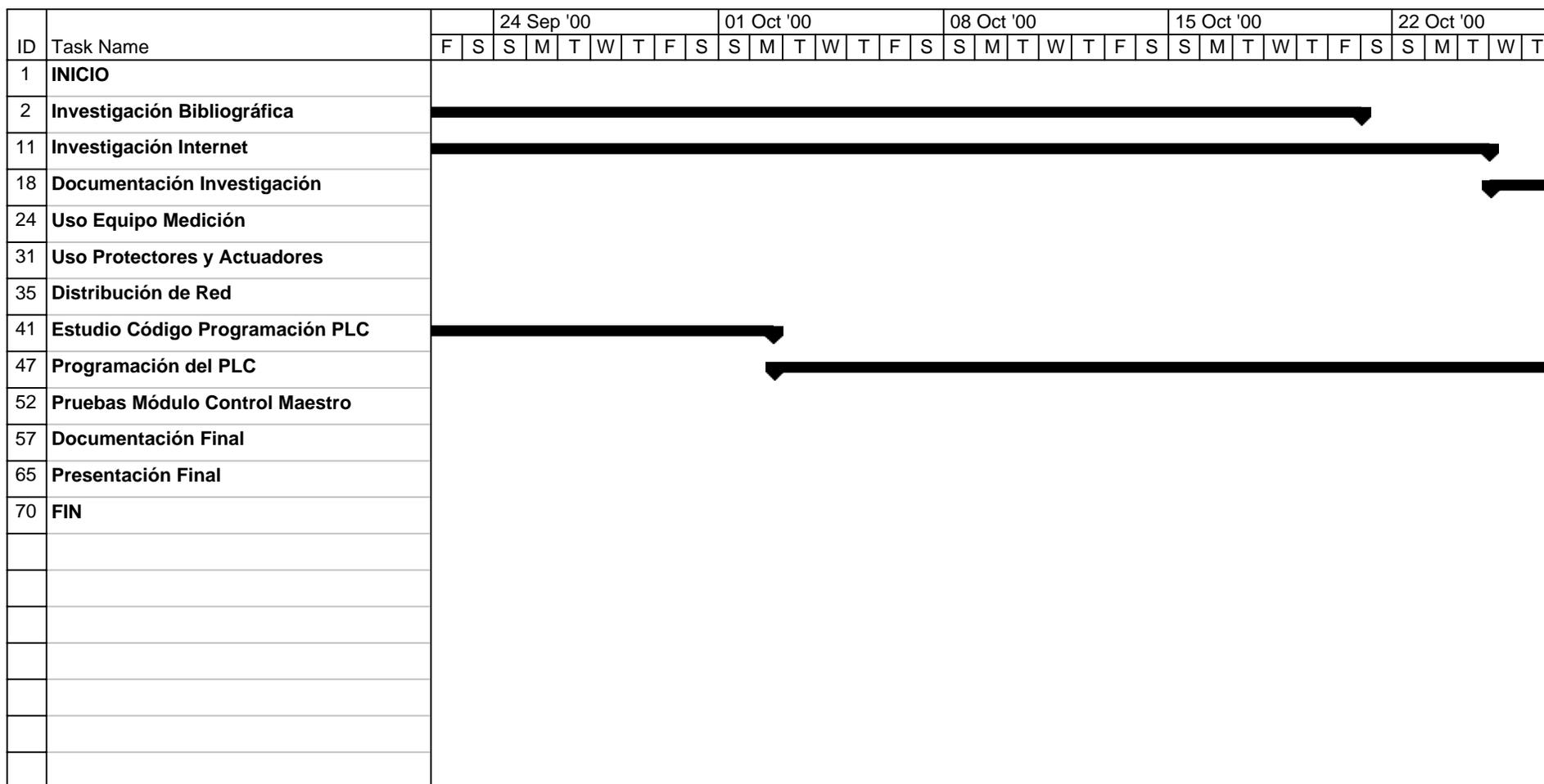
Estas son las dos últimas actividades del proyecto. En éstas se desarrolló el informe final, el cual contempla los resultados obtenidos en el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos y las pruebas realizadas con el sistema total funcionando y la presentación final del proyecto.

La presentación de los resultados, análisis y conclusiones a las que se llegó, se incluyeron en el disco compacto que contiene el informe final, así como documentos adicionales que se mencionan en la bibliografía y en el desarrollo del presente informe.



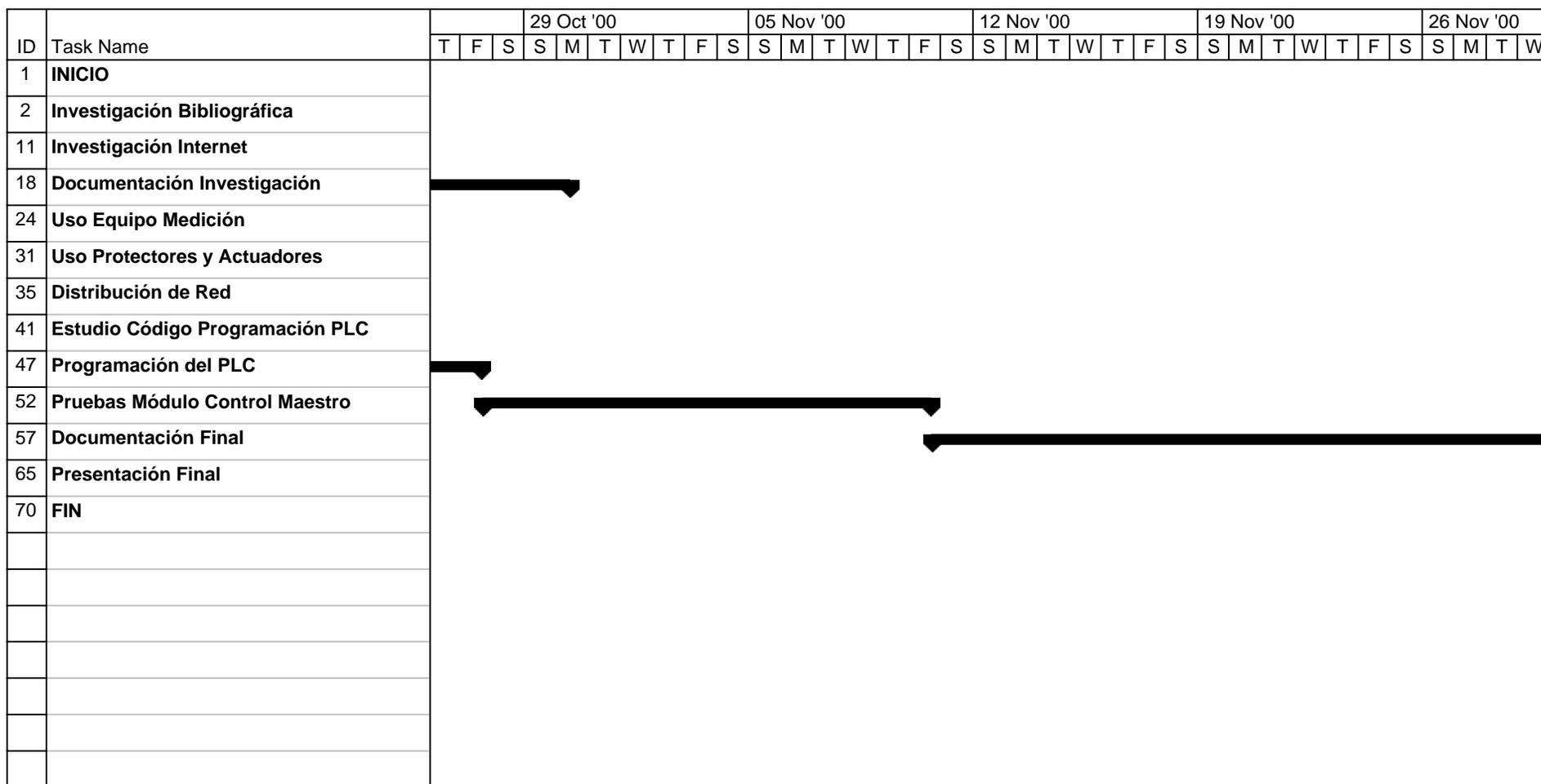
Microsoft Project

Figura 3.1 Diagrama de Gantt



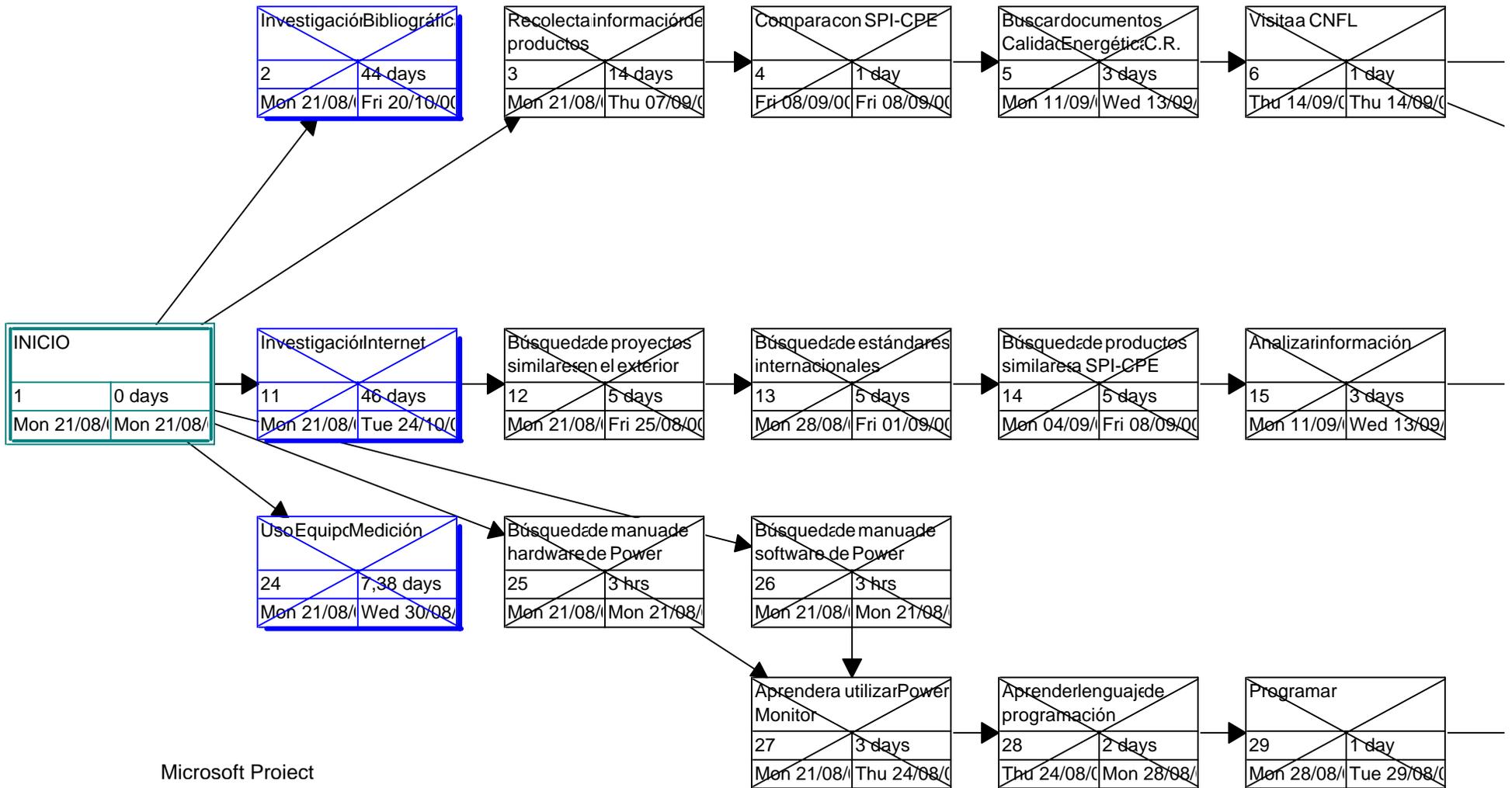
Microsoft Project

Figura 3.1 Diagrama de Gantt (continuación)



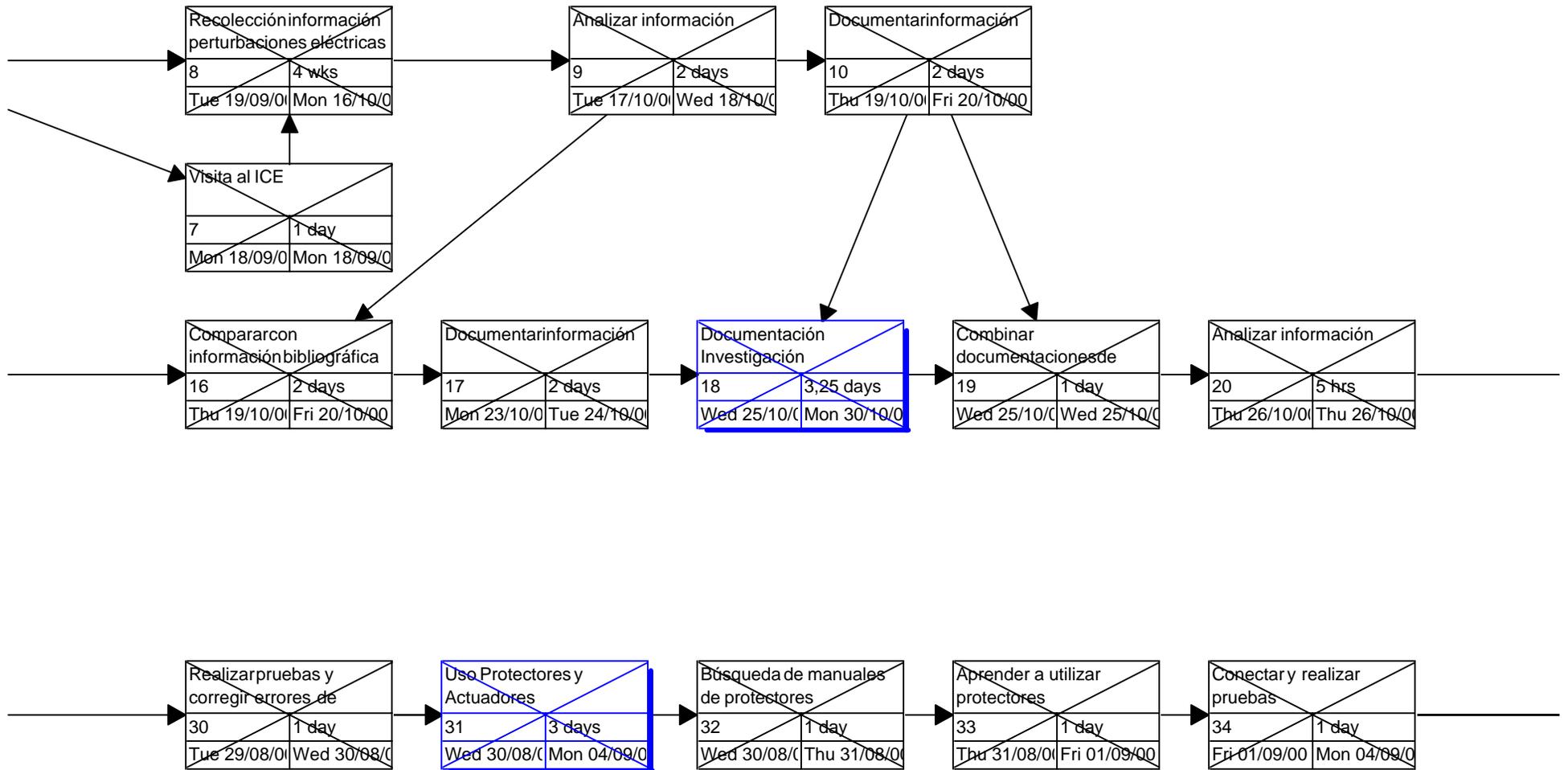
Microsoft Project

Figura 3.1 Diagrama de Gantt (continuación)



Microsoft Project

Figura 3.2 Diagrama de Pert



Microsoft Project

Figura 3.2 Diagrama de Pert (continuación)

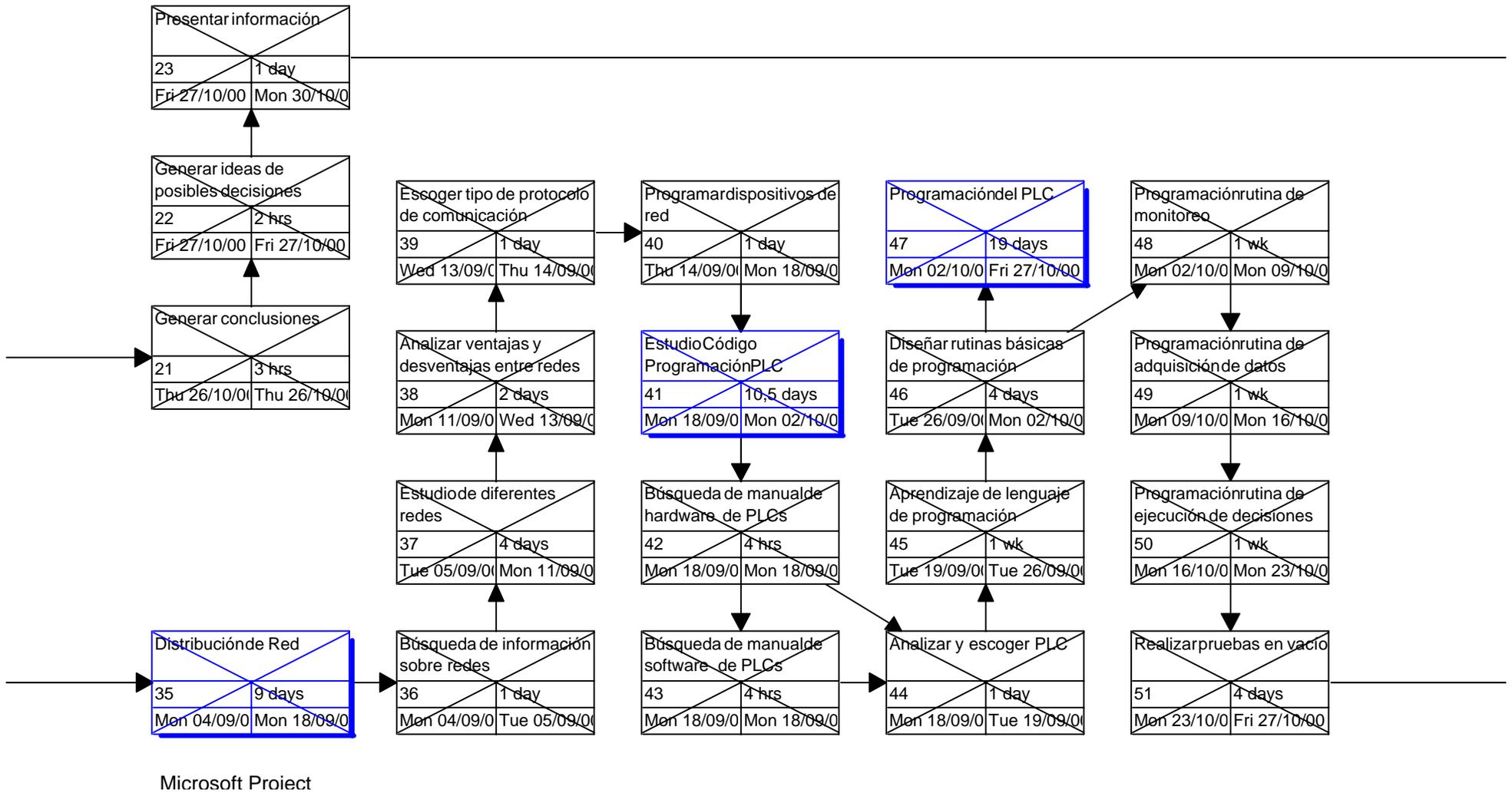


Figura 3.2 Diagrama de Pert (continuación)



Microsoft Project

Figura 3.2 Diagrama de Pert (continuación)

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

En el presente capítulo se dará una descripción del hardware que se utilizó en el proyecto. Será una descripción de los dispositivos directos del sistema, así como de aquellos que se utilizaron solamente para la programación de los primeros. El sistema se compuso esquemáticamente del equipo que se muestra en la figura 4.1:

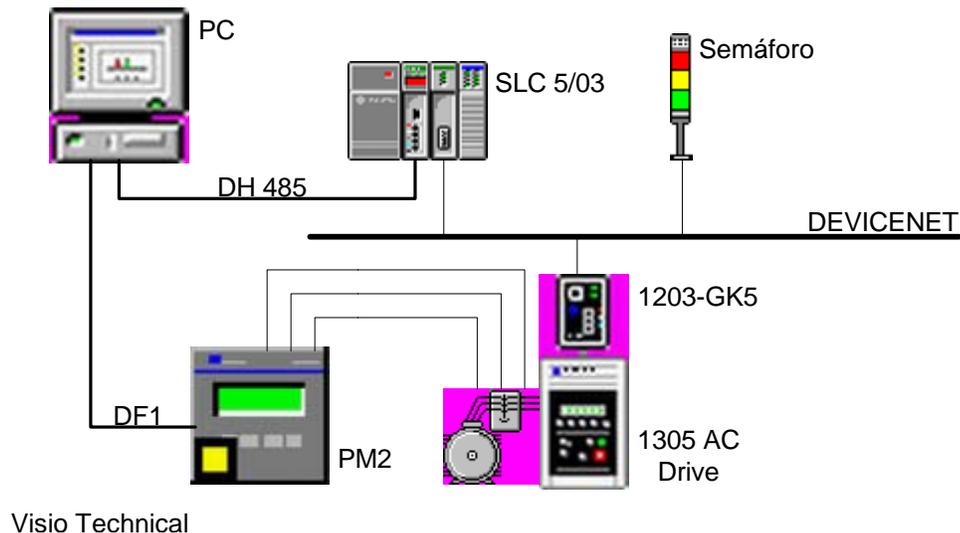


Figura 4.1 Diagrama del sistema funcional

4.1. Computadora personal (PC)

Se utilizó una computadora portátil, proporcionada por Elvatrón, con las siguientes características: Toshiba Satellite 365 CDS, Pentium MMX, con un sistema operativo Windows NT, 96 Mbytes de memoria ram y 4 Gbytes de disco duro.

En sí el sistema operativo pudo haber sido Windows 98, ya que éste no determinó el funcionamiento de las aplicaciones de software. Esta computadora portátil se utilizó tanto para efectos de programación de los dispositivos de red, que se explicarán más adelante, así como para monitoreo visual del equipo de medición y desempeño de funciones de control central.

Para cumplir con estas funciones se debió instalar los paquetes de software necesarios para la comunicación, programación y visualización del proyecto.

Dichos programas se listan y explican en el capítulo siguiente, pero cabe mencionarlos para efectos de relación con el hardware involucrado: RSLinx para la comunicación, RSLogix 500 para la programación del SLC, RSPower32 para el monitoreo, configuración y visualización de los parámetros del Powermonitor II y DeviceNet Manager para el manejo y programación de los dispositivos de red.

Con respecto a la comunicación, esta computadora tenía una tarjeta de red Ethernet para la conexión en la red de computadoras de Elvatrón, no así para efectos de la red del sistema. Para este caso se utilizó una tarjeta 1784-PCM-K para la conexión a DH485, con la posibilidad también de poderse conectar a DH+ ó RIO, protocolos de comunicación de los cuales se hablará mas adelante, así como de los dispositivos necesarios para la configuración y comunicación de las distintas redes que se utilizaron.

Para obtener información técnica más detallada, referirse a la página en Internet de la búsqueda de manuales técnicos de Rockwell Automation: <http://www.ab.com/manuals/>, donde se pueden buscar los manuales que en la bibliografía se mencionan. También se puede buscar otra documentación para complementar la información acerca de los productos que en este capítulo se mencionan.

4.2. Powermonitor II

Este equipo de medición, diseñado por Allen Bradley, es un monitor de potencia, con referencia 1403-MM05A dentro del catálogo de productos que ofrece este fabricante. Es un dispositivo de monitoreo y control, basado en microprocesador, óptimo para mediciones de alto y bajo voltaje, así como de alta y baja corriente.

Cuenta con un módulo de despliegue (1403 Display Module) que se utilizó para configuración y despliegue de datos locales. Se comunica al módulo central por dos líneas seriales de fibra óptica. A continuación se dará un detalle más a fondo del módulo central.

4.2.1. Características generales

Como se mencionó, el módulo central (1403-MM) cuenta con un módulo de despliegue (1403-DM), pero también cuenta con una tarjeta de comunicación inteligente, la cual se conecta directamente a este módulo. Los detalles de estos dispositivos de comunicación se darán más adelante. Entre las características principales se pueden citar las siguientes:

- a. Medición y despliegue de voltaje, corriente y potencia
- b. Actualización de resultados desde 28 ms hasta 90 ms
- c. Interfaz de comunicación
- d. Software propio y capacidad de integración a sistemas de control
- e. Compatibilidad con controladores PLC-5 y SLC-500
- f. Salidas de control de relé o vía PLC
- g. Entradas de monitoreo vía entradas de estado
- h. Bitácoras de medición y eventos con reseña de tiempo real
- i. Análisis de armónicas
- j. Generación de gráficas multicanal simultáneo

Para la realización del monitoreo y configuración del 1403-MM se utilizó la computadora portátil, comunicándose con este módulo por medio del puerto RS-232 a la tarjeta de comunicación del mismo. En la computadora se tenía el software RSPower32, el cual ofrece todos los parámetros de configuración en un ambiente de Windows, al igual que el despliegue de datos de medición. También se pudo configurar y monitorear el módulo central con el módulo de despliegue.

4.2.2. Características de monitoreo

El 1403-MM05A tiene la capacidad de monitorear parámetros en tiempo real los cuales se listan en las tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

Tabla 4.1 Parámetros de voltaje y corriente

Parámetro	Descripción	Rango	Unidad
Voltaje L-N fase 1 Voltaje L-N fase 2 Voltaje L-N fase 3	Voltaje RMS línea a neutro para las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Voltaje L-N trifásico promedio	Voltaje RMS promedio de las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Voltaje L-L fases 1 a 2 Voltaje L-L fases 2 a 3 Voltaje L-L fases 3 a 1	Voltaje RMS línea a línea entre las fases 1 y 2, 2 y 3, 3 y 1	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Voltaje L-L trifásico promedio	Voltaje RMS promedio entre las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Voltaje auxiliar	Voltaje RMS de la señal CA o CD auxiliar	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Corriente fase 1 Corriente fase 2 Corriente fase 3 Corriente neutro	Corriente RMS para las fases 1, 2, 3 y neutro	0 – 999,9 x 10 ²²	A
Corriente trifásica promedio	Corriente RMS promedio para las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	A
Frecuencia	Frecuencia del voltaje	0 – 132	Hz
Rotación de fase	El sentido de la rotación de la fase de un sistema trifásico	0 = ninguno 1 = ABC 2 = ACB	N/A
Secuencia positiva del voltaje	Magnitud de la parte positiva de la tensión en un sistema trifásico	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Secuencia negativa del voltaje	Magnitud de la parte negativa de la tensión en un sistema trifásico	0 – 999,9 x 10 ²²	V
Secuencia positiva de la corriente	Magnitud de la parte positiva de la corriente en un sistema trifásico	0 – 999,9 x 10 ²²	A
Secuencia negativa de la corriente	Magnitud de la parte negativa de la corriente en un sistema trifásico	0 – 999,9 x 10 ²²	A
Desbalance de tensión	La relación entre la parte positiva y la negativa de la tensión en un sistema trifásico	0 – 100	%
Desbalance de corriente	La relación entre la parte positiva y la negativa de la corriente en un sistema trifásico	0 – 100	%

Tabla 4.2 Parámetros de potencia

Parámetro	Descripción	Rango	Unidad
Potencia fase 1 Potencia fase 2 Potencia fase 3	Potencia de las fases 1, 2 y 3, el signo indica la dirección	0 – 999,9 x 10 ²²	W
Potencia trifásica total	Potencia total de las fases 1, 2 y 3, el signo indica la dirección	0 – 999,9 x 10 ²²	W
Potencia reactiva fase 1 Potencia reactiva fase 2 Potencia reactiva fase 3	Potencia reactiva en las fases 1, 2 y 3, el signo indica la dirección	0 – 999,9 x 10 ²²	VAR
Potencia reactiva trifásica total	Potencia reactiva total de las fases 1, 2 y 3, el signo indica la dirección	0 – 999,9 x 10 ²²	VAR
Potencia aparente fase 1 Potencia aparente fase 2 Potencia aparente fase 3	Potencia aparente en las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	VA
Potencia aparente trifásica total	Potencia aparente total de las fases 1, 2 y 3	0 – 999,9 x 10 ²²	VA
Factor de potencia fase 1 Factor de potencia fase 2 Factor de potencia fase 3	La relación entre la potencia real y la potencia aparente para cada una de las fases	-100 a 100	%
Factor de potencia total	Factor de potencia total de las fases 1, 2 y 3, el símbolo (+) indica adelanto, el (-) atraso	-100 a 100	%
Factor de distorsión Fase 1 Fase 2 Fase 3	La relación entre la magnitud de la fundamental y la suma de la magnitud de todas las armónicas de corriente para cada una de las fases	-100 a 100	%
Factor de distorsión total	La relación entre la magnitud de la fundamental y la suma de la magnitud de todas las armónicas de corriente para las fases	-100 a 100	%
Factor de desplazamiento Fase 1 Fase 2 Fase 3	El coseno de la diferencia entre el ángulo de fase de las fundamentales de voltaje y corriente para cada una de las fases 1, 2 y 3 FD% = 100 x cos($\theta_{\text{voltaje}} - \phi_{\text{corriente}}$)	-100 a 100	%
Factor de desplazamiento total	El coseno de la diferencia entre el ángulo de fase de las fundamentales de voltaje y corriente para las fases 1, 2 y 3, el símbolo (+) indica adelanto y el (-) atraso	0 – 999,9 x 10 ²²	A

Tabla 4.3 Parámetros de análisis de armónicos

Parámetro	Descripción	Rango	Unidad
Factor de calor	Factor de calor del transformador	0 – 999,9 x 10 ²²	N/A
Factor de cresta	Relación del pico de amplitud al valor RMS, conocido también como factor de amplitud o factor de pico $FC = V_{pico} / V_{RMS}$	0 – 999,9 x 10 ²²	N/A
TIF	Factor de influencia telefónico	0 – 999,9 x 10 ²²	N/A
Cumplimiento IEEE-519	Indicación de cumplimiento o fallo de la especificación IEEE-519	Bien Fallo	N/A
Distorsión armónica total IEEE	Magnitud de las armónicas medidas con respecto a la fundamental	0 – 100	%
Distorsión armónica total IEC	Magnitud de todas las armónicas medidas excluyendo la fundamental con respecto a todas las armónicas medidas incluyendo la fundamental	0 – 100	%
Distorsión armónica	Magnitud de cada armónica individual con respecto a la fundamental hasta la 41 ^a	0 - 100	%
Magnitud de la armónica	Magnitud de cada armónica hasta la 41 ^a	0 – 999,9 x 10 ²²	V ó A
Ángulo de fase de la armónica	Ángulo de fase de la armónica hasta la 41 ^a	0 – 360	grados

El factor de influencia telefónico (TIF) es otra forma de medir la distorsión de señales y se utiliza para estimar el efecto que las armónicas de las líneas de energía pueden tener en conductos telefónicos analógicos cercanos. Con este método, la magnitud de cada una de las armónicas es escalada con respecto a las características fisiológicas y audiológicas del oído humano. Además son escaladas para que reflejen la relación de la frecuencia de la armónica y el acople con las líneas telefónicas.

IEEE-519 es el estándar para “Prácticas y requerimientos recomendados para control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia”. La idea de este estándar es proveer límites recomendados para el nivel de inyección de armónicos de corriente en el punto de acople común entre el usuario y el proveedor de energía.

Tabla 4.4 Parámetros de demanda

Parámetro	Descripción	Rango	Unidad
Energía real directa consumida	Potencia directa (+) total consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KWh
Energía real reversa consumida	Potencia reversa (-) total consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KWh
Energía real neta consumida	Potencia total directa y reversa consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KWh
Energía reactiva directa consumida	Potencia reactiva directa (+) total consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KVARh
Energía reactiva reversa consumida	Potencia reactiva reversa (-) total consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KVARh
Energía reactiva neta consumida	Potencia reactiva total directa y reversa consumida por hora	0 – 1,0 x 10 ¹²	KVARh
Demanda de corriente	La demanda calculada de corriente promedio	0 – 1,0 x 10 ¹²	A
Demanda de potencia	La demanda calculada de potencia real total	0 – 1,0 x 10 ¹²	W
Demanda de potencia reactiva	La demanda calculada de potencia reactiva total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VAR
Demanda de potencia aparente	La demanda calculada de potencia aparente total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VA
Demanda proyectada de corriente # 1	La demanda instantánea de corriente promedio	0 – 1,0 x 10 ¹²	A
Demanda proyectada de potencia real #1	La demanda instantánea de potencia real total	0 – 1,0 x 10 ¹²	W
Demanda proyectada de potencia reactiva #1	La demanda instantánea de potencia reactiva total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VAR
Demanda proyectada de potencia aparente #1	La demanda instantánea de potencia aparente total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VA
Demanda proyectada de corriente # 2	La demanda proyectada de primer orden de corriente promedio	0 – 1,0 x 10 ¹²	A
Demanda proyectada de potencia real #2	La demanda proyectada de primer orden de potencia real total	0 – 1,0 x 10 ¹²	W
Demanda proyectada de potencia reactiva #2	La demanda proyectada de primer orden de potencia reactiva total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VAR
Demanda proyectada de potencia aparente #2	La demanda proyectada de primer orden de potencia aparente total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VA
Demanda proyectada de corriente # 3	La demanda proyectada de segundo orden de corriente promedio	0 – 1,0 x 10 ¹²	A
Demanda proyectada de potencia real #3	La demanda proyectada de segundo orden de potencia real total	0 – 1,0 x 10 ¹²	W
Demanda proyectada de potencia reactiva #3	La demanda proyectada de segundo orden de potencia reactiva total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VAR
Demanda proyectada de potencia aparente #3	La demanda proyectada de segundo orden de potencia aparente total	0 – 1,0 x 10 ¹²	VA
Tiempo de demanda total	Tiempo que transcurrió durante el período de demanda		

4.2.3. Descripción de entradas y salidas

La tabla 4.5 resume el detalle de las entradas del monitor de potencia, en tanto la tabla 4.6 hace referencia a las salidas de dicho módulo. Así mismo, la distribución física de dichos puntos de conexión se observan en el [apéndice 4](#).

Tabla 4.5 Detalle de entradas del Powermonitor II

Entrada	Descripción
V1, V2, V3 y Neutro	Tres voltajes de fase y un neutro.
I1+, I1-, I2+, I2-, I3+, I3-, I4+, I4-	Tres corrientes de fase y la corriente del neutro. La polaridad de las conexiones es crítica, la inversión de fase confunde todas las mediciones con respecto a los ángulos de fase y la entrada o salida de poder. Este dispositivo está diseñado para 5 A máximo por entrada.
Entrada analógica (Vaux)	Es una entrada de voltaje extra que puede ser usada internamente para representar algún valor externo. Tiene un rango de hasta 1 VCD. Generalmente se usa para representar valores de temperatura de transformador.
Fibra óptica (RX, TX)	La arquitectura de comunicación consiste en un anillo de fibra óptica entre el módulo maestro y el módulo de despliegue, aunque se pueden conectar hasta tres módulos de este tipo.
S1, S2, S3, S4, SCOM	Entradas de estado y conexión común. Son entradas auxiliares de contacto que pueden ser utilizadas para activar alarmas, disparar registro de eventos o ser enviadas a través del puerto de comunicación para ser utilizadas en algoritmos de software. Generalmente se utilizan para identificar estados de alimentadores o contactores en un nodo de alimentación.
N/-, L/+, GRD	Son las conexiones eléctricas de la fuente de poder interna, el 1403-MM05A está diseñado para 120V/240V CA 50/60 Hz o 125V/250V CD. La entrada GRD se conecta a la tierra física.

Tabla 4.6 Detalle de salidas del Powermonitor II

Salida	Descripción
R14, R11, R12 R24, R21, R22	Son las dos salidas de relé que pueden ser accionadas por el software de control o por proceso de decisión interno del Powermonitor II. Pueden ser configuradas para funcionar como relés de alarmas, relés de control operados por comandos ingresados por la tarjeta de comunicación o el módulo de despliegue, salidas de pulsos para KWh o KVARh o relés accionados por condiciones reguladas por el usuario.

4.2.4. Tipos de comunicación

La tarjeta que se utilizó para comunicarse con el Powermonitor II fue la 1403-NSC, tarjeta inteligente con comunicación vía RI/O, RS-232 o RS-485, redes de comunicación de Allen Bradley. En este caso se utilizó el puerto RS-232 de esta tarjeta para la conexión a la red DF1 con la computadora portátil.

Pero también se pueden utilizar las tarjetas de comunicación 1403-NENET para comunicaciones vía Ethernet o la 1403-NDNET para comunicarse vía DeviceNet.

4.2.5. Gráficas y Archivos de registro

El Powermonitor II permite o provee tres tipos de registros de datos: el archivo de eventos, el archivo de mínimos y máximos y el archivo de registro instantáneo. Cada registro de cada archivo lleva consigo el detalle de fecha y hora, con una aproximación a una centésima de segundo.

El primero de los archivos contiene los 100 eventos ocurridos recientemente. Dichos eventos consisten en encendido y apagado, activación de puntos de disparo, datos de configuración nueva.

El archivo de máximos y mínimos graba los valores mínimos y máximos para 84 parámetros del 1403-MM. Entre los parámetros están los voltajes, corrientes, potencias, distorsión armónica total, etc. Este archivo puede ser deshabilitado, con el fin de incrementar el tiempo de actualización de las mediciones.

El tercer archivo, el de puntos de disparo, contiene 50 registros, cada uno de los cuales consiste de 46 parámetros. Estos parámetros incluyen voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, etc. Este archivo se puede actualizar en una base periódica, según la configuración del dispositivo o bien, se puede actualizar asincrónicamente como resultado de algún punto de disparo.

En cuanto a las gráficas, este dispositivo provee de dos tipos de gráficas, gravables de 7 canales simultáneos, con dos ciclos por canal y gravables de 2 canales, con doce ciclos por canal, éstas últimas configurables por el usuario.

Los dos tipos de gráficas pueden ser generadas manualmente por el usuario o como resultado de algún punto de disparo. En todos los canales se realiza un muestreo a una velocidad de 10,8 KHz.

4.2.6. Conexión al sistema

El Powermonitor II, monitor de potencia, se conectó según el diagrama de conexión de la figura A.9, que se encuentra en el [apéndice 4](#). Se utilizaron fusibles de 250 V, 5 A, con el fin de proteger las entradas de voltaje y corriente.

No se utilizaron transformadores de medición de corriente CT en este caso, dado que la corriente hacia el motor fue de 3,2 A, lo que permitía una conexión directa. Así también sucedió con las entradas de voltaje, se pudo conectar directamente sin la necesidad de transformadores de medición de voltaje PT.

Como se puede observar, el punto de conexión del Powermonitor fue entre el variador de frecuencia y el motor, esto con el fin de tener una carga y poder medir las distorsiones en la corriente, producidas por el variador de frecuencia.

4.3. Controlador programable SLC 5/03

Este controlador programable pertenece a la familia de controladores lógicos pequeños de Allen Bradley (SLC = Small Logic Controller). En el [anexo 1](#) se puede observar parte de la hoja de datos de este controlador, si se desea la referencia completa remitirse a la bibliografía correspondiente.



Figura 4.2 Controlador SLC 5/03

En la figura 4.2 se muestra una imagen frontal del SLC 5/03 el cual contiene, de izquierda a derecha, los siguientes módulos: fuente de alimentación, CPU o unidad central de proceso, escáner de DeviceNet, módulo de entradas discretas de 120 VCA y un módulo de salidas discretas de 120 VCA.

La unidad central de proceso está basada en un procesador SLC 5/03, el cual tiene tiempos de respuesta de salida de 1 ms para un programa de usuario de 1Kbyte. Tiene la capacidad de ser programado en línea, o sea, no es necesario detener el proceso que está controlando para poder modificar el programa. Cuenta con dos canales de comunicación integrados en el mismo módulo del CPU, RS-232 y DH-485.

Entre las características generales del procesador tenemos que cuenta con:

- a. Memoria de programa de 16 Kbytes
- b. Control de hasta 4096 puntos de entradas y salidas
- c. Programación en línea (ediciones con programa en ejecución)
- d. Canal DH-485 incorporado
- e. Canal RS-232 incorporado, el cual soporta protocolos de comunicación DF1 full duplex, DF1 half duplex, DH-485 y ASCII E/S
- f. Reloj / calendario de tiempo real incorporado
- g. Interrupción temporizada seleccionable (STI) de 2 ms
- h. Interrupción de entrada discreta (DII) de 0,5 ms
- i. Instrucciones matemáticas avanzadas: trigonométricas, PID, exponencial, de punto flotante, etc.
- j. Direccionamiento indirecto
- k. Flash PROM para realizar actualizaciones sin cambiar físicamente las memorias EPROM
- l. Módulo opcional de memoria flash EPROM
- m. Tres modos de operación: activo, remoto y programa
- n. Memoria RAM respaldada por batería

Como se puede apreciar de la figura 4.2, el CPU manejó tres módulos de E/S (entrada / salida), para el sistema central de control. El primer módulo es un escáner de DeviceNet, del cual se hablará con más detalle en la división 4.6 Dispositivos de red DeviceNet. El siguiente módulo a la derecha es de entradas discretas de 120 VCA, el cual maneja las dos líneas provenientes del Powermonitor y que corresponden a los dos relés normalmente abiertos de este dispositivo. El último módulo es el de salidas discretas, que para este caso no se utilizó, pero deja abierta la posibilidad de expansión del sistema.

La fuente de alimentación para el controlador tiene como voltaje de entrada 120 VCA monofásico, con la correspondiente conexión a la tierra física. Además tiene como salida de voltaje una fuente de 24 VCD, la cual se utilizó para energizar la red de DeviceNet y el puerto de dicha red del escáner del controlador. De esto se hablará con más detalle en la sección 4.6.

En cuanto a la programación del SLC, se utilizó el programa RSLogix 500 de Rockwell Software, del cual se hablará en el capítulo 5. Además se utilizó el programa RSLinx para el manejo del protocolo de comunicación DH-485 de la computadora al SLC y viceversa.

4.4. Variador de frecuencia y motor

Con el fin de tener una carga que poder monitorear, se utilizó un variador de frecuencia actuando sobre un motor de reluctancia trifásico, de 220 VCA, con 746 W y 2,8 A. El motor tiene como carga un abanico de 25 cm de diámetro.

El manual del usuario de dicho dispositivo se puede observar en el [anexo 2](#) y si se desea información más detallada de la programación de los parámetros de este dispositivo, se puede consultar en la dirección electrónica de los manuales de Allen Bradley que se muestra en la bibliografía.



Paint

Figura 4.3 Variador de frecuencia 1305

La figura 4.3 muestra una vista frontal del variador de frecuencia, sin ninguna carga conectada, pero se puede apreciar la interfaz de despliegue y programación HIM, la cual se utilizó con dichos fines, programación y visualización. Cabe destacar que en este informe no se dará reseña de la programación de este dispositivo, se partirá del hecho de que el variador ya ha sido programado con los parámetros del motor que manejará.

En forma general, el 1305 tiene las siguientes características:

- a. Está diseñado para suministrar 0,37 a 4 KW a una tensión de entrada de 380/460 VCA y entre 0,37 a 2,5 KW para una tensión de entrada de 200/230 VCA
- b. Puede producir un alto torque a través de una amplia gama de velocidad
- c. Respuesta rápida de aceleración
- d. Función de limitación de corriente híbrida con el fin de reducir disparos durante cargas de choque, aceleraciones rápidas, funcionamiento a velocidad constante y desaceleración
- e. Protección electrónica contra sobrecarga del motor
- f. Función de compensación IR
- g. Frenado dinámico inherente para un torque rápido
- h. Compensación de deslizamiento para tener control sobre la velocidad durante cambios de carga
- i. Tiene módulos inteligentes de potencia que utilizan tecnología IGBT (transistor bipolar de compuerta aislada)
- j. Cuenta con un módulo de terminal de operador HIM desmontable, para la programación y visualización de parámetros
- k. Comunicación SCANport
- l. Programación vía HIM, PLC, SLC o a través de un puerto serie de comunicaciones usando software DriveTools de Allen Bradley
- m. Entradas / Salidas configurables

La tabla 4.7 resume las especificaciones de entrada, salida y la tabla 4.8 los parámetros de ajuste para el variador.

Tabla 4.7 Especificaciones de entrada y salida del 1305

Especificaciones de entrada		Especificaciones de salida	
Tensión trifásica	200/230 VCA \pm 10% 380/460 VCA \pm 10%	Tensión	Ajustable desde 0 hasta la tensión nominal de entrada
		Rango de frecuencia	0 – 400 Hz, programable
Frecuencia	47 – 63 Hz	Resolución de frecuencia	0,01 Hz
Tiempo de sustentación d potencia	15 ms mínimo	Corriente continua	100% de la corriente nominal
		Corriente intermitente	150% durante 60 s
Tiempo de sustentación de control	0,5 s mínimo 2,0 s típico	Disparo instantáneo de corriente	200% hasta 270%
		Regulación de velocidad	1%

Tabla 4.8 Parámetros de ajuste del 1305

Parámetros de ajuste	
Aceleración / desaceleración	0,0 – 3600 segundos en incrementos de 0,1 segundos
Frecuencia	0 – 120 Hz mínimo 40 – 400 Hz máximo
Modo de paro	Paro controlado / inercia / paro por freno de CC / paro de curva en S
Límite de corriente ajustable	20% – 150%
Sobrecarga de motor	20% - 115%
Control de motor	V / Hz
Velocidades preseleccionadas	0 – 400 Hz, 7 selecciones, establecidas independientemente
Entrada de funcionamiento por impulsos	0 – 400 Hz

Este variador cuenta también con filtros para interferencia electromagnética e interferencia de radio frecuencia. En el manual del usuario, en el [anexo 2](#), se hace referencia a que las líneas de control hacia el motor deben estar ubicadas de forma tal de que no induzcan interferencias en equipos electrónicos susceptibles a dichas perturbaciones.

Dentro de este anexo se da el detalle de las dos palabras lógicas que se leen o escriben del variador vía puerto SCANport, el detalle de éstas se dará en la sección 4.6 y en el capítulo 5. Por medio de estas palabras se pudo tener control sobre el variador desde la computadora y se pudo determinar el estado del mismo, con sólo leer una de ellas. La interfaz que se utilizó para comunicar este variador con la red DeviceNet fue la 1203-GK5, de la cual se estará hablando con más detalle en la sección 4.6.

4.5. Dispositivos de red DF1 y DH485

4.5.1. Red DF1

Según la figura 4.1, se tienen tres redes diferentes en el sistema: DF1, DH485 y DeviceNet. De las dos primeras se estará hablando en la sección 4.5 y de la tercera, en la sección siguiente.

La red DF1 se utilizó para la conexión de la computadora portátil al Powermonitor II. Para esto se utilizó tanto hardware como software. Para la conexión física se utilizó el puerto RS-232 de la PC conectado al puerto del 1403 con un cable cruzado, lo que quiere decir que el punto Rx de recepción de la PC estaba conectado al punto Tx de transmisión del monitor y así a la inversa con los puntos Tx de la PC conectado al punto Rx del monitor, como se ilustra en la figura 4.4.

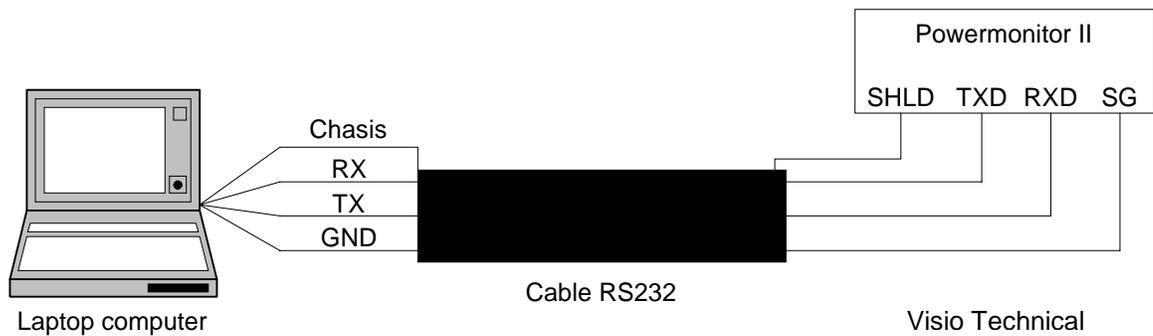


Figura 4.4 Diagrama de conexión PC - Powermonitor

El puerto RS-232 del PM2 (Powermonitor II) se incluye en la tarjeta de comunicación inteligente, la cual contiene también, como se mencionó anteriormente, conexión a DH485 y RI/O, dos protocolos de red utilizados por los productos de A-B (Allen-Bradley). Esta tarjeta puede ser fácilmente desmontada del módulo maestro y ser reemplazada por otra tarjeta de diferente tipo. Esta tarjeta se programa vía hardware, pero ésta ya estaba configurada de fábrica y directamente conectada al PM2.

Lo que se realizó, seguido de la conexión según la figura A.2, fue la configuración vía software del controlador de puerto o configuración del protocolo de comunicación, utilizando para ello el paquete RSLinx. Se utilizó el Controlador Maestro de Escrutinio DF1 (DF1 Polling Master Driver), el cual ejecuta una rutina de escrutinio de un dispositivo maestro, en este caso la computadora, a varios esclavos. Para este caso el único esclavo fue el Powermonitor. Lo que siguió después fue establecer la configuración con el uso de RSPower32 y el intercambio de información entre la portátil y el PM2, de lo cual se hablará en el siguiente capítulo.

4.5.2. Red DH485

Esta red se utilizó para la conexión del SLC 5/03 a la computadora. Se hizo uso de una tarjeta insertable en la PC, la cual provee, vía software, comunicación de este dispositivo al SLC o cualquier dispositivo con conexión a DH485.

Dicha tarjeta 1784-PCMK, contiene dos ranuras, la más grande se inserta en el conector dentro de la computadora portátil y la otra ranura se conecta al cable 1784-PCM4/B, el cual tiene en uno de sus extremos un conector para la PCMK y en otro un conector RJ45 para la conexión al puerto DH-485 del SLC 5/03. Para más información, referirse al [anexo 3](#), en el cual se hace referencia a una parte del manual del usuario de esta tarjeta. La conexión física se muestra en la figura 4.5.

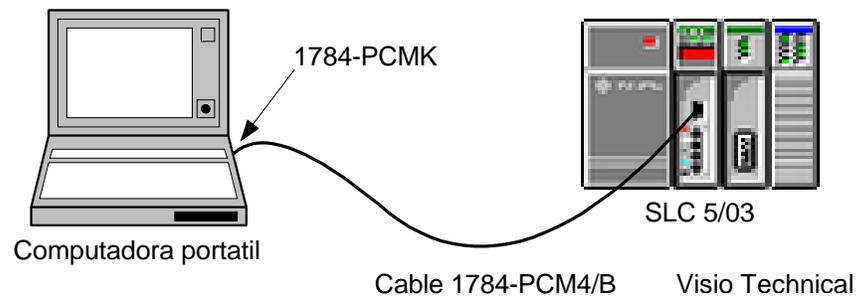


Figura 4.5 Diagrama de conexión PC – SLC 5/03

Una vez hecha la conexión, se configuró el controlador de puerto de dispositivos 1784-PCMK (1784-PCMK Devices) en RSLinx. Se configuró de tal forma que realizara una conexión vía software a la red DH485, pudiéndose configurar también conexiones a redes DH+ y RI/O, ya que la PCMK soporta dichos protocolos.

Esta red sirvió para programar el SLC 5/03 con el paquete de software RSLogix 500, además de poder intercambiar los datos entre la PC y el SLC.

4.6. Dispositivos de red DeviceNet

DeviceNet es una red abierta, diseñada para conectar dispositivos industriales de una forma rápida, efectiva y de bajo costo, a la vez que elimina el tiempo de instalación y los costos que ello implica. Es una red que provee control probabilístico de E/S (entradas / salidas), bajo un esquema multiplexado, no destructivo, de manejo de bits de cada uno de los dispositivos de red. Al mismo tiempo que comunica dispositivos, permite el diagnóstico a nivel de dispositivo.

Esto permite tener mejor control del estado de cada nodo en la red y detectar fallas rápidamente y en qué parte de la red se produjo el error o falla. Este estándar abierto de red fue inventado por Rockwell Automation en 1993, logrando así poder conectar cualquier dispositivo de DeviceNet de cualquier marca, utilizando cualquier tipo de software y hardware.

Los dispositivos que se utilizaron fueron la 1203-GK5, interfaz utilizada para comunicar el variador de frecuencia 1305, vía el SCANport, a la red DN (DeviceNet). El escáner 1747-SDN, módulo acoplado al SLC 5/03, el cual permite el mapeo de todos los dispositivos de red, con lo cual el SLC puede tener comunicación y control de todos los nodos de la red. Para poder configurar dicho escáner, se utilizó una interfaz RS-232 a DeviceNet, la 1770-KFD, con lo cual se tuvo comunicación de la computadora portátil al SDN, para poder configurarlo. Se utilizó también una torre de luces apiladas, más conocida como semáforo, que se utilizó como alarma visual del sistema. El detalle de estos dispositivos se presenta a continuación. Para mayor detalles de estos dispositivos ver el [anexo 4](#).

4.6.1. Interfase física

Esta interfaz es el cable de conexión de la red. Se trata de un cable compuesto por varios alambres de cobre, con recubiertas plásticas de varios colores, según la figura 4.6.

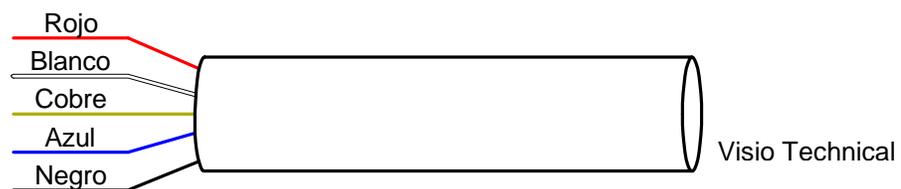


Figura 4.6 Cable de DeviceNet

La terminología utilizada para cada color se lista en la tabla 4.9. Cabe destacar que este cable es blindado, utilizando para ello papel metálico envolvente alrededor de los alambres. El motivo es tratar de evitar perturbaciones o campos electromagnéticos que interfieran en la comunicación.

Tabla 4.9 Terminología del color de los alambres del cable de DeviceNet

Color	Terminal	Señal	Función
Negro	1	COM	Común
Azul	2	CAN_L	Señal baja
Cobre	3	SHIELD	Blindaje
Blanco	4	CAN_H	Señal alta
Rojo	5	PWR	Voltaje

Se utiliza además conectores Phoenix (catálogo: AB0942) de 10 pines, ya que los dispositivos de red contienen el conector hembra de este tipo. Los alambres negro y rojo representan la alimentación de la red, la cual es de 24 VCD. Dicho voltaje se obtuvo de la fuente de alimentación del SLC. Los alambres blanco y azul representan los datos o líneas de información de la red. Respectivamente representan dato alto y dato bajo. El quinto alambre, de color cobre, es un alambre sin cobertura plástica que se utiliza como conexión externa del cable.

La tabla 4.10 establece las limitantes físicas del cable de DN usado, en cuanto a distancia, limitada por la velocidad de transmisión de los datos.

Tabla 4.10 Limitaciones de distancia vrs velocidad de transmisión

Velocidad [Kbps]	Longitud máxima de línea principal [m]
125	500
250	250
500	100

4.6.2. Interfase RS-232 a DeviceNet 1770-KFD

Esta interfaz permitió una conexión directa de la computadora portátil a la red de DeviceNet, para fines de programación del escáner SDN del SLC. Se necesitó de un cable cruzado del puerto RS-232 de la PC al conector RS-232 de la KFD.

Para poder ser parte de la red, se necesitó configurar el controlador de puerto para esta interfaz, lo cual se realizó con el programa de software DeviceNet Manager, el cual utiliza un principio similar al RSLinx, como software de manejo de controladores de protocolos.

Este programa utiliza el controlador de Interfaz RS-232 1770-KFD (1770-KFD RS-232 Interface), el cual permite la comunicación con la KFD y ésta a su vez la comunicación con la red, vía el cable de DN. Este software se utiliza para monitorear la red y de ahí configurar el escáner con todos los nodos, lo que es lo mismo, se hace un mapeo de la red. Esto se explicará con más detalle en el siguiente capítulo. Para más detalles de este dispositivo, referirse al manual de instalación (177056.PDF) listado en la bibliografía y que se puede obtener de la página de Rockwell Automation.

4.6.3. Interfase SCANport a DeviceNet 1203-GK5

Este dispositivo permitió la comunicación del variador de frecuencia con la red de DeviceNet, como se puede apreciar de la figura 4.1. El variador cuenta con una conexión SCANport y el respectivo puerto asociado, el cual se conectó al puerto SCANport de la GK5, con el uso del cable 1202-C03, con conectores macho a macho, de largo de 30 cm.

Este dispositivo cuenta además con un conector Phoenix hembra, que permite el acople con la red DN. Tiene dos LEDs indicadores del estado de la red y del SCANport. Cuenta con dos interruptores tipo DIP que se utilizan para configurar, vía hardware, el número de nodo, la velocidad de comunicación, los enlaces de datos y establecer la respuesta a fallas.

La GK5, con una operación de recepción y escrutinio, permite el paso de datos de E/S entre la red y el variador de frecuencia. En cuanto a los datos que se reciben y se transmiten desde y hacia la red, para el variador se utilizaron dos palabras lógicas de 16 bits cada una. La primer palabra es el comando lógico enviado desde el SLC al 1305. La segunda es la palabra de estado del variador hacia el SLC. El detalle de estos datos se lista en el [anexo 2](#).

Cabe destacar que la configuración de hardware del dispositivo se realizó sin conectarlo a la red, ya que al cambiar la configuración física, se debe apagar o desconectar el dispositivo y volverlo a energizar, para que capte los cambios hechos.

Para acoplarlo al sistema, se definió el nodo 5 como nodo para el variador, además no se configuró ningún enlace de datos, y se utilizó una velocidad de 125 Kbps (Kilo bits por segundo). Además se habilitaron las fallas cuando hubiese pérdida de comunicación, fallas de programa o inactividad y que los datos fueran cero si ocurría algún error. Para más información, remitirse al manual del usuario de este dispositivo (1203-5.3.PDF) en la bibliografía y en el [anexo 4](#).

4.6.4. Semáforo 855T

Esta es una interfaz visual que se utilizó como alarma visual del sistema. Se compone de tres módulos separados, acoplados físicamente. La base, módulo principal, es la que cuenta con las características de configuración vía hardware. Los otros dos módulos son luces estáticas de color rojo y verde, utilizadas para distinguir entre estado normal y falla del sistema.

La base permite la comunicación con la red de DN, utilizando el cable de red conectado a una terminal de conexión. Debido a esto, utiliza el voltaje de red como fuente de alimentación. Cuenta también con interruptores giratorios, los cuales sirven para configurar la velocidad de comunicación y la dirección del nodo.

Para el caso de acople al sistema de monitoreo, se estableció la dirección 8 decimal como nodo para el semáforo, con una velocidad de 125 Kbps. De este dispositivo se lee una sola palabra de estado y se escribe una sola palabra de control, cada una de 8 bits. El detalle de las mismas se puede observar del [anexo 4](#).

Otro detalle es que este módulo se configuró vía software, ya que aparte de la configuración física, se le debe asignar, con el uso del paquete DeviceNet Manager, cuántos y qué clase de módulos tiene bajo control, además de la base del semáforo. También se le configuraron acciones en la presencia de falla, inactividad, tiempos de apagado a encendido y de encendido a apagado y auto diagnóstico de velocidad de comunicación. La configuración y otros detalles relevantes se pueden investigar en el manual del usuario (catálogo número: 855T-5_0.PDF) que se lista en la bibliografía y del cual se obtuvo parte del anexo antes mencionado.

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

Como se ha venido mencionando en el desarrollo del informe, se utilizaron diferentes paquetes de software para la configuración, programación y visualización de dispositivos y procesos. Estos paquetes fueron: RSLinx, DeviceNet Manager, RSPower32 y RSLogix 500, todos ellos desarrollados por Rockwell Software. Información más detallada sobre estos programas se puede encontrar en los manuales en línea, que se detallan en la bibliografía.

5.1. RSLinx

Esta es una familia de productos de comunicación en 32 bits, que soporta productos de Rockwell Software y de Allen-Bradley, además de software MMI (Man Machine Interface). Permite el intercambio, en tiempo real, de datos de dispositivos con aplicaciones diseñadas para el despliegue, intercambio, almacenamiento, programación, etc., así como el manejo del Intercambio Dinámico de Datos (DDE = Dynamic Data Exchange), de ciertas aplicaciones comerciales como Microsoft Excel y Access. A nivel industrial soporta aplicaciones desarrolladas por OEMs, VARs y software de usuario que utilice la Interfase para Aplicaciones de Programa (API) RSLinx C.

Este paquete está disponible en cinco versiones, dependiendo la aplicación, costo y requerimientos de funcionalidad, las cuales son RSLinx Lite, RSLinx OEM, RSLinx Profesional, RSLinx Gateway y RSLinx SDK.

La versión utilizada en este caso fue Gateway que tiene las siguientes características:

- a. Actualización para nuevos procesadores y redes, ya que los controladores de 32 bits de Allen-Bradley se incluyen en un solo paquete
- b. Compatibilidad con productos de Rockwell Software y Allen-Bradley
- c. Operación recurrente de comunicación con múltiples dispositivos
- d. Conectividad con redes que soporten comunicación a través de seis diferentes puentes (bridges)

- e. Sistema de investigación intuitiva soportada por una función de control con despliegue de árbol (RSWho) y diagnóstico comprensivo
- f. Compatibilidad con terceros productos o soluciones a la medida utilizando C API de RSLinx o AdvanceDDE
- g. Acceso de lectura y escritura, síncrona y asíncrona, a los datos de los controladores de Allen-Bradley, vía C API y DDE
- h. Velocidad superior y carga de red reducida con el uso de bloques de lectura y escritura
- i. Conectividad con OPC para clientes locales y remotos
- j. Fácil actualización desde RSLinx Lite y/o RSLinx OEM
- k. Estándar CF_TEXT de DDE para clientes estándar DDE, como Visual Basic y Lotus 1-2-3
- l. Estándar XL_Table para clientes DDE de Microsoft Office, como Excel y Access
- m. Acceso a nivel de computadora para mandar datos de programación, supervisión, manejo de datos y recetas hacia los controladores lógicos
- n. Conectividad a todos los controladores de puertos en todas las estaciones de RSLinx Gateway, en una distribución de planta, desde cualquier cliente que tenga conectividad TCP/IP de RSLinx
- o. Compatibilidad con Microsoft RAS (Servidor de Acceso Remoto), que permite la conexión remota desde cualquier sitio

Este programa se utilizó para la comunicación con el SLC 5/03 y el Powermonitor II. La ventana principal de este programa se muestra en la figura 5.1, en la cual se muestra el detalle del árbol que despliega el detalle de los controladores de puerto utilizados. El primero se refiere a la conexión propia de la computadora a la red Ethernet de Elvatrón. La segunda rama principal es la red DH-485 y la tercera es la red DF1.

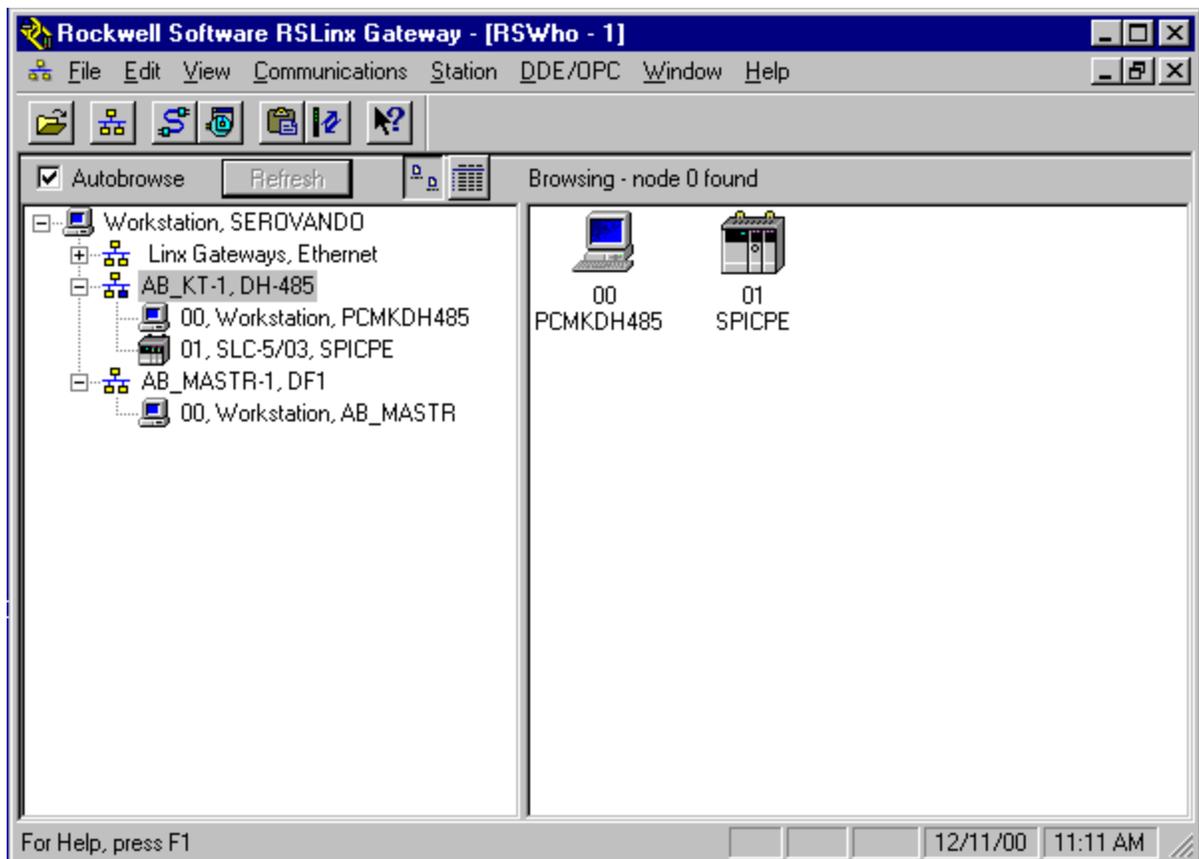


Figura 5.1 Ventana principal RSLinx

En la ventana de detalles, división derecha de esta figura, se observan los nodos pertenecientes a la red DH-485, donde se tiene como nodo 0 a la PC y el nodo 1 al SLC 5/03. Para el caso de la red DF1, se observa sólo un nodo, pero en realidad son dos, talvez se trata de un error de despliegue, pero la conexión con el segundo nodo, el Powermonitor II, si existe.

Con el uso del menú Communications (Comunicaciones) y el submenú Configure Drivers (Configurar Controladores) se logró escoger y configurar el controlador adecuado para la comunicación de las dos redes a las que está conectada la computadora. Para más detalles, buscar el manual del usuario en la página de Internet de Rockwell Software.

5.2. DeviceNet Manager

Fue el programa que se utilizó para la configuración de los dispositivos de la red de DeviceNet. También se utilizó para encontrar fallas que se presentaron a la hora de las pruebas y como ayuda adicional para la programación de las rutinas de lectura y escritura del SLC 5/03 al resto de los nodos en la red.

En la figura 5.2 se muestra la pantalla principal de dicho programa, el cual trabaja en forma general con proyectos. Para este caso, se muestra el proyecto de la red DN1 (DeviceNet 1) del SPICPE.

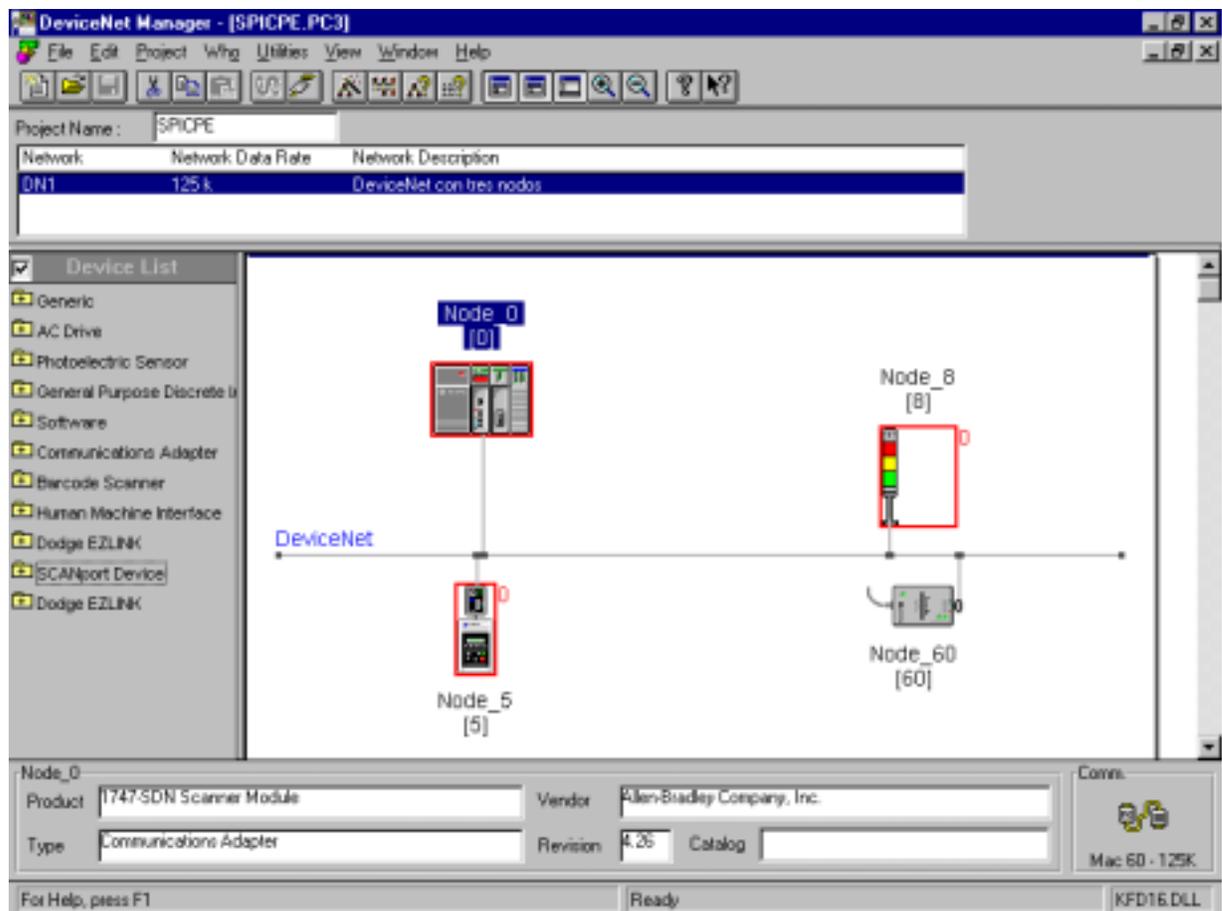


Figura 5.2 Ventana principal DeviceNet Manager

En esta ventana se muestra la distribución de la red, con sus respectivos nodos. El nodo 0 es el módulo de escáner de DeviceNet 1447-SDN del SLC 5/03, el nodo 5 es el dispositivo de SCANport, que en este caso es el variador de frecuencia 1305 con la interfaz 1203-GK5. El nodo 8 corresponde al semáforo y el nodo 60 es la interfase 1770-KFD, que comunicó la computadora con al red y que se utilizó con fines de comunicación para la configuración, visualización y detección de fallas de la red.

Antes de crear el proyecto, se debió proceder a definir el tipo de controlador para la conexión con la red, para esto se utilizó el comando Setup Online Connection (Establecer Conexión en Línea) del menú Utilities (Utilidades). Luego en el menú File (Archivo) se creó o abrió un proyecto, según fuera el caso. Al crear, el programa dirige la creación del mismo, determinando las carpetas de destino de los archivos de información de la red.

Al finalizar la creación aparece la ventana principal de la figura 5.2, sin ningún dispositivo. Se procedió a realizar la construcción de la red con el comando Start Online Build (Iniciar Construcción en Línea) del menú Utilidades. Este comando genera un muestreo de los dispositivos conectados y activos de la red. Al finalizar este comando, aparecen los 4 nodos existentes hasta el momento.

Luego se procedió a la configuración del escáner, para lo cual su utilizaron herramientas del software. Para cada nodo se definieron dos palabras lógicas, una de escritura y otra de lectura. Estas palabras se escriben en tablas de escritura y lectura, según corresponda, con lo cual se le define al escáner donde podrá leer o escribir para cada nodo de la red.

Luego se procedió a realizar el mapeo de cada dispositivo, utilizando para ello los archivos M0 y M1 de cada dispositivo. Estos archivos propietarios del SLC 5/03 se explicarán con más detalle en la sección 5.4.

Una vez realizado el mapeo, se salvaron los archivos de red en el directorio del proyecto. Cabe destacar que antes de realizar el mapeo del semáforo, se configuró este dispositivo desde este programa. Para ello se picó dos veces seguidas sobre el icono del semáforo, lo que generaba una ventana de configuración. En ella se listan los parámetros que se pueden cambiar. Se escogió para ello tiempos de apagado a encendido y de encendido a apagado de 0 ms, en caso de fallas o inactividad, llevar a cero las salidas, los módulos 1 y 2 se escogieron de tipo incandescente con operación manual. Toda esta información se salvó hacia el dispositivo y luego se procedió al mapeo pertinente. Para más detalles, buscar en los manuales del 855T y de DeviceNet Manager que se listan en la bibliografía.

5.3. RSPower32

En la figura 5.3 se muestra la pantalla principal de RSPower32, con el proyecto SPICPE abierto.

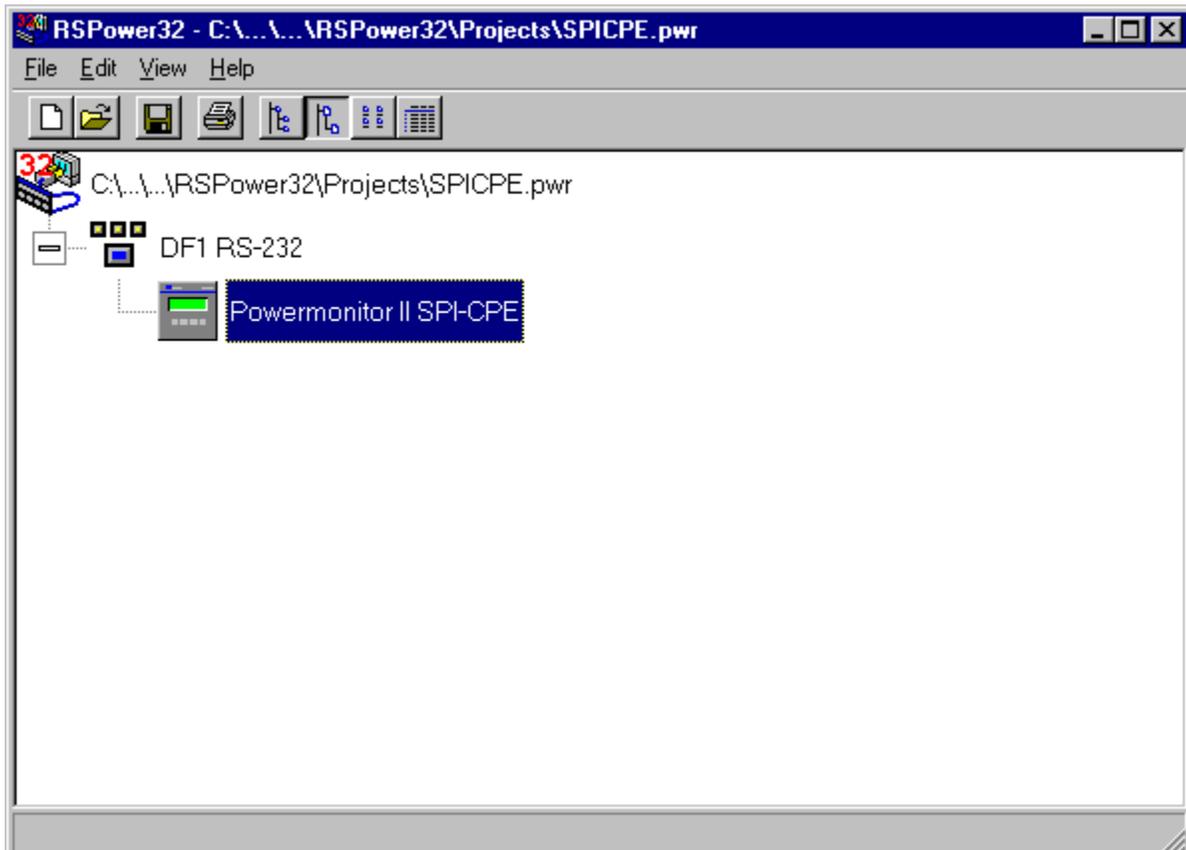


Figura 5.3 Ventana principal RSPower32

El requisito para crear un proyecto fue el que RSLinx estuviese instalado y funcionando con el Controlador Maestro de Escrutinio DF1 (DF1 Polling Master Driver). Una vez hecho esto, se procedió a crear un proyecto en el menú File (Archivo), el cual pide una dirección o carpeta en donde crear el proyecto.

Seguido se utilizó el comando Channels (Canales) del menú Edit (Editar), para añadir el canal por el cual se tendría comunicación hacia el Powermonitor. En este caso se escogió el DF1 RS-232, el cual utiliza el controlador DF1 del RSLinx como intermediario para la conexión al dispositivo. No fue necesario la escogencia de un nodo para el Powermonitor, ya que la conexión fue punto a punto, o sea era una conexión directa. El siguiente paso fue añadir el Powermonitor II con el uso del comando Add Device (Añadir Dispositivo) del menú Editar. Lo único que se hizo fue escoger el nombre asociado al dispositivo en cuestión.

Como último paso, se configuró el PM2, para lo cual se utilizó el comando Configure Device (Configurar Dispositivo) del menú Editar. En términos generales se configuró el PM2 con una conexión monofásica, para lo cual se definió la relación de transformación 120V:120V para los transformadores de voltaje y la relación 5A:1A para los transformadores de corriente, implicando con esto una conexión directa tanto de las entradas de voltaje, como de las de corriente. Se indica además el canal de comunicación, DF1 RS-232 a una velocidad de 19200 Kbps.

Una vez finalizada la configuración, se procedió a realizar las mediciones. Para observar las mediciones se utilizó el comando Device Viewer (Despliegue de Dispositivo) del menú View (Ver). Se desplegaron las ventanas de datos, que se detallan a continuación.

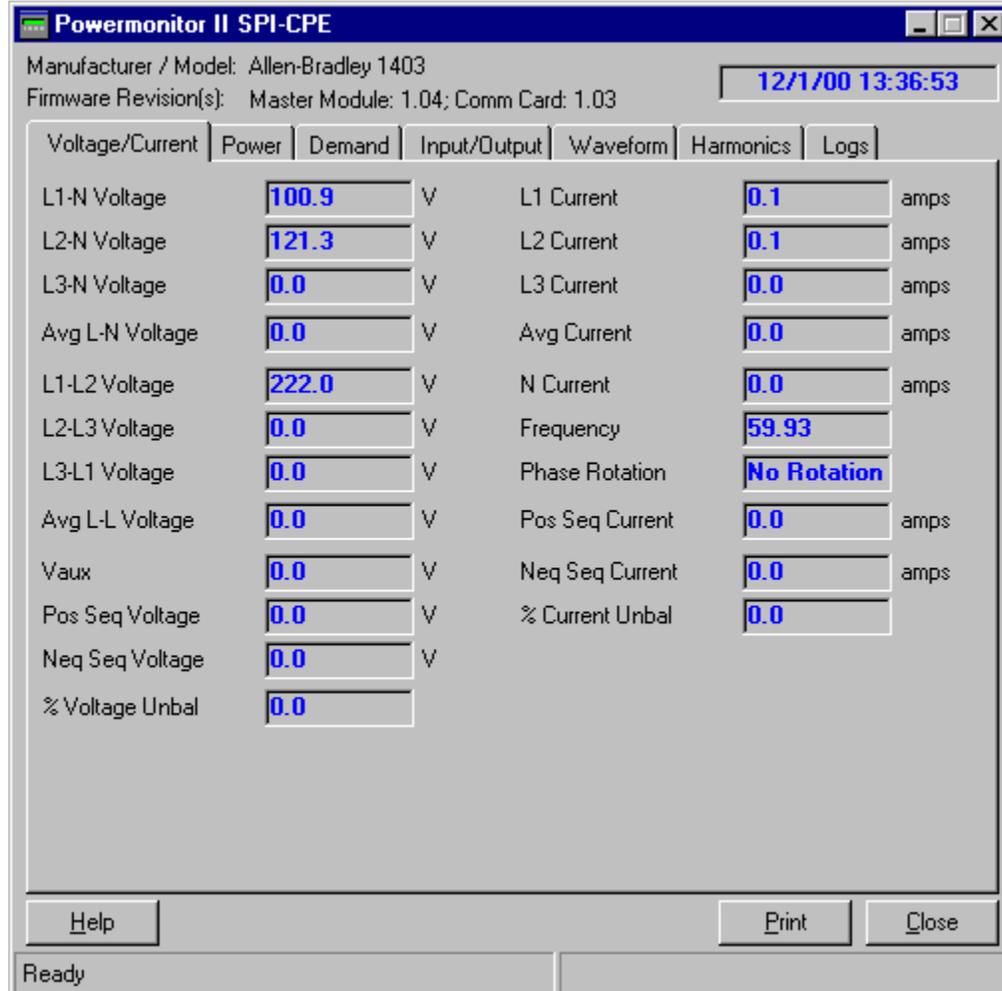


Figura 5.4 Ventana de medición de voltajes y corrientes

Como se puede observar de la figura 5.4, la ventana que se muestra da el detalle de las mediciones de voltajes y corrientes, así como de frecuencia, rotación de fase, etc. No se detallará cada una de las mediciones que se muestran en ésta y en las figuras sucesivas de esta sección. Para saber el detalle de cada parámetro, se pueden consultar las tablas 4.1 a la 4.4.

De la figura 5.4 hasta la 5.10 se muestran las mediciones realizadas en un instante, a las líneas de alimentación del variador de frecuencia. Es de interés mostrar estas figuras para que el lector tenga una idea gráfica del despliegue de datos que se puede realizar con el RSPower32.

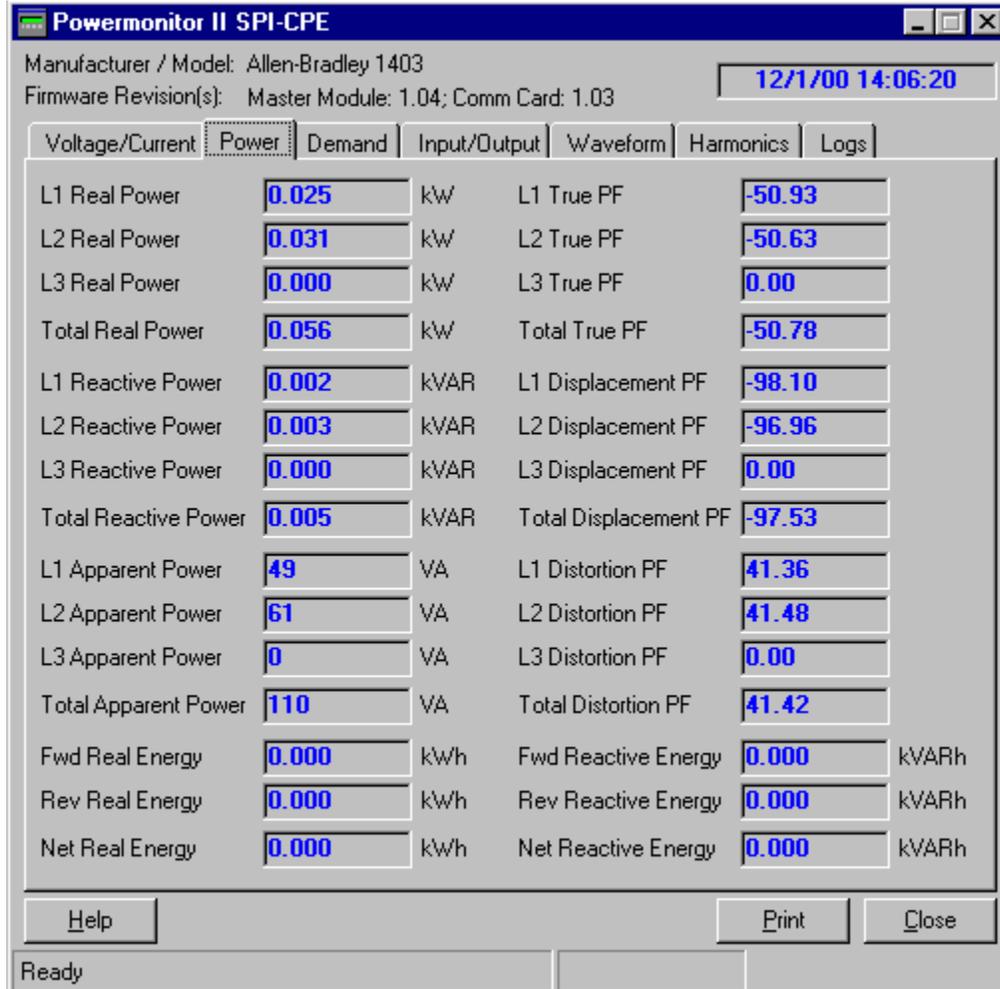


Figura 5.5 Ventana de medición de potencias y energías

Como se puede observar de esta figura y de la anterior, los parámetros de medición vienen detallados por magnitud y unidades. Las figuras pueden ser impresas en cualquier momento, además se puede obtener ayuda utilizando el botón Help (Ayuda).

En la figura 5.5 se muestran las mediciones de potencias y energías en un instante dado, así como también de los valores de factor de potencia.

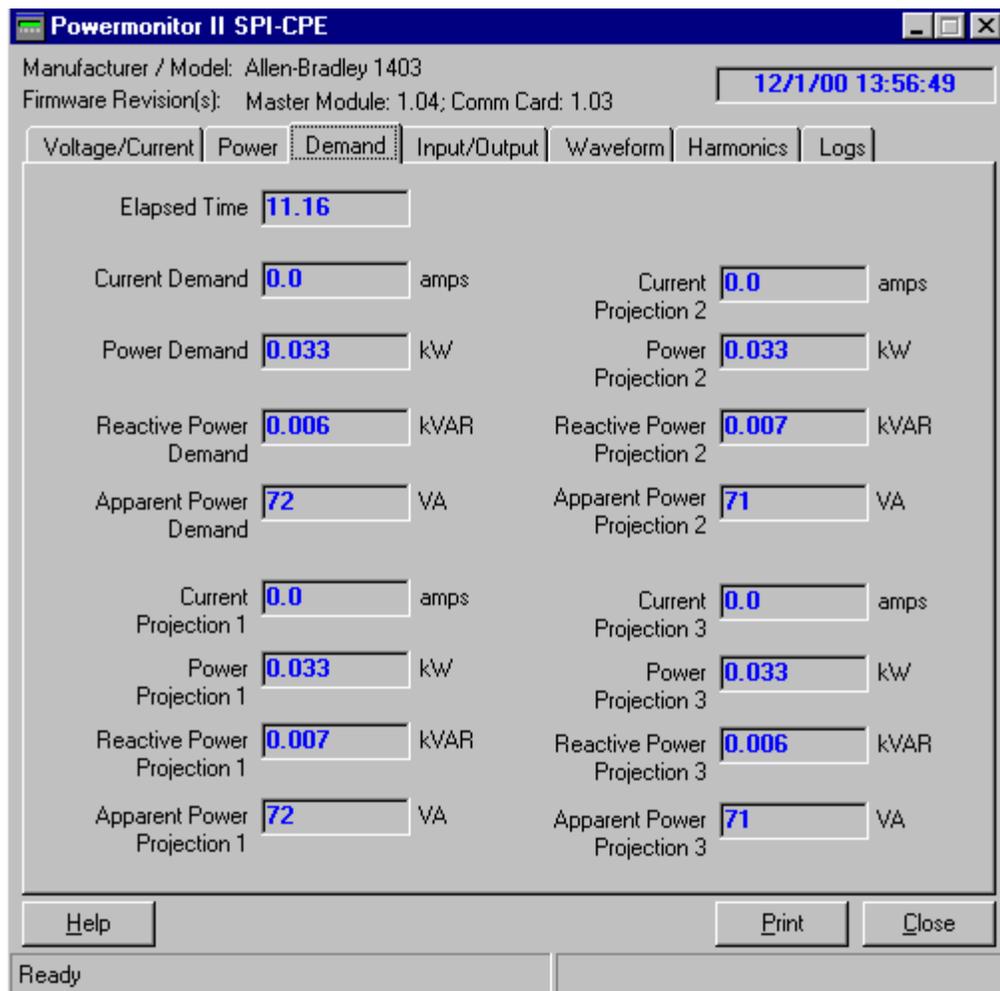


Figura 5.6 Ventana de medición de demanda

Al igual que las anteriores figuras, la figura 5.6 resume parámetros de medición, en este caso de demanda, ya sea de corriente, potencias y proyecciones de corriente y potencias.

Cabe destacar un detalle que se aplica a todas las vistas que se explicaron y se explicarán. Si la comunicación se ve interrumpida por alguna causa, el programa espera por un instante. Dicho tiempo lo define el usuario a la hora de configurar el dispositivo. Después de cumplido dicho tiempo, la barra de estado, donde se encuentra la palabra Ready (Listo), muestra un mensaje de error indicando que la comunicación con el dispositivo falló.

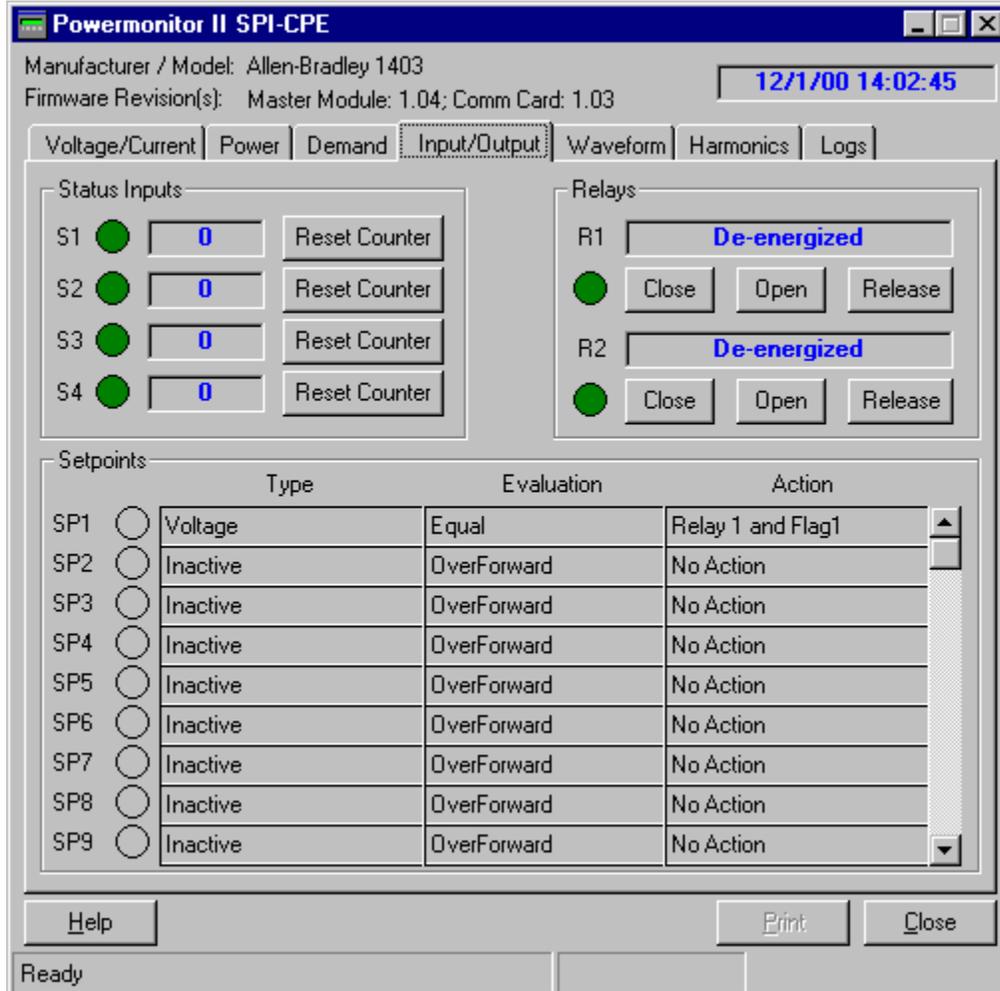


Figura 5.7 Ventana de entradas y salidas

La figura 5.7 muestra el detalle de las entradas de estado y las salidas de relé, así como de los puntos de disparo. Para una mejor explicación de estos parámetros, ver las tablas 4.5 y 4.6, así como la sección 4.2.5.

Si alguna de las entradas de estado se activa, produce un pulso para el contador asociado a dicha entrada, con lo cual se puede llevar el registro de cuantas veces se activó o se generó algún evento de interés. El conteo acumulado se muestra en las casillas al lado derecho de los LEDs de cada entrada Sx. También se puede saber cuando se energizan las salidas de relé, al igual que se pueden forzar dichas salidas por medio de software.

En esta figura 5.7 se muestra el detalle de cada punto de disparo en cuanto al tipo, lo que se evalúa para su activación y la acción que se realiza si se activa cada uno de los 20 puntos. Estos puntos se definen a la hora de configurar el Powermonitor.

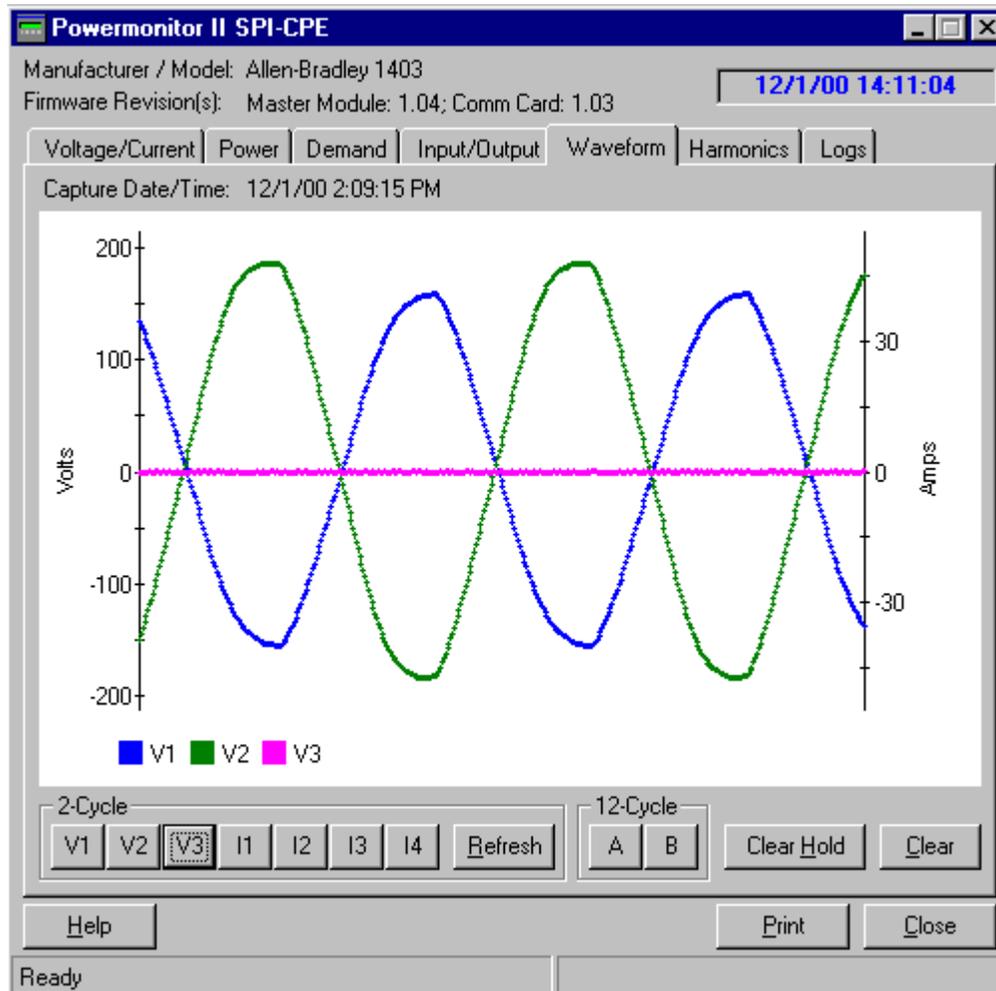


Figura 5.8 Ventana de formas de onda

El software fue capaz también de graficar en dos ciclos, simultáneamente, las formas de onda para las tres entradas de voltaje y las cuatro entradas de corriente, así como de refrescar dichas gráficas o limpiar totalmente la pantalla. Se pudo graficar también en 12 ciclos y simultáneamente, dos parámetros configurables (voltaje o corriente).

Estas formas de onda permitieron un análisis más gráfico de posibles fallas, perturbaciones o eventos. Cabe destacar que la tasa de actualización de los parámetros del PM2 fue alrededor de 40 ms, la cual también se configuró.

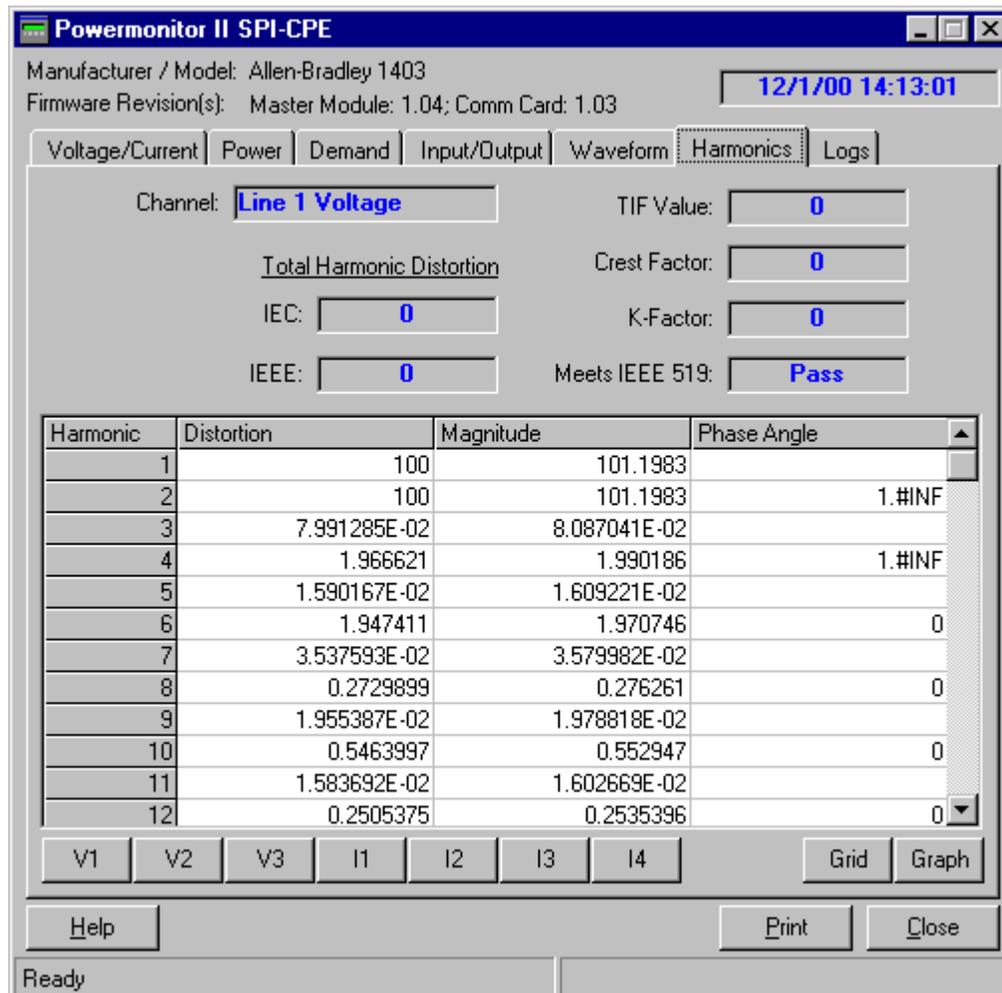


Figura 5.9 Ventana de análisis de armónicas

Esta pantalla de la figura 5.9 muestra la grilla para el análisis de armónicas para el voltaje 1 del PM2. Esta tabla muestra los detalles de distorsión, magnitud de la muestra y ángulo de la fase para cada una de las armónicas hasta la número 41. También se tiene la opción de desplegar en forma de gráfico de barras dicha información. Cada uno de los voltajes o corrientes se escogen por separado, no simultáneamente.

Esta opción ayudó a realizar el análisis respectivo para cada parámetro. Un aspecto interesante fue que la corriente dentro del edificio de Elvatrón presenta fuertes armónicas en las corrientes de línea, con magnitudes por arriba del 60% en la tercera, quinta, séptima y treceava armónicas.

Se observa también de dicha figura los campos para los análisis de los estándares de la IEEE, IEC, así como valores de interferencia telefónica, factor de cresta, factor K y el estándar IEEE-519.

Powermonitor II SPI-CPE

Manufacturer / Model: Allen-Bradley 1403
Firmware Revision(s): Master Module: 1.04; Comm Card: 1.03

Voltage/Current | Power | Demand | Input/Output | Waveform | Harmonics | Logs

Voltage/Current Snapshot Log

#	Date	Time	L1 Current	L2 Current	L3 Current	L4 (Neutra)
1	1/1/80	12:00:03 PM	0.3647344	0.301902	0	
2	1/1/80	12:37:44 PM	0.295772	0.2620571	0	
3	1/1/80	12:37:47 PM	0.5409716	0.5394391	0	
4	1/1/80	12:37:50 PM	0.3693319	0.3739294	0	
5	1/1/80	12:37:53 PM	0.5149192	0.4873342	0	
6	1/1/80	12:37:57 PM	0.5072567	0.4980617	0	
7	1/1/80	12:38:00 PM	0.2497971	0.2697196	0	
8	1/1/80	12:38:03 PM	0.1578473	0.1225998	0	
9	1/1/80	12:38:07 PM	0.2681871	0.2053547	0	
10	1/1/80	12:38:10 PM	0.341747	0.2835121	0	
11	1/1/80	12:38:13 PM	0.320292	0.2911745	0	
12	1/1/80	12:38:17 PM	0.1900297	0.2191472	0	
13	1/1/80	12:38:20 PM	0.1762372	0.1992247	0	
14	1/1/80	12:38:23 PM	0.2881095	0.3218245	0	
15	1/1/80	12:38:27 PM	0.5179842	0.4965292	0	
16	1/1/80	12:38:30 PM	0.5149192	0.5011267	0	
17	1/1/80	12:38:33 PM	0.2773821	0.2114847	0	

V/I | Power | Min/Max | Event | Clear Snapshot | Clear Min/Max | Save Log

Help | Print | Close

Ready

Figura 5.10 Ventana de archivos de registro

La figura 5.10 muestra el detalle de los archivos de registro del PM2. Como se mencionó en el capítulo anterior al describir las características de este dispositivo, éste cuenta con 3 tipos de archivos de registro: Voltaje / Corriente y Potencias, Mínimos y Máximos y el tercero de Eventos. Cada uno de éstos detalla la fecha, hora y la magnitud de cada parámetro, en un formato de tabla. El paquete permite a la vez la opción de grabar dicho archivo en la carpeta y dirección que se desee.

El archivo que se muestra es el detalle de las mediciones de voltaje y corriente, realizadas para efectos de este informe.

5.4. RSLogix 500

Para efectos de la programación del controlador lógico SLC 5/03 se utilizó el programa RSLogix 500 que permite, en forma gráfica, la elaboración del programa de escalera que contendrá dicho dispositivo.

Un programa de escalera, en términos generales, es una sucesión de instrucciones que llevan un orden descendente de ejecución y es cíclico. En otras palabras, es una sucesión de instrucciones de entrada o salida que se repiten n veces mientras esté corriendo el programa.

Este software de programación permite la edición de las instrucciones de forma gráfica, lo que significa que sólo son los parámetros de entrada, control o salida los que se modifican dentro del símbolo de cada instrucción. Permite ediciones generales como copiar, pegar, borrar, entre otras. Trabaja bajo la base de proyectos, definiendo para cada caso el dispositivo a utilizar y el canal de comunicación que se tiene.

La siguiente figura 5.11 muestra la pantalla principal de dicho programa, la cual está subdividida en dos ventanas, una que muestra el detalle de la escalera y la otra el detalle de parámetros de configuración, registros internos, entradas y salidas, entre otros. El despliegue de estos parámetros es de forma jerárquica y se presenta mediante un diagrama de árbol.

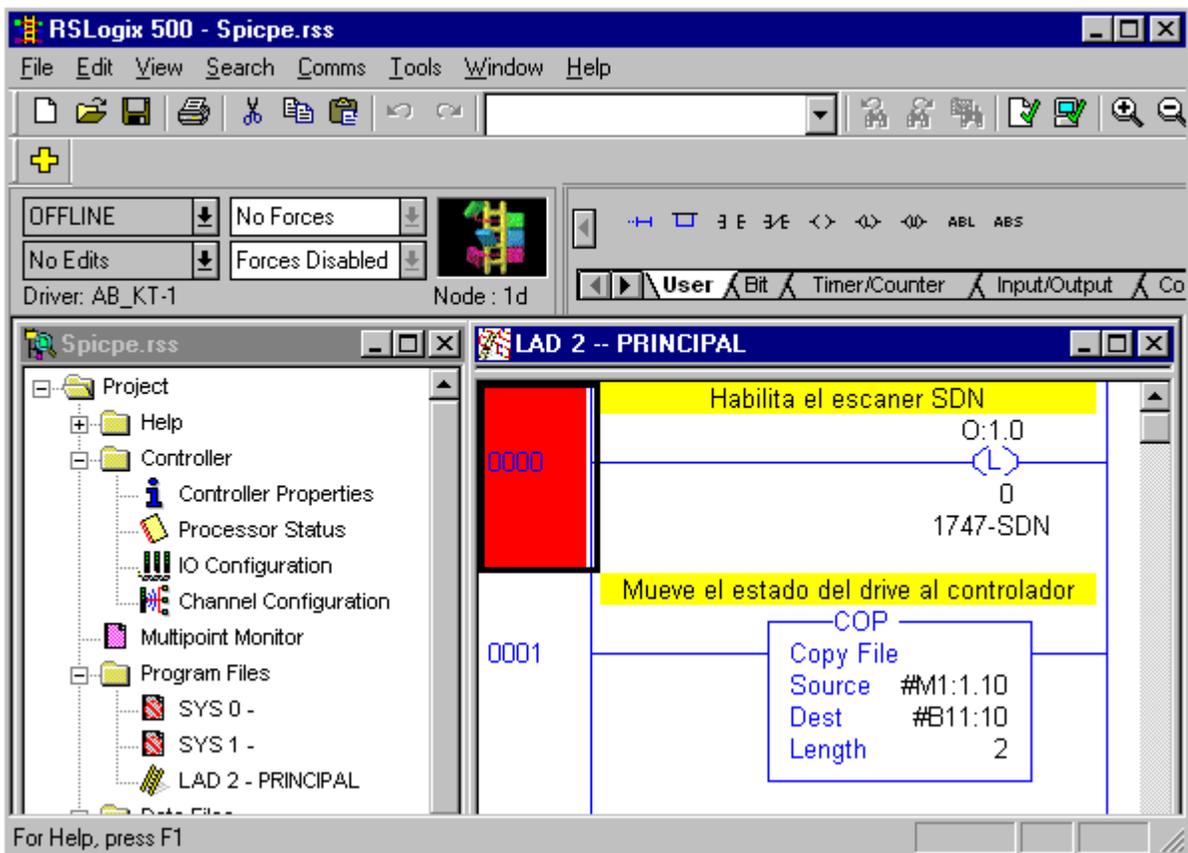


Figura 5.11 Ventana principal RSLogix 500

Un requisito para empezar a utilizar este programa fue el tener instalado RSLinx y haberlo configurado con el controlador de puerto respectivo. Para este caso se utilizó el controlador de puerto de Dispositivos 1784-PCMCK (1784-PCMCK Devices).

Al crear un proyecto en RSLogix, se necesita indicarle a este software el tipo de procesador que se utilizará. En este caso se utilizó un CPU 1747-L532 C 5/03, con 16 K de memoria. La razón es que este software se utiliza para programar diferentes tipos de PLC, por lo que el software debe saber cuál está utilizando para generar las tablas de datos del tamaño correspondiente para cada procesador.

El paso siguiente fue el definir la configuración de entradas y salidas, para lo cual se pica dos veces consecutivas en el icono Configuración IO (IO Configuration), donde se puede leer en línea la configuración que detecta el CPU de los módulos adicionales que tiene el controlador. Para lograr esto, es necesario que RSLinx haya sido configurado propiamente con el tipo de controlador, ya que los datos de entradas y salidas se leen desde la computadora.

El siguiente diagrama de flujo, de la figura 5.12, muestra el detalle del programa que tuvo el controlador para comunicarse con los dispositivos de la red de DeviceNet, así como de la lectura de las entradas y la consecuente toma de decisiones.

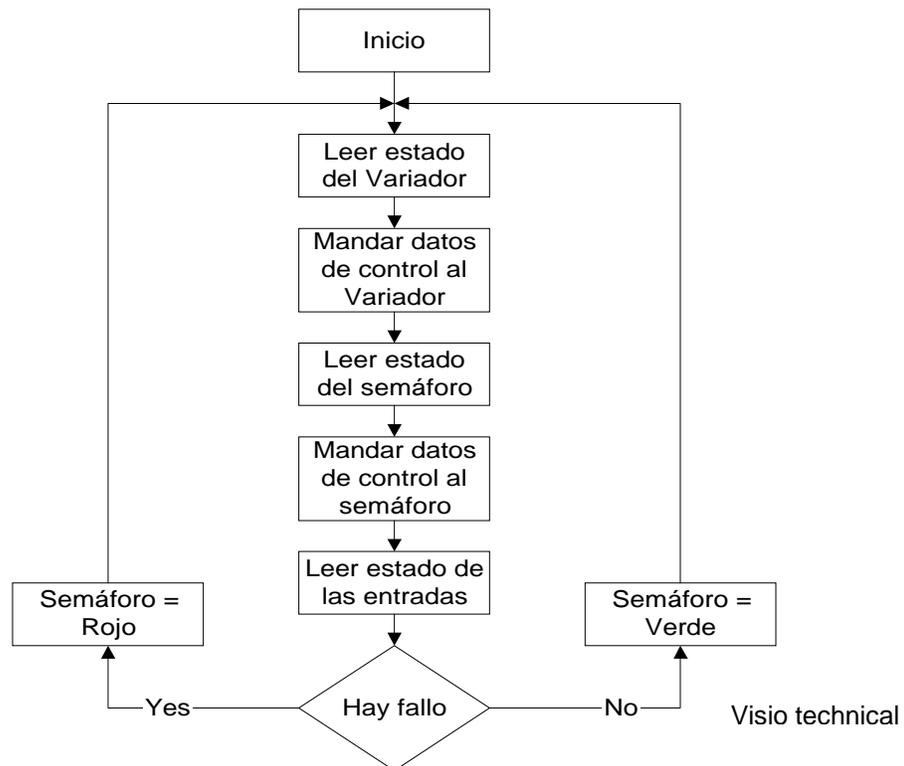


Figura 5.12 Diagrama de flujo del programa del SLC 5/03

Para realizar la lectura del estado de los otros dos nodos de la red de DN o escribir la palabra de control en ellos, se utilizaron los archivos M0 y M1 del SLC. El archivo M0 es un archivo de control que se utilizó como un bloque de escritura de transferencia. Para el variador se utilizó la palabra 10 de la tabla de mapa del escáner, palabra lógica que utilizará el variador como control de funcionamiento. Para el semáforo se utilizó la palabra 15 de dicha tabla para el archivo M0, con los mismos fines de control. En cambio el archivo M1 es un archivo de lectura, solamente y contiene el estado de los dispositivos de la red. Para este proyecto, las palabras 10 y 15 de la tabla de mapa de M1, se utilizaron para el estado del variador y del semáforo, respectivamente.

A diferencia de los registros internos del controlador, los datos de los archivos M (0 y 1) actúan como interrupciones e inmediatamente se procede a leer o escribir, según sea el caso del programa. Además los datos de estos archivos son no retentivos, lo que significa que en la próxima corrida del programa, dichos datos cambiarán, dependiendo del programa y del estado o funcionamiento de los dispositivos.

Otro dato interesante fue descargar el programa al controlador. Para ello se utilizó el comando System Comms (Comunicaciones del Sistema) del menú Comms (Comunicaciones), como se puede apreciar de la figura 5.11. Al ejecutarse, apareció una ventana parecida a la ventana principal de RSLinx, donde se escogió el icono que representaba al SLC, del directorio del controlador de puerto correspondiente. Seguido de escoger el icono, se ejecutó el comando Download (Descargar) el cual, mediante la interfaz de RSLinx, descargó el programa al SLC.

Con este paquete también se pudo verificar la ejecución del programa, ya que se puede observar en línea, o sea en tiempo real, la ejecución del mismo. Al mismo tiempo ofrecía la opción de editar en línea el programa, en el caso de que alguna instrucción no realizaba lo deseado y así no para la ejecución del programa para cambiarlo.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para el análisis correspondiente de la información y datos recolectados se seguirán los siguientes puntos: investigación, alcances y limitaciones.

6.1. Investigación

En esta sección se analizarán los resultados de la investigación tanto bibliográfica, como la realizada en Internet. Se dará una explicación general de un proyecto de calidad energética desarrollado en Bélgica por varias instituciones que trabajaron en conjunto para ejecutarlo.

También se hará una comparación de las características técnicas de dos productos de monitoreo de potencia con las características del Powermonitor II. Las hojas de datos de estos productos se listan en la bibliografía, así como también de los sitios en Internet visitados para conseguir dichos documentos y la información del proyecto antes mencionado.

6.1.1. Otros proyectos

Como se mencionó anteriormente, en Bélgica se desarrolló un proyecto con énfasis en calidad energética. Electrabel, el mayor distribuidor de energía eléctrica en este país, sule a casi 4 millones de clientes y tiene una producción de 15.000 MW, de la cual el 40% es de tipo nuclear.

Con el fin de mantenerse en el primer lugar en el mercado, dicha empresa impulsó una estrategia que consistió en la instalación de equipo de instrumentación de calidad energética en la red nacional del país. En conjunto con la división Laborelec, esta compañía implementó la investigación de un equipo de medición orientado a las perturbaciones de voltaje. Al final, se buscó la ampliación del foco de medición, para lo cual se utilizó el equipo llamado QWave®.

Para la ejecución e implementación de la solución se trabajó en conjunto con la compañía ACT'L, la cual desarrolló con la ayuda de la Universidad Libre de Bruselas el QWave® y su software de aplicación QBrowser.

La solución planteaba la colocación de dispositivos de medición en puntos críticos de la red de distribución, disponibilidad de la información tanto para los usuarios de Electrabel como para algunos clientes.

La red de distribución abarca tanto a clientes residenciales como industriales, los cuales exigían del distribuidor un suministro constante, con el mínimo de interrupciones, voltaje que fluctuara dentro de los límites establecidos por estándares internacionales y la garantía de que los clientes que utilizaran cierto tipo de equipo no generaran perturbaciones que pudieran transmitirse a otros. Este último punto establecía ciertos niveles de armónicos y fluctuaciones.

Si estos puntos no se cumplían, los usuarios podían exigir a la compañía distribuidora un reembolso monetario por los problemas ocasionados por las perturbaciones no controladas. Así mismo, el distribuidor podía exigir un reembolso similar si era el cliente el que generaba dichas perturbaciones.

Para realizar las mediciones, se colocaron QWave® en más de 50 puntos de la red. Dichos dispositivos realizaban la medición de voltaje y corriente, realizaban los cálculos de potencias, energías, demanda y análisis de armónicos. Todos los datos eran almacenados en archivos con registro de hora, día y semana, con el fin de ser utilizados como fuente estadística y de monitoreo en el sistema central, punto al cual llegaban todos los datos y eran almacenados en una base de datos general.

Las fluctuaciones y picos de voltaje y corriente eran almacenados en valores rms, con una resolución de un octavo de ciclo. Las armónicas y otras perturbaciones se gravaban en intervalos de 10 minutos. Los análisis estadísticos de cada parámetro eran realizados por los dispositivos de medición, guardando valores promedio, mínimos y máximos.

En forma general se explicó este proyecto, del cual se pueden tomar puntos importantes como la existencia de una cultura de calidad energética y legislación que permite la regulación del suministro y el compromiso tanto de los clientes como del mismo distribuidor. Este es un buen ejemplo para incentivar una cultura de calidad energética en Costa Rica.

6.1.2. Otros productos

El producto antes mencionado, QWave®, no se explicará en este apartado, ya que no cuenta con un distribuidor en el país. Se tratarán productos que tengan distribuidores locales y que representen en alguna medida competencia para Powermonitor II.

Los dos productos que se analizarán son Powerlogic Circuit Monitor Serie 4000 de Square D y PowerNet IO Analyzer de Cutler-Hammer. En la tabla 6.1 se comparan aspectos generales de estos dos monitores de potencia con el Powermonitor II. Para más detalle de ambos, consultar los documentos en línea de los sitios de Internet mencionados en la bibliografía.

Tabla 6.1 Comparación PM2 vrs otros productos

Parámetro	Powerlogic	PowerNet	Powermonitor II
Voltaje [V _{L-N}]	(0 – 347) ± 0,065	(0 – 347) ± 0,2%	(0 – 347) ± 0,05
Voltaje [V _{L-L}]	(0 – 600) ± 0,065	(0 – 600) ± 0,2%	(0 – 600) ± 0,05
Corriente [A]	(0 – 5) ± 0,065	(0 – 40) ± 0,2%	(0 – 5) ± 0,05
Frecuencia [Hz]	(45 – 67) ± 0,01 350 - 450	(25 / 40 / 50 / 60) ± 0,4%	(20 – 75) ± 0,005% (75 – 120) ± 0,05%
Muestreo [muestras / ciclo]	512	128	512
Resolución armónica	255	50	41
Formas de onda [muestra / ciclo]	Estado estable: 512 Perturbación: 512 (12 ciclos) Perturbación: 64 (96 ciclos)	128 (2 ciclos)	10,8 KHz (2 ó 12 ciclos)
Detección de perturbación	Si	Si	No
Detección de transitorio	Si	No	No

Tabla 6.1 Comparación PM2 vrs otros productos (continuación)

Parámetro	Powerlogic	PowerNet	Powermonitor II
Entradas de estado	Si (módulo aparte)	Si	Si
Entradas analógicas	Si (módulo aparte)	Si	Si
Salidas analógicas	Si (módulo aparte)	Si	No
Entradas discretas	Si (módulo aparte)	Si	No
Salidas de relé	Si (módulo aparte)	Si	Si
Archivos de datos	14 archivos de 96 parámetros c/u	2 archivos	3 archivos
Alarmas	Si, por medio de puntos de disparo	Si, por eventos	Si, por medio de puntos de disparo
Comunicaciones	RS-485 RS-232 Puerto óptico Ethernet Modbus Master Web Server	RS-232 DDE Net Bios Ethernet Arcnet	RS-232 RS-485 RI/O DeviceNet Ethernet Fibra óptica
Despliegue local	LCD	LCD	Módulo de despliegue
Certificaciones	FCC 15 Clase A/CE IEC 1000-4-2 nivel 3 IEC 1000-4-4 nivel 3 IEC 1000-4-3 nivel 4 UL 508, CSA C22.2 ANSI C12.20 clase 0.2 IEC 687 clase 0.2 CE EN 61010	ANSI C12.16 UL E62791	UL 508, CSA C22.2 CE IEC 1010-1 IEC 529 IEEE 519 ANSI
Distribuidor	Grupo Shneider	Cutler-Hammer	Elvatrón S.A.

Como se puede observar de la anterior tabla, en términos generales el Powermonitor II presenta muchas características que los otros productos tienen, pero en lo que a exactitud se refiere, el PM2 presenta mayor porcentaje, lo que indica que las mediciones son más exactas o cercanas a los valores reales. Con respecto al análisis de armónicas, los otros productos ofrecen mayor número de armónicos.

6.1.3. Encuesta

Con el fin conocer mejor el mercado al cual el Powermonitor II entraría, se decidió realizar un estudio general de los clientes de Elvatrón. Este estudio general abarca aspectos como tipo de equipo con que cuentan, perturbaciones que reciben de la empresa generadora, perturbaciones dentro de la planta y soluciones implementadas para eliminar las perturbaciones.

Para recolectar esta información se utilizó una encuesta, la cual se aplicó a una muestra de 16 clientes de Elvatrón. El formato utilizado se puede observar en el [apéndice 2](#), así como el detalle de los clientes entrevistados y los resultados de dicha información.

Cabe destacar que la lista de la tabla A.1 incluye los nombres de las empresas que contestaron o que formaban parte de la lista preliminar para la muestra.

En la figura A.2 se observa que el 81% de los clientes encuestados contestaron completamente las preguntas, el 19% restante no devolvió la encuesta o no la llenó del todo. La figura A.3 muestra el detalle de la cantidad del equipo reportado por los clientes. El motor de corriente alterna es el equipo más frecuente en las plantas, ya que de los 16 clientes, 13 presentan estas máquinas. El variador de frecuencia es otro dispositivo bastante común, al igual que las UPS y los sistemas de aire acondicionado.

El 85% de las personas encuestadas aseguraron que tienen problemas con perturbaciones externas, o sea, perturbaciones provenientes del suministro de las empresas generadoras de electricidad, según la figura A.4. Cabe destacar que dichas personas piensan que los problemas son externos, pero a la hora de hacerles la consulta directamente, ninguna tuvo forma de comprobarlo, ya que no han realizado medición alguna. Lo que comprueba que las respuestas están sujetas a lo que se cree podría ser el origen del problema.

Con respecto al detalle de las perturbaciones que creen recibir, las variaciones de voltaje son las más frecuentes, seguido por armónicos y en menor grado variaciones de frecuencia, pérdida de fase y tierras, como lo indica la figura A.5.

Las perturbaciones internas, o sea las originadas dentro de las plantas, se presentan en el 62% de las empresas. Al igual que con el caso de las perturbaciones externas, las respuestas fueron muy subjetivas, ya que ninguno de los clientes sabe con exactitud si las perturbaciones que se detallan en la figura A.7, se originan dentro de la planta.

Una vez más las variaciones en el voltaje y la corriente son los problemas más frecuentes dentro de las empresas, seguidos por los armónicos y el factor de potencia. De las 13 empresas que contestaron, 8 no han realizado acción alguna contra las perturbaciones eléctricas, en tanto 5 no ha hecho nada.

Dentro de las soluciones a los problemas de perturbaciones que se presentaron, se pueden mencionar la instalación de supresores de picos de voltaje y corriente, modificación del sistema de tierras, compensación de las cargas inductivas con bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia, cambio de los cables de la acometida principal.

Cuando se les consultó sobre la forma en que determinaron la solución, dijeron que la aplicaban porque les podía eliminar los picos o fluctuaciones de voltaje o corriente o simplemente sabían que con un banco de condensadores se compensaba el factor de potencia. Pero ninguno mencionó la toma de mediciones como medio para detectar la falla o fallas o el origen de las perturbaciones.

6.1.4. Entrevistas

El formato de la entrevista utilizada se muestra en el [apéndice 3](#), así como la información suministrada por los dos ingenieros entrevistados. De dicha información se puede resumir que tanto al Compañía Nacional de Fuerza y Luz y el Instituto Costarricense de Electricidad no tienen estadísticas claras de cuántos clientes presentan problemas de perturbaciones.

Tampoco se tienen definidos cuáles problemas se presentan con más frecuencia, pero destacaron los picos de voltajes, máximos y mínimos y los apagones entre los más mencionados entre las quejas de los clientes.

Otro detalle es que los clientes del ICE o de la CNFL no han realizado estudios de calidad energética, piensan que pueden controlar las perturbaciones con sólo instalar protecciones y no se preocupan por saber las causas de los problemas.

6.2. Alcances y limitaciones

Dentro de los puntos alcanzados por la investigación se puede mencionar que se detectó un mercado que empieza a preocuparse por su calidad energética. Clientes que no han visto la necesidad de tener un buen sistema eléctrico dentro y fuera de sus plantas. Que aplican soluciones sin saber los efectos o simplemente creen que las mediciones y detección de problemas son un costo en lugar de una inversión.

El que los clientes de Elvatrón no contestaran la encuesta fue una de las mayores limitantes de la investigación, ya que la muestra actual puede o no, reflejar el estado de las empresas en cuanto a monitoreo y medición se refiere. Para solucionarlo, se propone la aplicación de la encuesta con la ayuda de los vendedores de Elvatrón y entrevistar al personal encargado del mantenimiento del equipo y de las instalaciones eléctricas, dentro de la empresa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- a. Los variadores de frecuencia, salas de computadoras, convertidores CA-CD y sistemas de aire acondicionado son los equipos que más perturbaciones generan, según los resultados de las encuestas y entrevistas
- b. El 85% de los clientes de Elvatrón presentan perturbaciones externas a sus plantas y el 62% de ellos las tienen dentro de sus instalaciones
- c. Variaciones de voltaje y efectos de un sistema de tierras deficiente son las perturbaciones externas más frecuentes
- d. Las variaciones de voltaje y corriente, armónicos y el factor de potencia son las perturbaciones internas más frecuentes
- e. El 62% de los clientes de Elvatrón ha implementado alguna solución contra perturbaciones eléctricas
- f. El 15% de las empresas que han implementado alguna solución, presentan un sistema de monitoreo y medición
- g. Sólo un 3% de los clientes de la CNFL y el ICE tienen un sistema de monitoreo y medición
- h. Las compañías industriales aplican soluciones para atacar las consecuencias de las perturbaciones, sin investigar cuál es la causa de esas alteraciones, por no contar con las posibilidades para hacerlo
- i. El SPI-CPE_{PP} no es un sistema de protección, sino más bien de monitoreo y medición, para la detección de las causas de las perturbaciones

7.2. Recomendaciones

- a. Cambiar la orientación del proyecto hacia un sistema de monitoreo y medición, en lugar de control y protección contra perturbaciones eléctricas
- b. Incentivar en los ingenieros y vendedores de Elvatrón una cultura o política de calidad energética, con el fin de transmitir esa idea a los clientes
- c. Brindar capacitación a los ingenieros y vendedores de Elvatrón S. A. en cuanto a las características de funcionamiento, modularidad, comunicaciones, etc., del Powermonitor II

BIBLIOGRAFÍA

- Cutler-Hammer. "IQ Analyzer-comprehensive distribution monitoring." 1995. <<http://www.ch.cutler-hammer.com/docs/00008179.pdf>> (18 Oct. 2000).
- Espinoza Lara, R. "Sistemas de distribución." México: Editorial Limusa S. A., 1990.
- Esquivel Porras, Erick. "Perturbaciones eléctricas." Entrevista, Compañía Nacional de Fuerza y Luz La Uruca, 14 de setiembre del 2000.
- Harper, E. "Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales." México: Editorial Limusa S. A. de C. V., 1994.
- Hayt, W. "Análisis de Circuitos en Ingeniería." 3 era ed. México: McGraw-Hill / Interamericana, 1993.
- Ramírez Vásquez, J. "Factor de Potencia." Barcelona: Ediciones Ceac S. A., 1985.
- Ramírez Vásquez, J. "Protección de sistemas eléctricos contra sobre intensidades." Barcelona: Ediciones Ceac S. A., 1984.
- Ríos, Rolando. Perturbaciones eléctricas. Entrevista, Instituto Costarricense de Electricidad la Sabana, 18 de setiembre del 2000.
- Rockwell Automation. "1305 Adjustable Frequency AC Drive user manual." United States: s.n., 1996.
- Rockwell Automation. "Bulletin 1403 Powermonitor II, instruction sheet." 1999. <<http://www.ab.com/manuals/1403-in001a-us-p.pdf>> (1 Nov. 2000).
- Rockwell Automation. "DeviceNet communications module." United States: s.n., 1999.
- Rockwell Automation. "DeviceNet Manager Software version 3.001, user manual." 1997. <<http://www.ab.com/manuals/1787653.pdf>> (5 Dic. 2000).
- Rockwell Automation. "DeviceNet RS-232 interface module, installation instructions." 1996. <<http://www.ab.com/manuals/177056.pdf>> (20 Nov. 2000).
- Rockwell Automation. "DeviceNet System Overview." 1999. <<http://www.ab.com/manuals/dn25.pdf>> (21 Nov. 2000).

- Rockwell Automation. "DeviceNet Stack Light 855T, user manual." 1999. <http://www.ab.com/manuals/855T-5_0.pdf> (5 Dic. 2000).
- Rockwell Automation. "Getting results with RSPower." 1997. <<http://www.ab.com/manuals/9399pwgr.pdf>> (21 Set. 2000).
- Rockwell Automation. "Power Monitoring Products, Bulletin 1400-DCU/BCU communications card." 1995. <[http://www.ab.com/manuals/1400-5.0\(0695\)-in001a.pdf](http://www.ab.com/manuals/1400-5.0(0695)-in001a.pdf)> (20 Set. 2000).
- Rockwell Automation. "Program and acquire data with ease on DH Plus and DH-485 networks." 2000. <<http://www.ab.com/manuals/nets-sp064a-us-e.pdf>> (8 Nov. 2000).
- Rockwell Automation. "RSPower32 technical data and overview." 2000. <http://www.ab.com/manuals/rspower32_td.pdf> (21 set. 2000).
- Rockwell Automation. "SLC 500 and MicroLogix 1000 instruction set, reference manual." 1998. <<http://www.ab.com/manuals/1747615.pdf>> (6 Set. 2000).
- Rockwell Automation. "SLC 500™ Chassis-Based Processors." 1997. <<http://www.ab.com/manuals/1747239.pdf>> (5 Set. 2000).
- Rockwell Automation. "SLC 500™ family of small programmable controllers, system overview." 1996. <<http://www.ab.com/manuals/1747230.pdf>> (5 Set. 2000).
- Rockwell Automation. "Tarjeta de comunicación PCMK 1784-PCMK/B." 1997. <<http://www.ab.com/manuals/17846519es.pdf>> (5 Dic. 2000).
- Square D Schneider Electric. "Powerlogic series 4000 Circuit Monitor." 2000. <<http://www.Powerlogic.com/cm4000h0.pdf>> (13 Oct. 2000).
- Tomasi, W. "Sistemas de comunicaciones eléctricas." 2 da ed. México: Prentice Hall Hispanoamérica, 1996.
- X Seminario. San José: 11 de octubre del 2000. Administración de la energía eléctrica en la industria. San José: Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2000.

APÉNDICES

Apéndice 1: Diagrama de Gantt, desglose por tarea

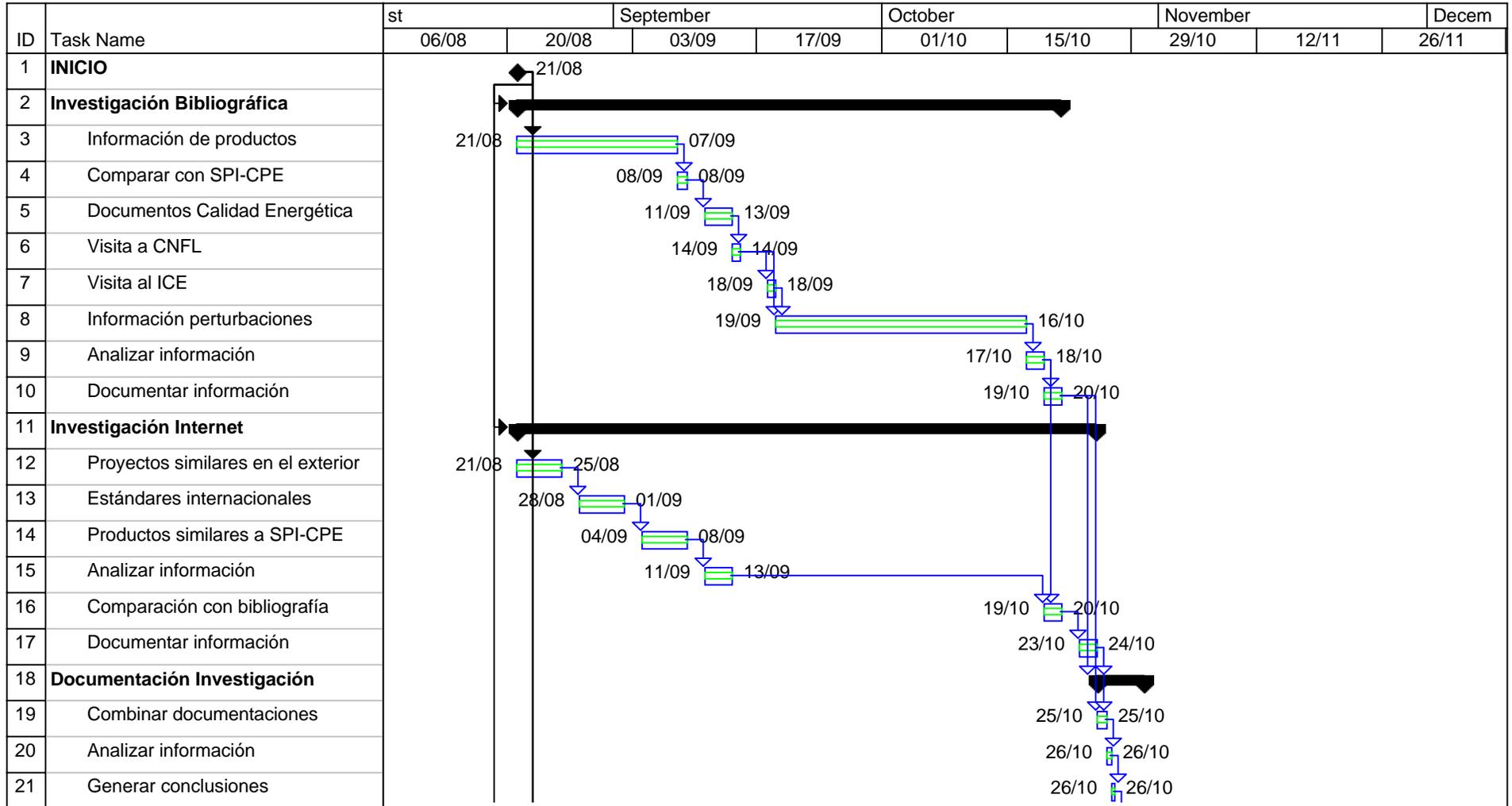


Figura A.1 Diagrama de Gantt, desglose por tarea

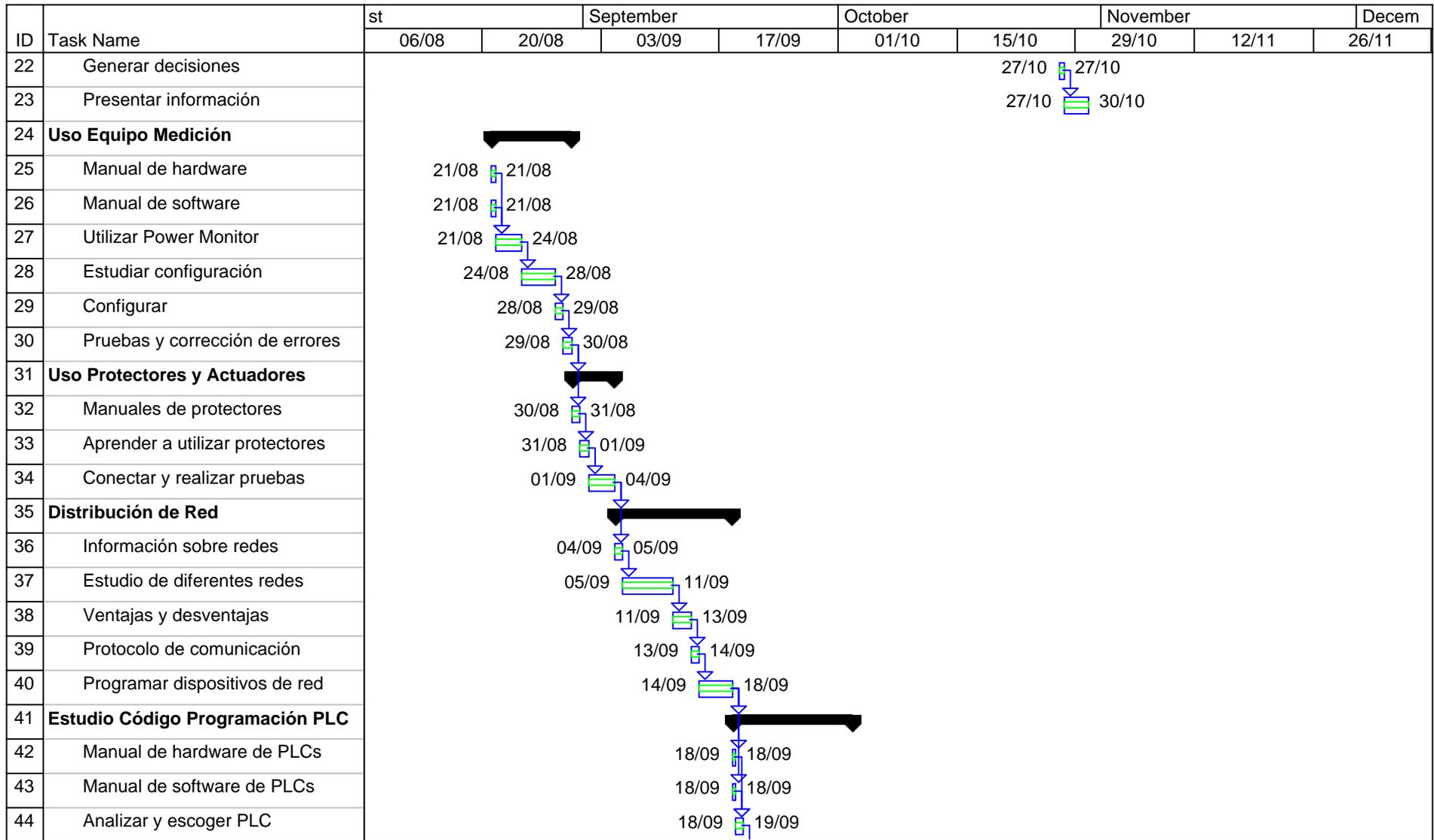


Figura A.1 Diagrama de Gantt, desglose por tarea (continuación)

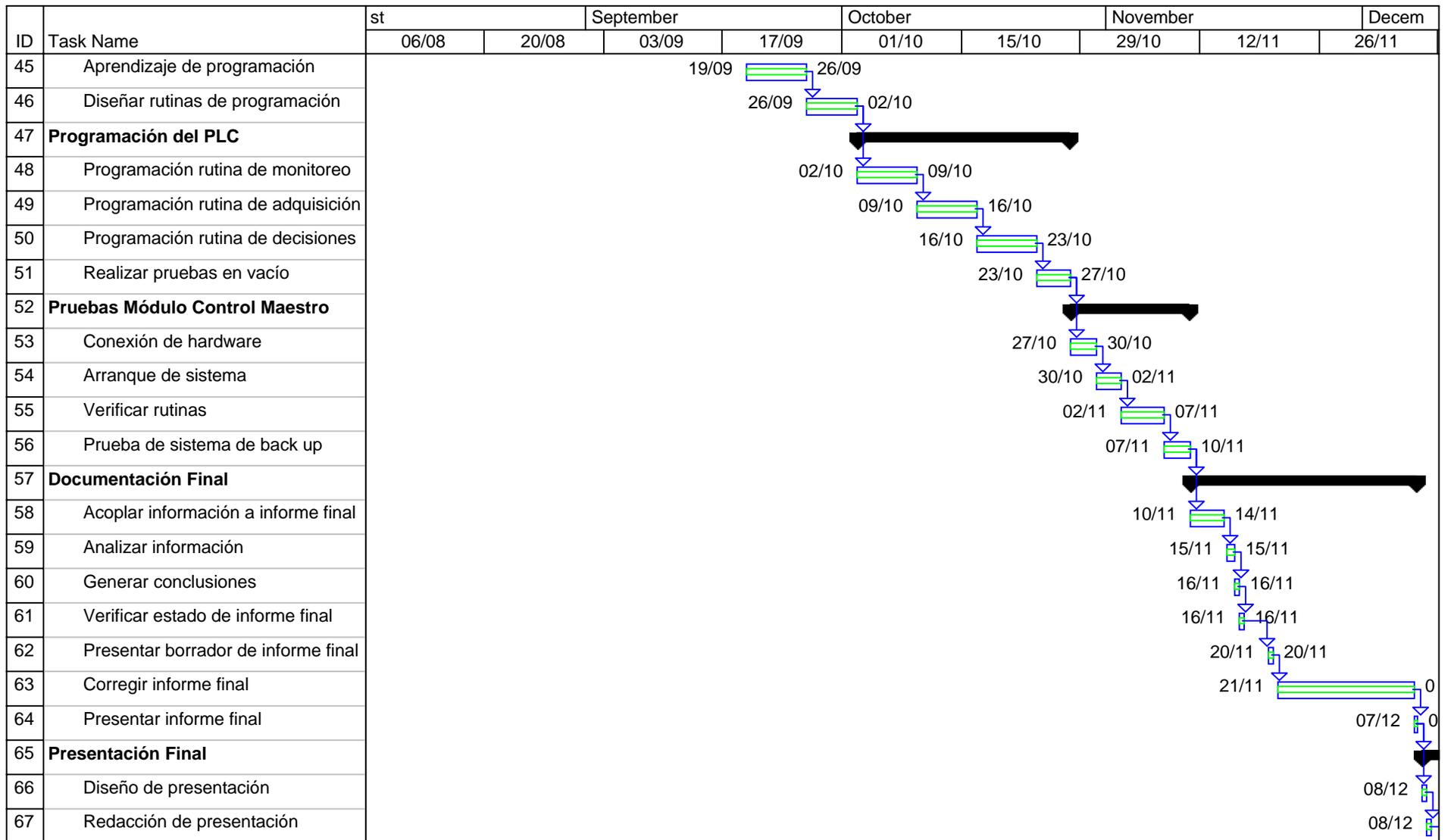


Figura A.1 Diagrama de Gantt, desglose por tarea (continuación)

Apéndice 2: Encuesta

Nombre: _____ Empresa: _____
Tel/Fax: _____ e-mail: _____

Las siguientes preguntas van orientadas a conocer más los problemas con perturbaciones eléctricas que ha enfrentado y las soluciones que ha implementado hasta el momento para evitarlas.

1. ¿Qué tipo de equipo tiene instalado en su empresa? (seleccione alguno o algunos de los siguientes equipos)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Motores de corriente alterna | <input type="checkbox"/> Motores de corriente directa |
| <input type="checkbox"/> Variadores de velocidad | <input type="checkbox"/> UPS |
| <input type="checkbox"/> Sistemas de aire acondicionado | <input type="checkbox"/> Transformadores para aislamiento |
| <input type="checkbox"/> Fuentes de alimentación switching | |
| <input type="checkbox"/> Otros: | |

Especifique:

2. ¿Tiene o ha tenido problemas de perturbaciones eléctricas en la acometida de la empresa?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Sí, ¿cuáles? Seleccione de la lista | <input type="checkbox"/> No, pase a la siguiente pregunta |
| <input type="checkbox"/> Variaciones de voltaje | <input type="checkbox"/> Variaciones de frecuencia |
| <input type="checkbox"/> Armónicos | <input type="checkbox"/> Problemas con tierras |
| <input type="checkbox"/> Otros: | |

Especifique:

3. ¿Tiene o ha tenido problemas de perturbaciones eléctricas debido a las cargas que maneja?

Sí, ¿cuáles? Seleccione de la lista No, pase a la siguiente pregunta

Variaciones de voltaje y corriente

Armónicos

Factor de potencia

Otros:

Especifique:

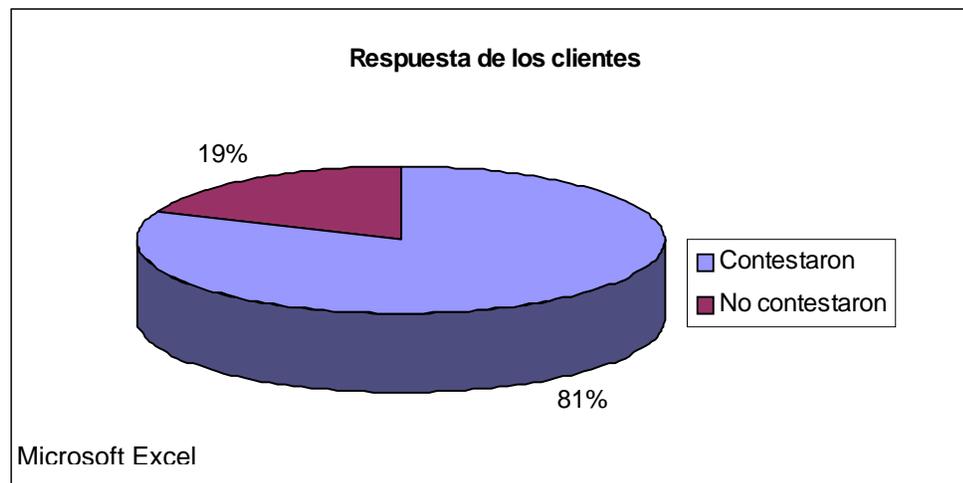
4. ¿Ha hecho algo para eliminarlas?

Sí, pase a la siguiente pregunta No, aquí termina la encuesta

5. ¿Qué ha hecho para eliminarlas? ¿Tiene algún control para perturbaciones?
Especifique en forma general.

Tabla A.1 Clientes encuestados

Cliente
Conducen
Fertica
Flinter S.A.
Ingenio Atirro
INCSA
Intel
Kimberly Clark
Laboratorios Abbott
Panificadora Demasa
Polymer
Praxair Costa Rica
Productos de Concreto
Punto Rojo
Sardimar
Scott Paper
Terramix S.A

**Figura A.2** Porcentaje de clientes que respondieron

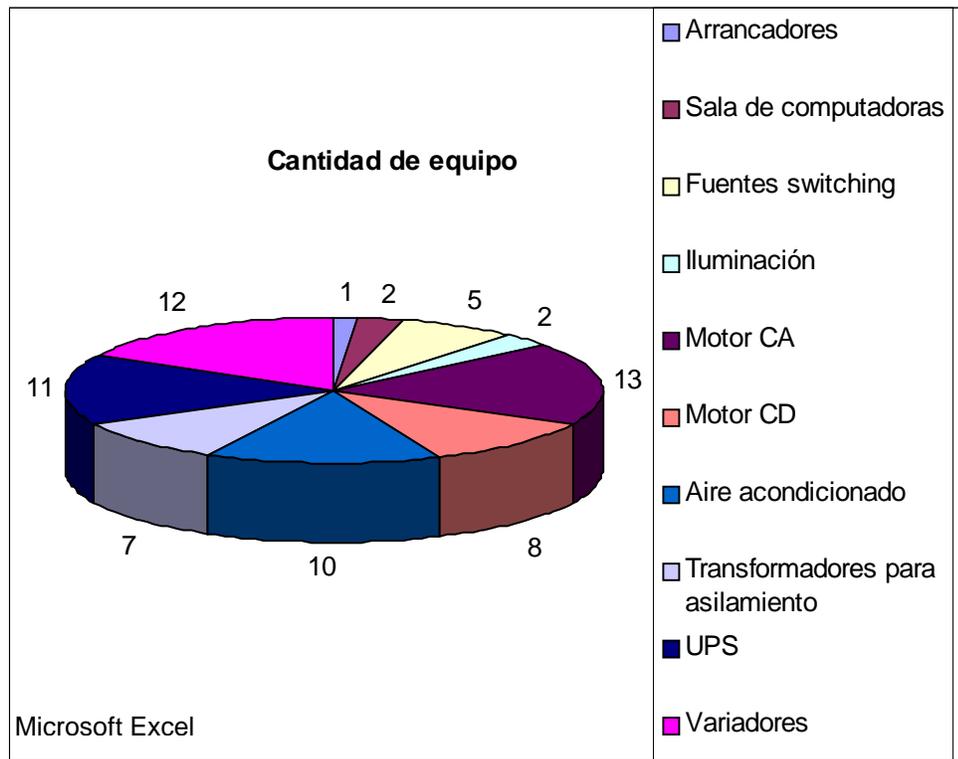


Figura A.3 Cantidad de equipo reportado por los clientes

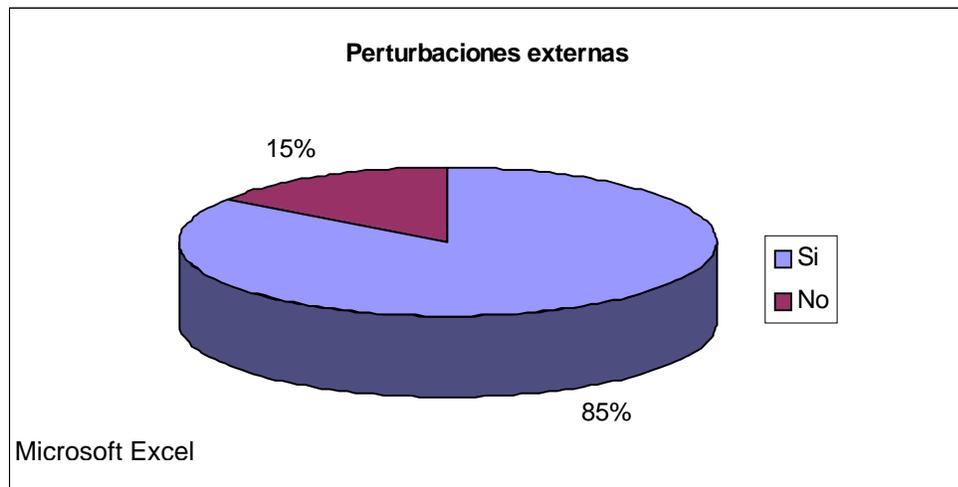


Figura A.4 Cantidad de clientes con perturbaciones eléctricas externas

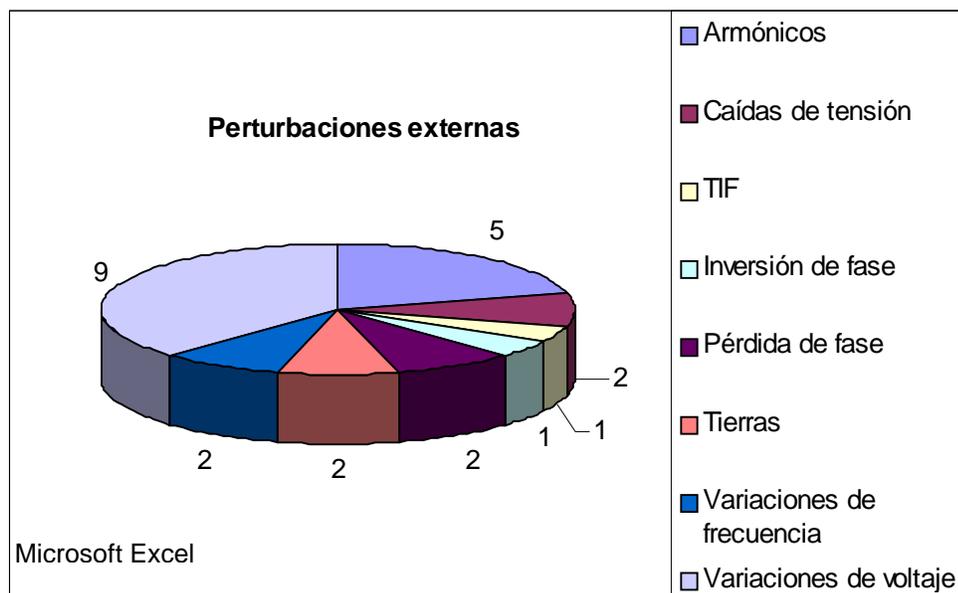


Figura A.5 Detalle de perturbaciones eléctricas externas

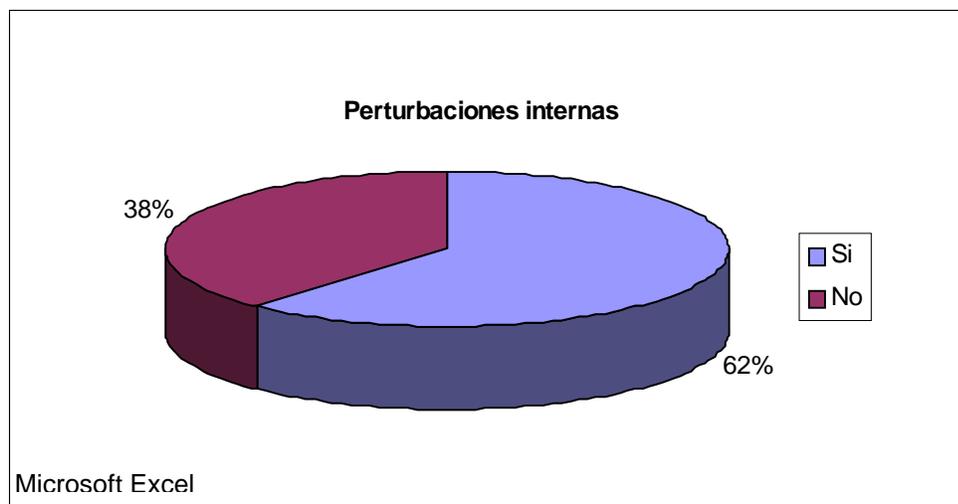


Figura A.6 Cantidad de clientes con perturbaciones eléctricas internas

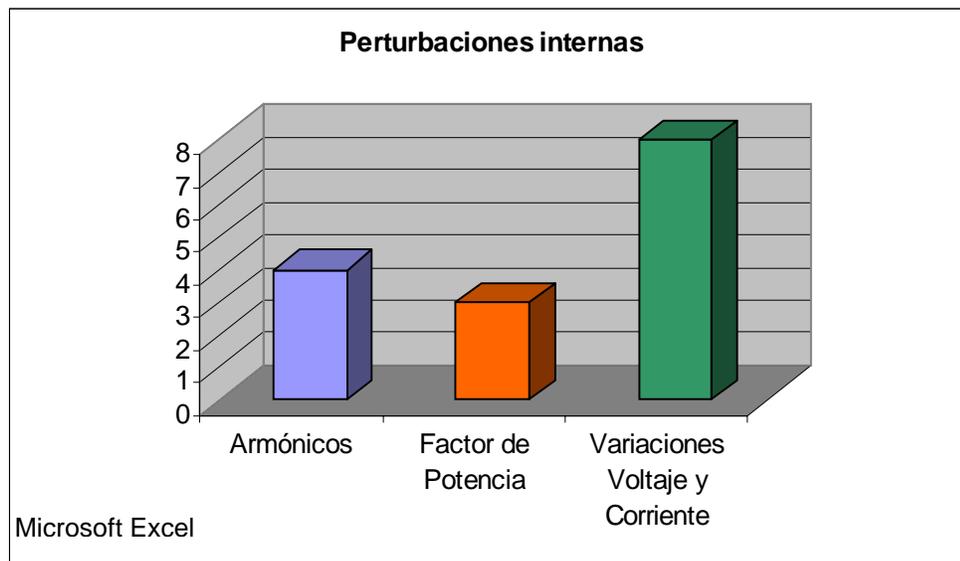


Figura A.7 Detalle de perturbaciones eléctricas internas

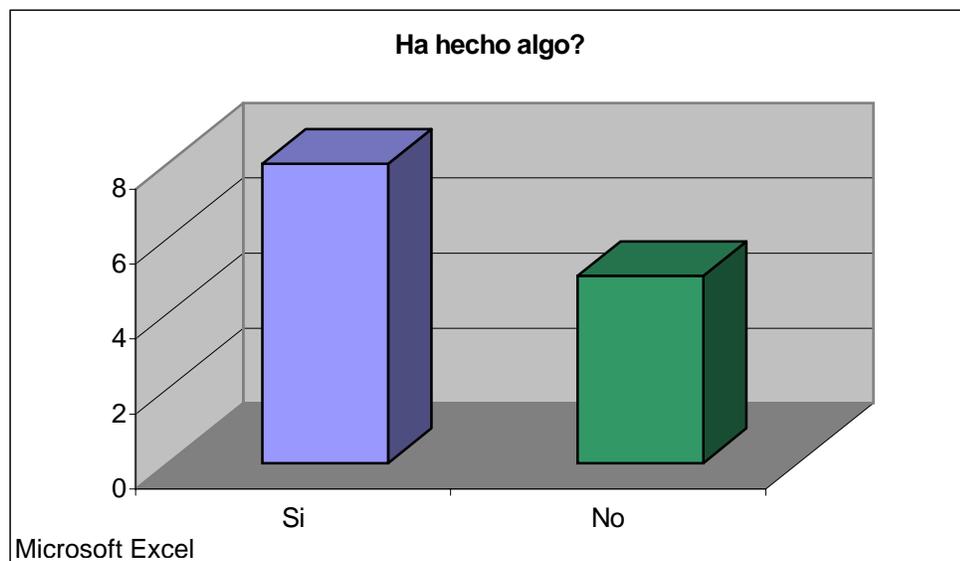


Figura A.8 ¿Han hecho algo contra las perturbaciones?

Apéndice 3: Entrevista

A.3.1. Formato de la entrevista

ENTREVISTA

1. ¿Qué cantidad de clientes maneja en la actualidad la CNFL / ICE?
2. ¿Cuántos de ellos presentan problemas de perturbaciones?
3. ¿Qué ha hecho la CNFL / ICE para evitar las perturbaciones eléctricas?
4. ¿Cómo miden las perturbaciones eléctricas?
5. ¿Qué equipos utilizan para realizar las mediciones de perturbaciones?
6. ¿Cuáles son las perturbaciones eléctricas más frecuentes?
7. ¿La CNFL tiene algún tipo de estándar o estándares en cuanto a perturbaciones eléctricas o parámetros relacionados?
8. ¿Los usuarios tienen que cumplir con ciertos estándares o características para evitar las perturbaciones?
9. ¿Tiene alguna clasificación de las perturbaciones eléctricas?
10. Si es así, ¿cómo las clasifican y qué parámetros utilizan para clasificarlas?
11. ¿Qué equipos generan más perturbaciones eléctricas?, Según han logrado detectar.
12. ¿Cuáles parámetros deben cumplir los equipos que utilizan los usuarios?
13. ¿Los equipos de medición de perturbaciones deben cumplir con ciertos parámetros o estándares?

A.3.2. Resultados de las entrevistas

El primer entrevistado fue el ingeniero Erick Esquivel Porras, jefe del departamento de Control y Distribución de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. El señor Esquivel indicó que la cantidad de clientes de la compañía es bastante grande, pero que para efectos de la entrevista, tomaría como ejemplo los 100 más importantes.

Dentro de ese grupo, sólo 8 a 10 empresas presentan quejas y consultas en cuanto a la distribución. Las quejas más frecuentes son debidas a apagones, picos de voltaje y problemas con máximos y mínimos. Esto refleja que apenas un 10% de las empresas se preocupan por el suministro que se les brindan. Destacó que uno de los clientes más frecuentes con sus quejas es Componentes INTEL de Costa Rica.

La CNFL ha logrado detectar este tipo de perturbaciones, ya que desde hace más de un año cuentan con un sistema scada de monitoreo del suministro. El sistema está integrado de forma general por monitores de potencia Powerlogic ubicados en 26 de las subestaciones de la red nacional de suministro.

El sistema recolecta la información vía radio módems, los cuales transmiten la información a una computadora central, ubicada en la oficina del ingeniero Esquivel. En la computadora se tiene instalado el software LineCorder, el cual captura los datos y los almacena en una base de datos. Las funciones generales de este paquete es la de desplegar los datos de voltajes, corrientes, potencias, energías, máximos y mínimos. Permite graficar las curvas de voltajes y corrientes, de máximos y mínimos, realiza cálculos estadísticos de fluctuaciones en el suministro, demanda de cada subestación, entre otras funciones.

En 6 de las subestaciones se tiene un sistema de monitoreo más detallado para lograr medir perturbaciones eléctricas, que se presenten a los clientes más importantes, entre ellos Componentes INTEL de Costa Rica, Cementos INCSA y Cementos del Pacífico S. A.

Dentro de las perturbaciones más frecuentes que se han logrado monitorear se encuentran máximos y mínimos, transitorios, niveles de voltaje fuera del 10% de los valores nominales, armónicos y pérdidas de fase. Dichos problemas, argumenta el ingeniero Esquivel, no los produce la CNFL, sino más bien se deben a perturbaciones originadas por la mayoría de clientes que no tienen protecciones o buenos sistemas de tierras. El sistema scada logra detectar dichas alteraciones debido a que se propagan a través de la red de distribución.

Actualmente no se tienen establecidos estándares o rangos de tolerancia para estas perturbaciones, pero se pretende utilizar estándares de la IEEE y de la American National Standard (Estándares Nacionales Americanos). Se piensa también empezar con una política de calidad energética. Pero la gran traba es que no hay una regulación o legislación que respalde esta idea.

Por el momento lo que se hace para evitar estas perturbaciones es recomendar a los clientes, que solicitan estudios de calidad energética, a que se apeguen a los estándares de la IEEE. En cuanto a este tipo de estudios, señala el ingeniero, que menos del 10% de las empresas solicitan estudios de calidad energética, servicio que presta la CNFL.

Dichos estudios no se encuentran documentados en la CNFL, pero se les entregan los resultados a las empresas. Los datos finales han detectado que los equipos que más producen perturbaciones son los convertidores de corriente alterna a directa, máquinas para soldar, variadores de frecuencia, equipos de cómputo, en este caso se refiere a salas de computadoras, no a una computadora por sí sola. Además de las luces fluorescentes que tienen balastos electrónicos. Un problema frecuente es que las empresas tienen en sus plantas motores que fueron diseñados para voltajes y frecuencias diferentes a las utilizadas en Costa Rica.

Para el señor Esquivel, las características más importantes con que debe contar un sistema de monitoreo de potencia es que debe cumplir con los valores nominales de voltaje y corriente, amplio rango de medición de armónicos, así como mediciones reales de valores rms y que se rija bajo la IEEE.

La otra entrevista se realizó al ingeniero Rolando Ríos del Instituto Costarricense de Electricidad. Don Rolando trabaja en el departamento de Calidad Energética del ICE, división que tiene 7 meses de haber empezado funciones. Dentro de las labores que desempeñan está el monitoreo especializado para tres de los clientes más grandes del ICE: INTEL, INCSA y CEMPA S.A. Los datos se recolectan utilizando un sistema scada, similar al de la CNFL. Utilizan el Powerlogic como dispositivo de medición.

Se especializan en estos tres clientes debido a que utilizan mucha maquinaria y equipo electrónico susceptible a las variaciones en el suministro. Por tal motivo realizan cálculos estadísticos diarios para saber el estado de la alimentación a dichas empresas.

La información que dio el ingeniero Ríos vino a ratificar lo que el ingeniero Esquivel había detallado con respecto a las perturbaciones eléctricas más frecuentes. Como suplemento a lo ya indicado, el señor Ríos dijo que piensan abrir las puertas de su departamento a demás clientes que así lo deseen, la limitante por el momento es el presupuesto con que cuentan y muy poco personal capacitado.

La idea es incentivar la política de calidad energética, pero una de las dificultades para ello es que muchos de los clientes no le toman la importancia debida y creen que con los índices de producción actuales es suficiente y piensan que las mediciones de perturbaciones son un costo más.

El ingeniero Ríos indicó que para que un dispositivo de medición fuera confiable, debería detectar perturbaciones rápidas, o sea transitorios, picos de gran amplitud y de tiempo casi instantáneo. Además de contar con herramientas de análisis y cálculo que permitan al usuario detectar con mayor facilidad el origen de los problemas.

Apéndice 4: Diagrama de conexión del Powermonitor II

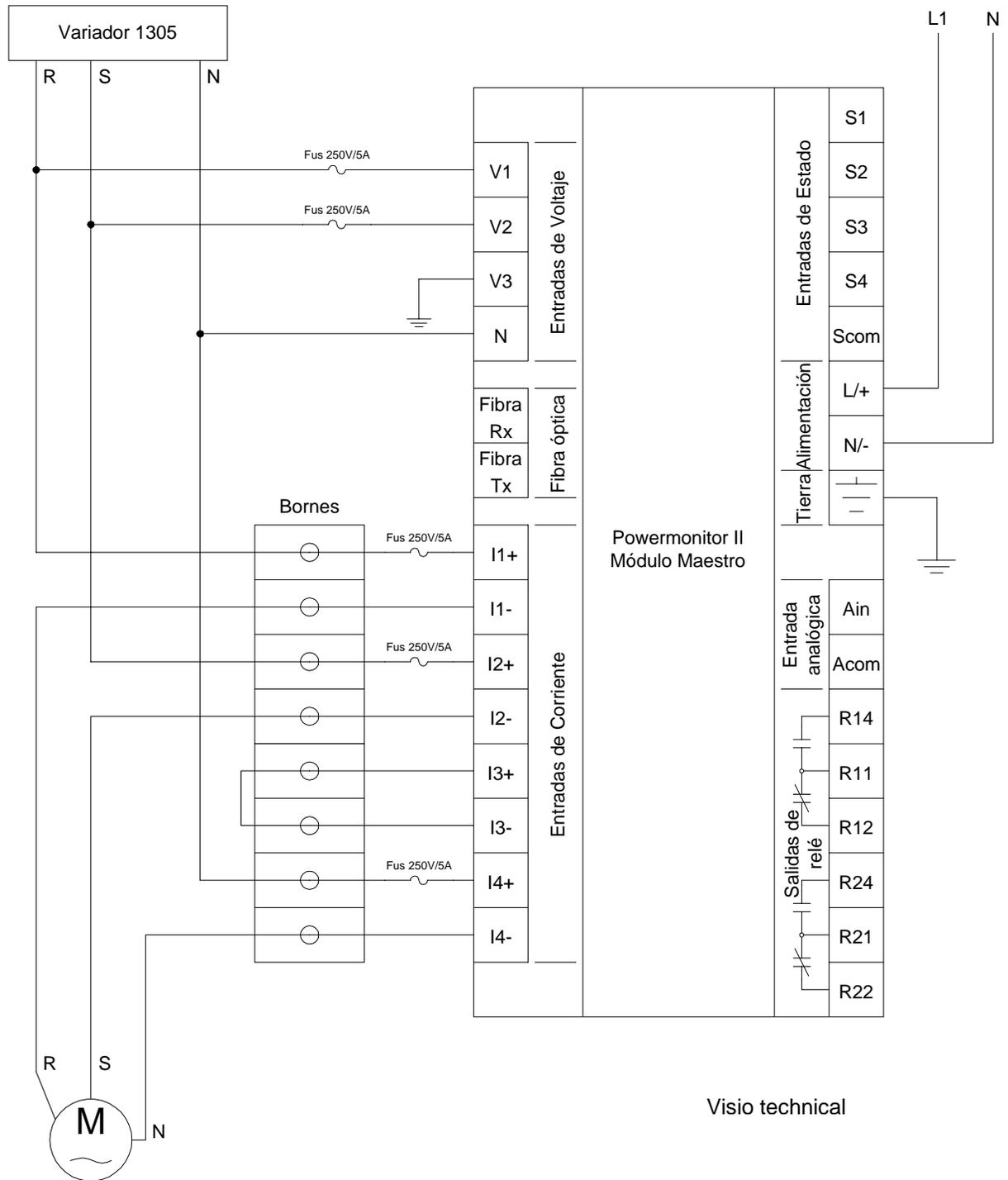


Figura A.9 Diagrama de conexión del Powermonitor II

ANEXOS

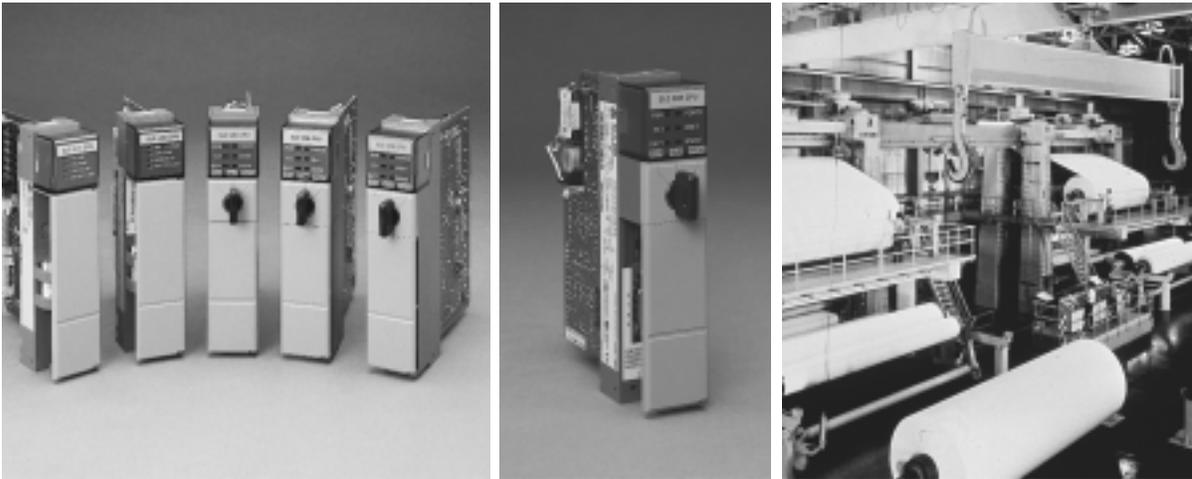
Anexo 1: Hoja de datos del SLC 5/03



SLC 500™ Chassis-Based Processors

(Catalog Numbers 1747-L511, -L514, -L524, -L531, -L532, -L541, -L542, -L543, -L551, -L552, -L553)

Product Data



The SLC 500 product line allows you to build just the right control system to meet your needs. We offer four chassis sizes, five power supplies, eleven processors, and a wide variety of I/O modules. Additionally, we offer flexible communication options and programming and operator interface options.

The SLC 500 family of programmable controllers have expanded to meet a broader range of applications. From high-speed packaging and material handling applications to advanced process control applications, Allen-Bradley offers the right processor for your job.

The SLC 5/03™, SLC 5/04™ and SLC 5/05™ processors offer features previously found only on high-level Plus. The SLC 500 processors provide a broad range of communication options, including DH-485, RS-232, DH+™, and Ethernet™. Increased instruction support with ASCII, floating point math, and indirect addressing allows you to expand your application's capabilities.

Features and Benefits

Supports user memory sizes from 1K to 64K. By offering a wide range of user memory, SLC 500 modular processors can be used in a wide variety of applications.

Supports a variety of input and output modules. The 1746 modular I/O system offers over 60 types of modules, allowing you to customize your control solution to meet your application needs.

Supports I/O configurations of up to 3 chassis (30 local I/O slots). Provides you with the flexibility to expand I/O capacity as required.

Supports remote I/O and DeviceNet. The SLC 5/02 and above processors support up to 4096 discrete inputs and 4096 discrete outputs which may be a mix of local or remote I/O as well as I/O on DeviceNet.

Provides superior system throughput. SLC 500 modular processors deliver fast overall system throughput times, providing fast response in high-speed applications.

Supports Ethernet communication. The SLC 5/05 processors support 10 Mbps Ethernet communication and use the TCP/IP protocol. The 10Base-T Ethernet channel provides an economical connection to your Ethernet network.

Supports Data Highway Plus™ (DH+) communication. The SLC 5/04 processor provides communication and seamless integration into the larger Allen-Bradley PLC-5® network.

Supports DH-485 communication. Communication via the DH-485 network is available in every processor we ship, reducing your system cost for processor communication.

Provides a second channel for RS-232 communication for the SLC 5/03, SLC 5/04, and SLC 5/05 processors. This allows:

- dial up for remote monitoring and programming
- networking over modems for SCADA master/slave RTU applications
- an alternate connection for operator interfaces freeing up peer-to-peer network
- direct communication to ASCII devices such as bar code decoders and serial printers via a complete set of ASCII ladder instructions which simplify programming.

Provides user-selectable program security. The wide range of system protection capabilities allow you to secure user data and program files from changes.

SLC 5/03™ Processor (Catalog # 1747-L531 and 1747-L532)



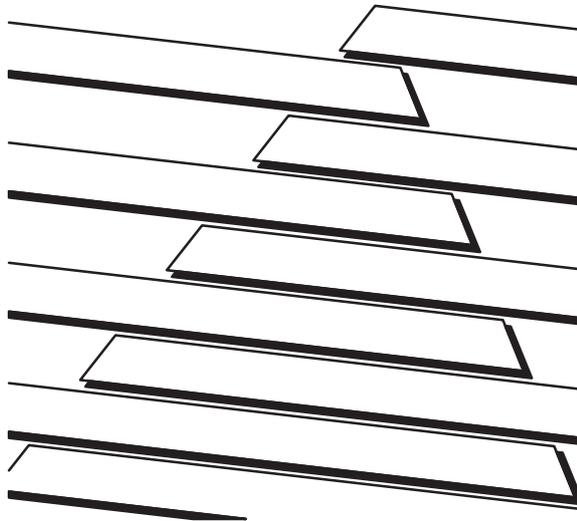
The SLC 5/03 processor significantly increases performance by supplying system throughput times of 1 ms for a typical 1K user program. Now applications such as high-speed packaging, sorting, and material handling become more affordable. With the addition of online editing, the SLC 5/03 processor presents a positive solution for your continuous process application. A built-in RS-232 channel gives you the flexibility to connect to external intelligent devices without the need for additional modules. The SLC 5/03 processor provides:

- program memory size of 8K or 16K
- control of up to 4096 input and output points
- online programming (includes runtime editing)
- built-in DH-485 channel
- built-in RS-232 channel, supporting:
 - DF1 Full-Duplex for point-to-point communication; remotely via a modem, or direct connection to programming or operator interface devices. (Use a 1747-CP3 cable for direct connection.)
 - DF1 Half-Duplex Master/Slave for SCADA type (point-to-multipoint) communication
 - DH-485 (Serves as a second DH-485 channel. Use a 1761-NET-AIC with a 1747-CP3 cable to connect to the DH-485 network.)
 - ASCII I/O for connection to other ASCII devices, such as bar code readers, serial printers, and weigh scales
- remote I/O passthru
- built-in real-time clock/calendar
- 2 ms Selectable Timed Interrupt (STI)
- 0.50 ms Discrete Input Interrupt (DII)
- advanced math features - trigonometric, PID, exponential, floating point, and the compute instruction
- indirect addressing
- flash PROM provides firmware upgrades without physically changing EPROMS
- optional flash EPROM memory module available
- keyswitch - RUN, REMote, PROGram (clear faults)
- battery-backed RAM

Anexo 2: Manual del usuario del 1305 variador de frecuencia



Allen-Bradley



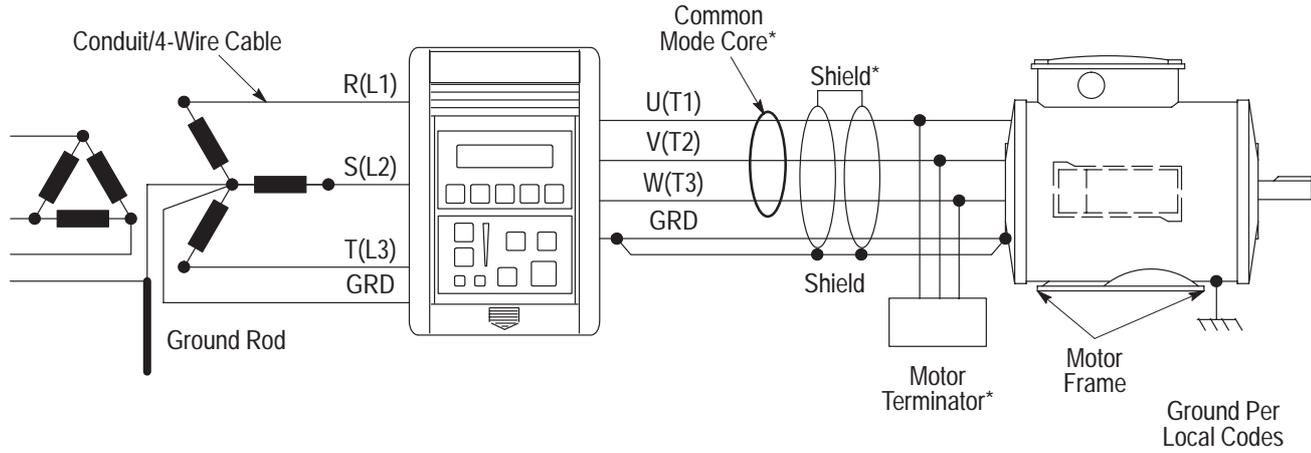
Bulletin 1305 Adjustable Frequency AC Drive

1/2 - 5 HP / 0.37 - 4 kW

User Manual
FRN 1.01 – 3.00

PLEASE READ THE **ATTENTION**
STATEMENT ON PAGE 2-16 AND
2-18 *BEFORE* INSTALLING THE
DRIVE.

Figure 2.5 Recommended 1305 Grounding



* These are options that can be installed as needed.

AB0518A

Table B.2 Logic Control Data

This information will be displayed in the controller’s output image table and will be sent to the drive when the appropriate dip switch setting on the Communication Module is enabled.

Logic Bits																Status	Text
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
															X	Stop	1 = Stop, 0 = Not Stop
														X		Start	1 = Start, 0 = Not Start
													X			Jog	1 = Jog, 0 = Not Jog
												X				Clear Faults	1 = Clear Faults 0 = Not Clear Faults
										X	X					Direction	00 = No Command 10 = Reverse Command 01 = Forward Command 11 = Hold Direction Control
									X							Local	1 = Local Lockout, 0 = Not Local
								X								MOP Increment	1 = Increment, 0 = Not
						X	X									Accel Time	00 = No Commd 10 = Accel Time 2 Commd 01 = Accel Time 1 Commd 11 = Hold Accel Time Ctrl
				X	X											Decel Time	00 = No Commd Time 10 = Decel Time 2 Commd 01 = Decel Time 1 Commd 11 = Hold Time Ctrl
	X	X	X													Reference Select	000 = No Command Select 001 = [Freq Select 1] (Selectable) 010 = [Freq Select 2] (Selectable) 011 = [Preset Freq 3] 100 = [Preset Freq 4] 101 = [Preset Freq 5] 110 = [Preset Freq 6] 111 = [Preset Freq 7]
X																MOP Dec	1 = Decrement, 0 = Not

Table B.3 Drive Status Data

This information will be displayed in the controller’s input image table when the appropriate dip switch setting on the Communication Module is enabled.

Logic Bits															Status	Text	
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			0
															X	Enabled	1 = Enabled, 0 = Not Enabled
															X	Running	1 = Running, 0 = Not Running
													X			Command Direction	1 = Forward, 0 = Reverse
											X					Rotating Direction	1 = Forward, 0 = Reverse
										X						Accel	1 = Accelerating, 0 = Not
										X						Decel	1 = Decelerating, 0 = Not
								X								Alarm	1 = Alarm, 0 = No Alarm
								X								Fault	1 = Faulted, 0 = Not Faulted
						X										At Speed	1 = At Speed, 0 = NOT at Speed
				X	X	X										Local	000 = TB2 Local 100 = Adapter 4 Local 001 = Adapter 1 Local 101 = Adapter 5 Local 010 = Adapter 2 Local 110 = Adapter 6 Local 011 = Adapter 3 Local 111 = No Local Control
X	X	X	X													Frequency Reference	0000 = Freq Select 1 1000 = Freq Select 2 0001 = Preset Freq 1 1001 = Port 1 Adapter 1 0010 = Preset Freq 2 1010 = Port 2 Adapter 2 0011 = Preset Freq 3 1011 = Port 3 Adapter 3 0100 = Preset Freq 4 1100 = Port 4 Adapter 4 0101 = Preset Freq 5 1101 = Port 5 Adapter 5 0110 = Preset Freq 6 1110 = Port 6 Adapter 6 0111 = Preset Freq 7 1111 = Jog Frequency

Anexo 3: Manual del usuario de la tarjeta 1784-PCMk



Allen-Bradley

***Tarjeta de
comunicación***

PCMK

(Cat. No. 1784-PCMK/B)

Manual del usuario



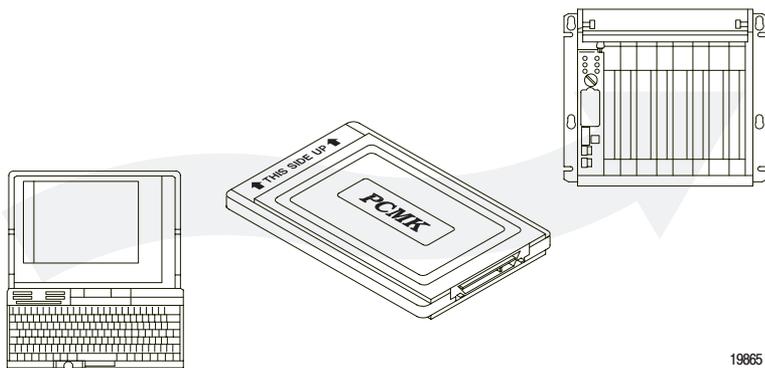
tarjeta PC Card y los sockets en su computadora. Socket Services también controla al adaptador.

Card Services proporciona acceso a los recursos del sistema (tales como memoria y peticiones de interrupción) y automáticamente deja libres los recursos del sistema cuando usted quita la tarjeta PC Card de un socket. *Card Services* también proporciona una interface a un software de nivel más alto si usted necesita cargar controladores de hardware.

Después que la PC Card establece comunicación con la computadora, la Estructura de identificación de tarjeta proporciona información de configuración sobre la PC Card a la computadora, tal como almacenamiento disponible, tipo de dispositivo y formato de datos.

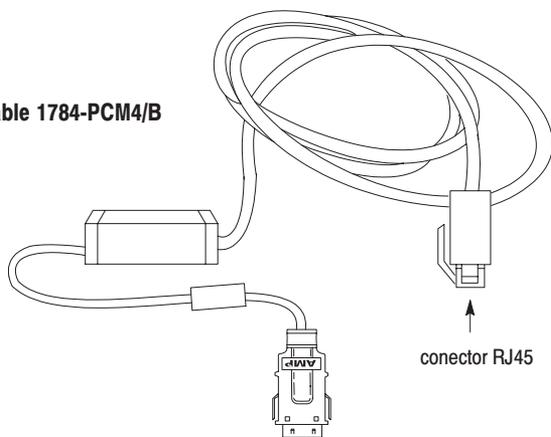
¿Qué es la tarjeta PCMK?

La tarjeta PCMK/B es una tarjeta PCMCIA de factor de formato Tipo II que permite que una computadora notebook se interconecte con otros dispositivos en las redes de comunicación DH+™, DH485 y de E/S remotas.

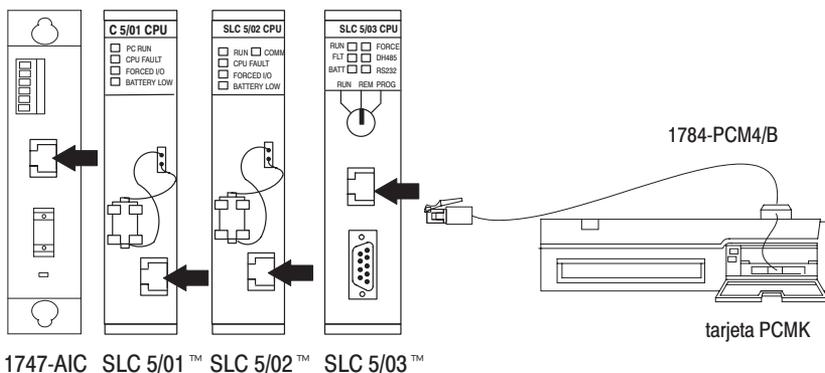


19865

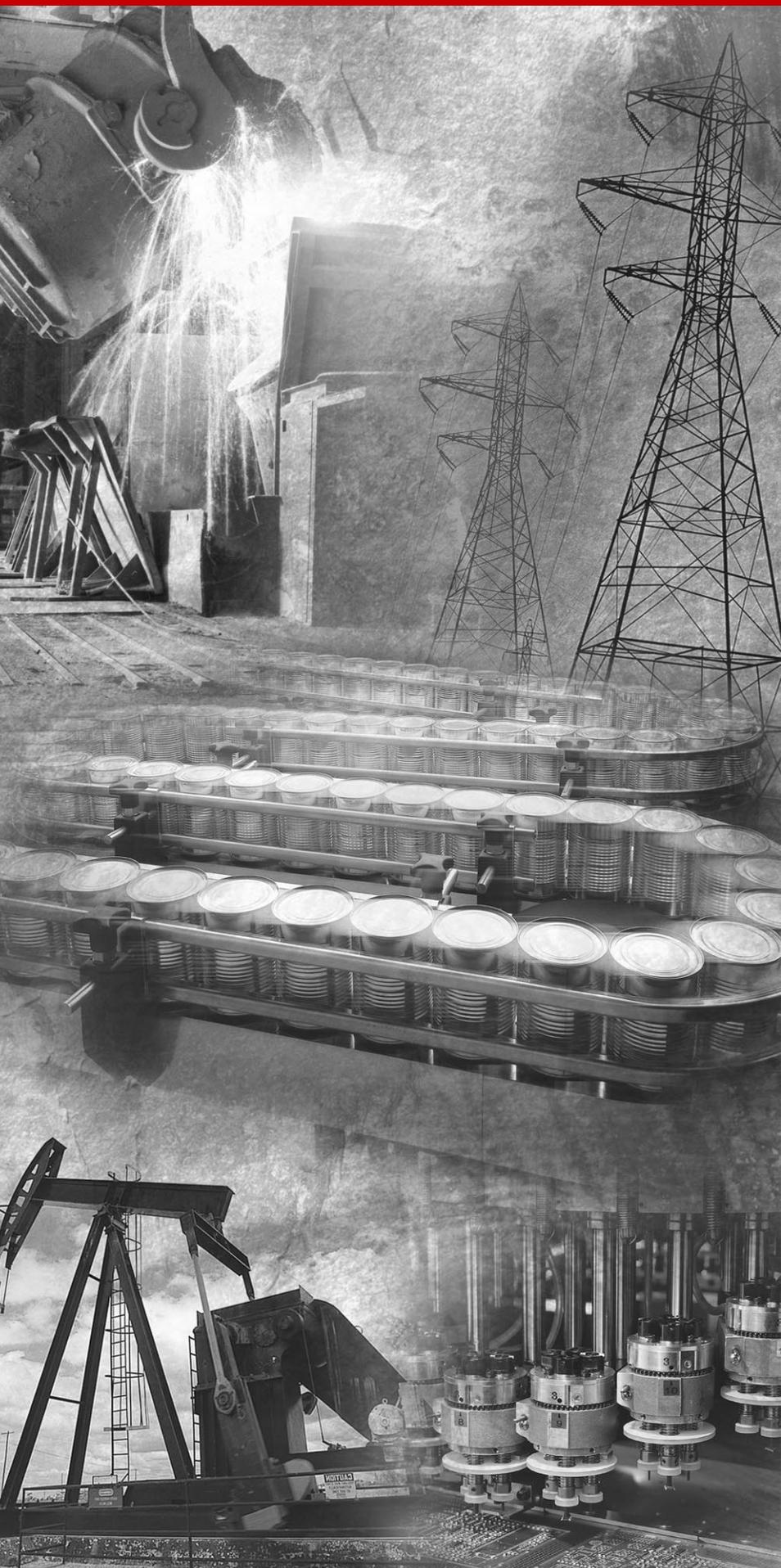
cable 1784-PCM4/B



20692-M



Anexo 4: Manual del usuario de dispositivos de DeviceNet



Allen-Bradley

DeviceNet™ Communications Module

Catalog Number 1203-GK5 or 1336-GM5
Firmware 1.xxx-3.xxx

DeviceNet
CONFORMANCE TESTED™

User Manual

**Rockwell
Automation**

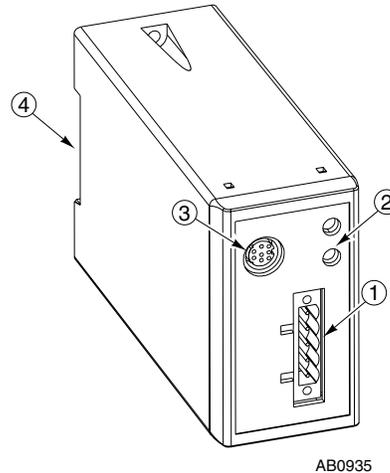
Hardware and Parts Description

The hardware included with the adapter depends on the adapter that you have.

1203-GK5 Module Hardware

Figure 1.3 illustrates and the following table lists the main parts of the 1203-GK5 DeviceNet communications module:

Figure 1.3
Parts of the 1203-GK5 Module



Number	Part	Description
1	DeviceNet Connection	Provides a 5-pin Phoenix connector to attach the module to the network.
2	Bi-Color LEDs	Indicate the status of the DeviceNet media channel and of the SCANport connection. For more information, refer to Chapter 7, <i>Troubleshooting</i> .
3	SCANport Connection	Provides a standard SCANport 8-pin circular mini-DIN connector for the SCANport cable.
4	DIN Rail Mount	Securely attaches and electronically grounds the module to the DIN rail.
Not Shown	DIP Switches	Located on the bottom of the module, these switches are used to configure the module. For more information, refer to Chapter 2, <i>Configuring the 1203-GK5 Module or 1336-GM5 Board</i> .
Not Shown	5-Pin Plug-In Connector	This part is supplied with the module. The 5-pin plug-in connector is a connector to attach to the DeviceNet cable.
Not Shown	10-Pin Plug-In Connector	This part is supplied with the module. The 10-pin plug-in connector is a connector to attach to the DeviceNet cable.

Creating a Ladder Logic Program

Chapter Objectives

Chapter 5 provides information needed to create the PLC or SLC Ladder Logic program that the controller will use to transmit control I/O and messages to and from the product connected to the 1203-GK5 module or 1336-GM5 board. In this chapter, you will read about the following:

- Equipment and software needed to create either a PLC or SLC ladder logic program.
- Example PLC and SLC ladder logic programs to control the drive.

This chapter assumes you are familiar with the hardware components and programming procedures necessary to create a ladder logic program for a PLC-5 or SLC-5/03[®]. It also assumes that you have experience using RSLogix 5 or RSLogix500 to create ladder logic programs.

You may need to refer to the documentation provided with your controller or scanner to develop a ladder logic program.

Required Equipment

Before creating a ladder logic program for the PLC or SLC, your computer must be:

- Running RSLogix5 and RSLinx if using a PLC.
- Running RSLogix500 and RSLinx if using an SLC.
- Connected to and communicating with the PLC or SLC using a network such as a DH+[™], DH485, or ControlNet[™]. Your computer needs a network card to connect to one of these networks. For example, a 1784-KTX card is used to connect to a DH+ network, and a 1784-KTC card is used to connect to a ControlNet network.

About RSLogix

RSLogix5 (for the PLC-5) and RSLogix500 (for the SLC-5/03) software let you create ladder logic programs and download them to the PLC or SLC. These applications also let you monitor the ladder logic program as the PLC or SLC is using it.

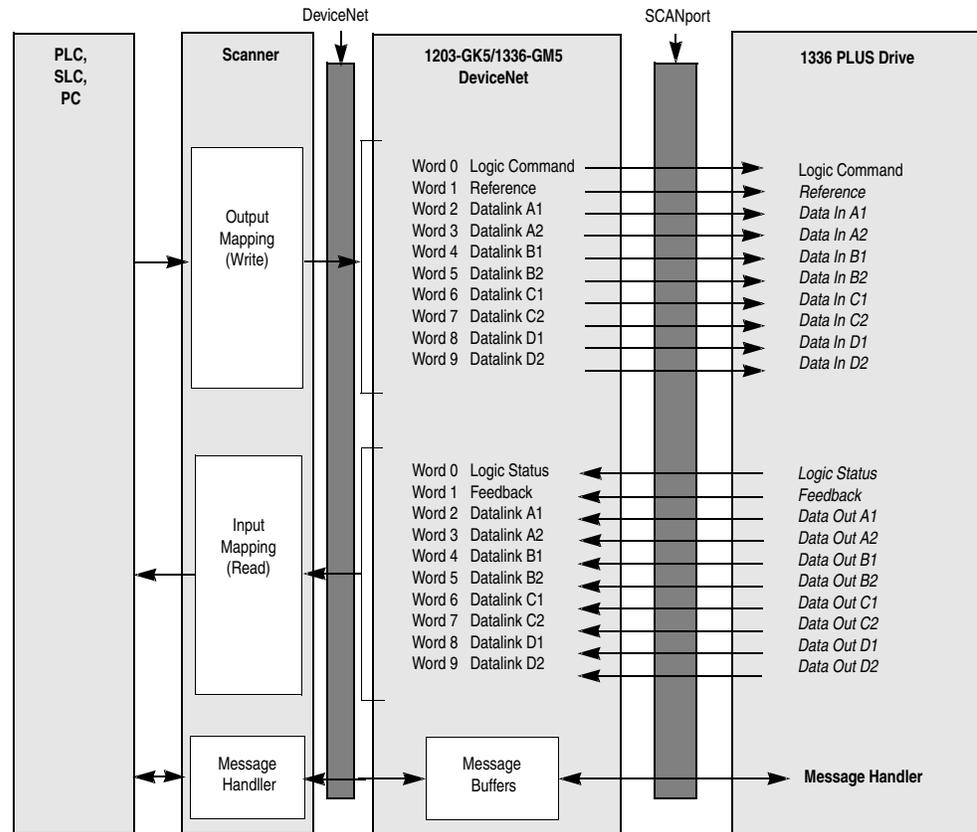
For more information on RSLogix5 or RSLogix500, consult the respective software documentation or visit <http://www.software.rockwell.com>.

About Ladder Logic Programs

A PLC or SLC ladder logic program lets you control the drive and the messaging from the PLC or SLC on the DeviceNet network. Figure 5.1 shows how the I/O image table for a DeviceNet scanner relates to the drive when a 1203-GK5 module or 1336-GM5 board is used.

Important: Figure 5.1 shows all datalinks enabled. Users must enable the desired datalinks in the adapter and connected product.

Figure 5.1
I/O Image Table



Example Ladder Logic Programs

The following are example ladder logic programs. They can be used for a 1305, 1336 PLUS, or 1336 PLUS II drive.



ATTENTION: The example ladder logic program shown in this manual is intended solely for purpose of example. Because there are many variables and requirements associated with any particular installation, Rockwell Automation does not assume responsibility or liability (to include intellectual property liability) for actual use based upon the example shown in this publication.

Important: Different SCANport products have different Logic Command, Logic Status, Reference and Feedback I/O interpretations. Refer to your product manual for specific I/O definitions.



Installation Instructions

DeviceNet RS-232 Interface Module

(Catalog Number 1770-KFD and 1770-KFDG)

To the Installer

The 1770-KFD module is a portable RS-232 communication interface that provides a host computer access to a DeviceNet™ network.

This document contains this information:

topic	page
purpose and audience	2
precautionary statements	2
handling the module	4
terminology	4
related publications	4
contents of your order	5
introduction to the RS-232 module	8
communicating on DeviceNet	9
mounting the module	10
supplying power	12
connecting cables via RS-232 to a computer	14
connecting cables via RS-232 to a modem	16
connecting cables via DeviceNet	17
installing the 1770-KFD driver	22
interpreting status indicators	23
specifications	25
support services	26

New or modified information is highlighted by a revision bar.

Introducing the 1770-KFD Interface Module

The 1770-KFD module, described in Figure 1, is a portable RS-232 communication interface that provides a host computer access to a DeviceNet network.

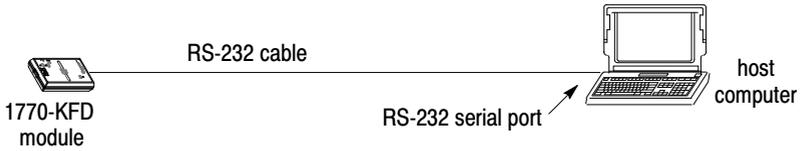
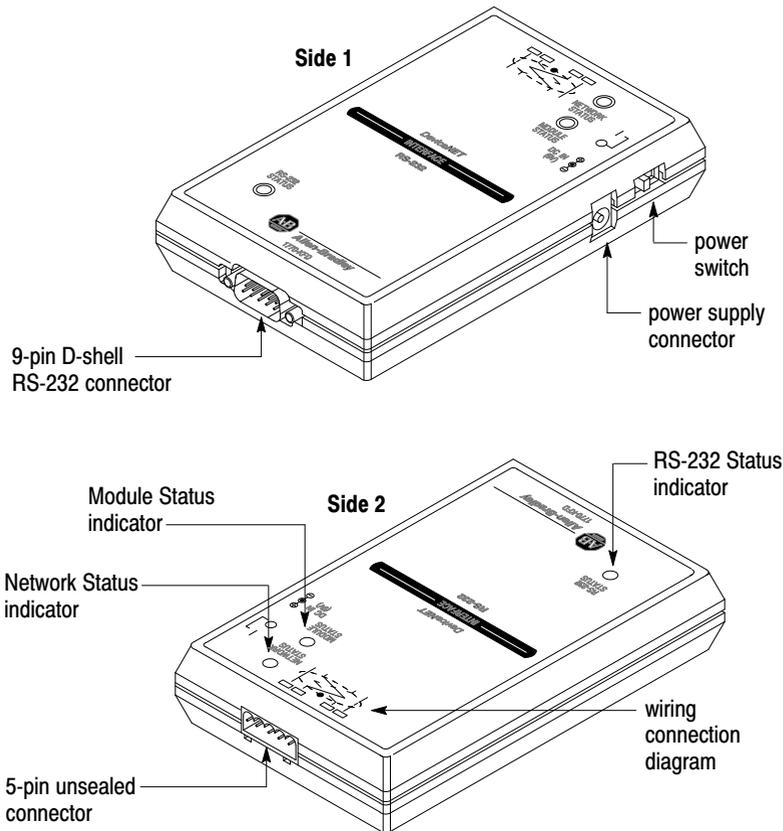


Figure 1
1770-KFD module





Allen-Bradley

DeviceNet
COMMUNICATIONS NETWORK
Stack Light

855T

User Manual



Overview of DeviceNet™ Stack Light

Chapter Objectives

This chapter provides an overview of the DeviceNet™ Stack Light and its features. It contains the following sections:

Section	Page
Description	1-1
Base Features	1-2
Module Positions	1-3
Rotary Switches	1-3
DeviceNet™ Connection	1-4
Typical DeviceNet™ Configuration	1-4
DeviceNet™ Components	1-5
Replacement Parts	1-6

Description

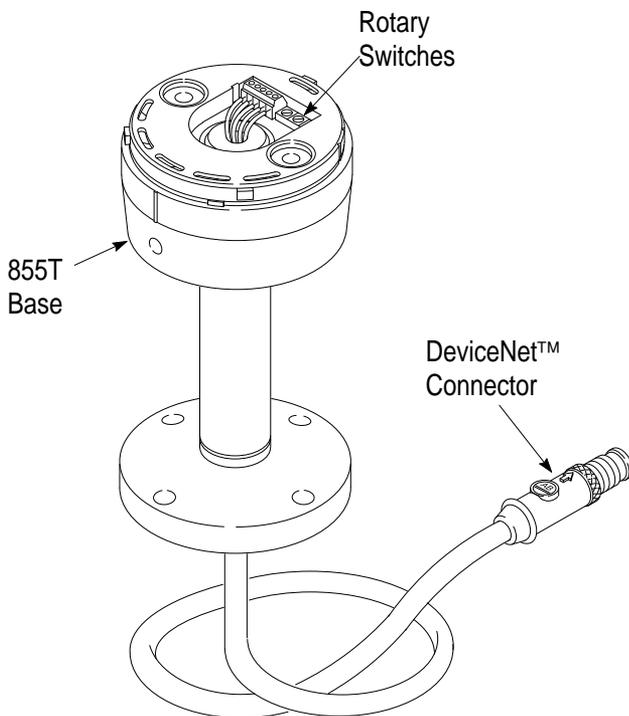
The 855T Control Tower™ Stack Light line offers DeviceNet™ Bases for applications where network communication is desired. All of the functionality for the DeviceNet™ Interface is contained within the mounting base. All light and sound modules for the 855T Control Tower™ Stack Light line are compatible with the standard bases, or with DeviceNet™ Bases. The entire stack is powered from the DeviceNet™ Network. A separate power supply is not required.

The 855T Control Tower™ Stack Light DeviceNet™ Bases allow up to 5 light modules, 4 light modules plus a combination light and sound module, 4 light modules plus a single-tone sound module, or 3 light modules plus a dual-tone sound module.

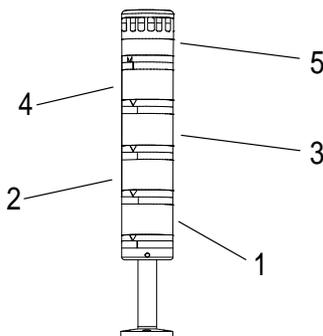
Summary of Features

- Standard or assembled configurations
- Surface mounting, pole mounting (10 cm or 25 cm), vertical mounting, and conduit mounting available
- Allows the use of up to 5 modules in 1 stack
- NEMA Type 12 environmental rating
- Easy installation and startup
- DeviceNet™ connectivity
- Powered by DeviceNet™ connection (no power supply required)
- Available with stranded wire or micro connector
- DeviceNet™ Cable is pre-wired to all bases

Base Features



Module Positions



Rotary Switches

The DeviceNet™ Stack Light has three 10-position rotary switches for setting:

- DeviceNet™ Data Rate
- DeviceNet™ Node Address

The rotary switches are located on the circuit board on the top of the base. The switch settings and functions are shown below.

