



MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico.

Título:

*Supervisor para las redes de media tensión de la empresa
Comandante Ernesto Che Guevara con funciones autónomas.*

Autor: Glennis Jiménez Galano

Tutor: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

Tutor: Ing. Ernesto Coello Velázquez

Moa 2012

Año del 54 Aniversario del Triunfo de la Revolución

Pensamiento:

“Los conceptos y principios fundamentales de la ciencia son invenciones libres del espíritu humano”.

Albert Einstein

Dedicatoria:

Dedico este trabajo a toda mi familia, por siempre haber confiado en mí, a mis padres María Caridad Galano Machado y Marcelo Jiménez Rodríguez, por su apoyo incondicional durante el transcurso de mi vida, a mi hermanito pequeño para que siga mi ejemplo y crezca pensando en ser alguien en la vida.

Agradecimientos:

Primeramente, gracias a Dios por haber bendecido el vientre de mi madre y haberme regalado la vida. Agradezco a mis tutores: Dr. Luis D Rojas Purón, por haberme inspirado confianza y por su apoyo a pesar de la distancia, a el Ing. Ernesto Cuello Velázquez, de todo corazón gracias porque a pesar de tantas responsabilidades laborales, siempre mantuvo un tiempo para mí, porque se lo difícil que le resultó, nunca deje de sentir su apoyo incondicional, Gracias a mis amigos, a mi familia, a y a toda persona que de una forma u otra contribuyo a la realización de este trabajo de diploma.

Muchas gracias.

Declaración de Autoría

Yo, Glennis Jiménez Galano, la única autora de este trabajo de Diploma titulado: “Supervisor para la redes de media tensión de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara con funciones autónomas” certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a hacer uso del mismo con la finalidad académica que estime conveniente.

Firma: _____

Hoja de firmas

Este trabajo de diploma ha sido revisado y aprobado por las instancias correspondientes y para que así conste se firma la presente.

Tutor:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

Oponente:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

J Dpto.:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

RESUMEN

El trabajo titulado “Supervisor para la redes de media tensión de la empresa *Comandante Ernesto Che Guevara*” con funciones autónomas consta de una introducción general donde se plantean aspectos relacionados con la fundamentación teórico-metodológica, el problema, la hipótesis, objetivo general, objetivos específicos, las tareas de investigación y los resultados esperados.

El trabajo se compone de cuatro capítulos. En el primer capítulo se hace una valoración general de los Sistema de adquisición de datos, funciones y necesidades, así como el estado del arte del mismo. Un segundo Capítulo caracteriza al sistema de potencia de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara pasando por la descripción de su proceso tecnológico. En el tercer capítulo, haciendo uso de las técnicas de inteligencia artificial, se desarrolla un controlador difuso para la toma de decisiones en cuanto a operaciones en regímenes anormales de funcionamiento del sistema eléctrico.

El cuarto y último capítulo se propone un Sistema SCADA basado en el CitectSCADA con funciones autónomas las cuales intervienen como complemento de la operación del sistema de media tensión de la empresa, además hace una valoración económica de la implementación del mismo.

El sistema propuesto está dotado de funciones, eventos y propiedades de tal forma que realizar esta actividad suponga un esfuerzo mínimo para el hombre y su implementación está sustentada en el proceso de modernización en el cual está inmerso el esquema de protección, control y medición de media tensión de la mencionada empresa.

ABSTRACT

The titled work "Supervisor for the nets of half tension of the company Cmdte Ernesto Che Guevara" with autonomous functions it consists of a general introduction where they think about aspects related with the theoretical-methodological foundation, the problem, the hypothesis, general objective, specific objectives, the investigation tasks and the prospective results.

The work is composed of four chapters. In the first chapter it is made a general valuation of the data acquisition System, functions and necessities, as well as the state of the art of same. A second Chapter characterizes to the system of power of the company Cmdte Ernesto Che Guevara going by the description of its technological process. In the third chapter, making use of the artificial intelligence techniques, a diffuse controller is developed for the taking of decisions as for operations in abnormal regimens of operation of the electric system.

The room and last chapter intends a System SCADA based on the CitectSCADA with autonomous functions which intervene like complement of the operation of the system of half tension of the company, also makes an economic valuation of the implementation of the same one.

The proposed system is endowed with functions, events and estates in such a way that to carry out this activity supposes a minimum effort for the man and its implementation is sustained in the modernization process in which is immersed the protection outline, control and mensuration of half tension of the aforementioned company.

Índice

INTRODUCCION GENERAL

CAPÍTULO I. NOCIONES SOBRE SISTEMAS SCADA

CAPÍTULO I. NOCIONES SOBRE SISTEMAS SCADA		pág
1.1	Introducción.	1
1.2	Definición General	1
1.3	Introducción a SCADA	2
1.4	Requisitos y Prestaciones	3
1.5	Necesidades de un Sistema SCADA	4
1.6	Funciones de un Sistema SCADA.	5
1.7	Sistemas de Adquisición de Datos	5
1.8	Interfaces de comunicación	8
1.9	Estructura de un Software SCADA.	10
1.10	Software Citect	14
1.11	Evolución del Software SCADA	20
1.12	Aplicación de los SCADA en la Industria y los Servicios	20
1.13	Estado del Arte de los sistemas SCADA	23
Conclusiones Parciales		26

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE POTENCIA

2.1	Introducción.	27
2.2	Proceso Tecnológico de la Empresa	27
2.2.1	Proceso Tecnológico de la Empresa por Plantas	28
2.3	Estructura actual del Sistema de Potencia	36
2.3.1	Dispositivos de distribución principal y Subestaciones de distribución.	37
2.3.2	Instrucción sobre DI en la Empresa	41
2.3.3	Dispositivos Electrónicos Inteligentes utilizados en el sistema eléctrico	43
	Conclusiones Parciales	46

CAPÍTULO 3.MÓDULOS DE SISTEMAS INTELIGENTES

3.1	Introducción.	47
3.2	Técnicas de Inteligencia Artificial	47
3.3	Lógica Difusa	48
3.4	Aplicaciones	50
3.5	Funcionamiento	52
3.6	Ventajas e Inconvenientes	54

3.7	Diseño de un Convertidor Difuso a través de la herramienta fuzzy de Matlab	55
	Conclusiones Parciales	63
	CAPITULO 4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA SCADA Y DESARROLLO DE NUEVAS FUNCIONES	
4.1	Introducción	64
4.2	Caracterización del nuevo Sistema de Protección, Medición y Control	64
4.3	Arquitectura de la red de Monitoreo	70
4.3.1	Conexionado Físico	70
4.3.2	Protocolo	75 71
4.4	Funciones del Sistema SCADA a través del software Citect	72
4. 4.1	Función de desconexión de cargas para regímenes ...	76
4.5	Diseño de pantalla	77
4.6	Valoración Técnica Económica	79
	Conclusiones Parciales	80
	CONCLUSIONES GENERALES	81
	RECOMENDACIONES	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

Introducción General

La Empresa del Níquel Comandante “Ernesto Che Guevara”, ECG, fue construida con la ayuda de la extinta Unión Soviética. Para la puesta en marcha de dicha empresa se empezaron a realizar los estudios de construcción por los años 70, la ejecución del proyecto comienza a mediados de esa década y no es terminada hasta 1986, año en que es inaugurada. Esta empresa tiene 26 años de trabajo, sin sufrir ningún cambio tecnológico importante en el Sistema Eléctrico de Potencia, SEP y menos aun en el Sistema de Supervisión y Control. El presente trabajo muestra una propuesta enfrascada en el desarrollo del Sistema Supervisor de dicha entidad para contribuir a la automatización del Estado de Descarga Instantánea en la empresa, la cual no es más que la desconexión de cargas referentes a la 3ra y 2da categoría para que cuando ocurra una desconexión del SEN(Sistema Energético Nacional), priorice las cargas de 1ra categoría y evite daños mayores a las máquinas generadoras de la termoeléctrica por sobrecargas ya que las mismas no cuentan con la capacidad de generación necesaria para suplir a toda la Fábrica.

La supervisión es el hecho de controlar a distancia los procesos industriales, de forma remota y computarizada un usuario o una máquina controla los diferentes procesos que se dan en una fábrica y su principal función es la centralización del control de procesos fuera del área de control o fuera de máquina a controlar. En la misma actúan tanto las personas como las máquinas. Tan importante como la supervisión son las jerarquías de control que establecen una red industrial de procesos, existen en el mercado diferentes sistemas para el control, estos se denominan sistemas SCADA y su nomenclatura indica un acrónimo por Supervisory Control And Data Acquisition (control y adquisición de datos de supervisión). Los sistemas SCADA utilizan el computador y las tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Con ésta línea de investigación se pretende elaborar un supervisor que permita el control de la red de media tensión de la empresa a partir de sistemas SCADA y un sistema difuso para la automatización del cálculo de la DI en la empresa.

Fundamentación Teórico – Metodológico:

Se nos hace necesaria la búsqueda de nuevas variantes que contribuyan al mejoramiento de la supervisión y control de los sistemas de potencia con el objetivo de elevar los índices de eficiencia y eficacia de los mismos, creando condiciones seguras de operación del sistema.

Se define como problema de la investigación:

Ausencia de un supervisor inteligente para asegurar las acciones de desconexión de cargas ante fallas tanto del Sistema Electroenergético Nacional como fallas internas en la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara de Moa .

Partiendo del problema se define como objeto de estudio:

Sistema de supervisión para las redes de media Tensión de la empresa.

El objetivo general de la investigación es:

Elaborar una base informativa que permita el diseño de un Sistema Supervisor con funciones autónomas para la operación fiable en los circuitos de media tensión en la Empresa Ernesto Che Guevara, así como la utilización de módulos inteligentes fuzzy para el cálculo de la DI (Descarga Instantánea) de este esquema.

Se identifica como el campo de acción:

Las redes de media Tensión de la empresa.

La presente investigación plantea la siguiente Hipótesis:

Si se tiene la caracterización de los circuitos de potencia de media tensión y sus regímenes de operación se podrá proponer un sistema SCADA que permita el trabajo fiable e inteligente del sistema.

Del objetivo general de la investigación se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el sistema de potencia de media tensión.
- Elaborar un sistema inteligente utilizando la lógica fuzzy como herramienta.
- Proponer un sistema informativo que apoye el trabajo futuro de un SCADA para que en caso de averías o de ocurrir una falla en el sistema Electroenergético Nacional, pueda seleccionar y desconectar los consumidores que no afecten el sistema productivo en la Empresa.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos específicos es necesario llevar a cabo las siguientes tareas:

- Análisis sobre Sistemas SCADA.
- Recopilación de la información correspondiente al Sistema de media tensión.
- Diseño de un controlador lógico difuso para el cálculo de la DI en la Empresa.
- Diseñar pantallas en el CITECT.

Resultados esperados:

- Brindar un sistema informativo con recursos del CITECT que permita elaborar un sistema de supervisión inteligente con capacidad de decidir operaciones en el sistema eléctrico de media tensión.
- Ofrecer una versión del supervisor usando CITECT.
- Desarrollar un caso de estudio para la validación del sistema experimental tanto del sistema SCADA como para el sistema lógico difuso.

CAPITULO 1: NOCIONES SOBRE SISTEMAS SCADAS

1.1 Introducción

En este primer capítulo se desarrollará el basamento teórico sobre los sistemas SCADA el cual mostrará la necesidad de la realización de dicho estudio y la perspectiva de los resultados para la futura aplicación de los mismos. En la actualidad existen una gran cantidad de productores de Sistema SCADA los cuales son muy aplicables en el mundo de la Industria y los servicios además se han desarrollado a través de los años. Estos Software se caracterizan por ser muy abiertos, flexibles y abarcadores, este último término usado en el sentido de la gran cantidad de drivers o controladores para dispositivos capaces de asimilar en su capacidad de comunicación.

1.2. Definición General

SCADA viene de las siglas de inglés "Supervisor y Control And Data Adquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Los Sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interface gráfica que comunica al usuario con el sistema. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. Sistemas similares a SCADA son vistos rutinariamente en fábricas, plantas de tratamiento, etc. Éstos son llamados a menudo como Sistemas de Control Distribuidos (DCS -Distributed Control Systems). Tienen funciones similares a los sistemas SCADA, pero las unidades de colección o de control de datos de campo se establecen generalmente dentro de un área confinada. Las comunicaciones pueden ser vía una red de área local (LAN), y serán normalmente

confiables y de alta velocidad. Un sistema DCS emplea generalmente cantidades significativas de control a lazo cerrado.

Un sistema SCADA por otra parte, generalmente cubre áreas geográficas más grandes, y normalmente depende de una variedad de sistemas de comunicación menos confiables que una LAN. El control a lazo cerrado en esta situación será menos deseable.

1.3 Introducción a SCADA

Los primeros SCADA eran simplemente sistemas de telemetría que proporcionaban Reportes periódicos de las condiciones de campo vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en los contadores y las lámparas detrás de paneles llenos de indicadores. Mientras la tecnología se desarrollaba, los ordenadores asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control, y una nueva función - presentación de la información sobre una pantalla de CRT. Los ordenadores agregaron la capacidad de programar el sistema para realizar funciones de control más complejas.

Los primeros sistemas automatizados SCADA fueron altamente modificados con Programas de aplicación específicos para atender a requisitos de algún proyecto particular. Como ingenieros de varias industrias asistieron al diseño de estos sistemas, su percepción de SCADA adquirió las características de su propia industria. Proveedores de sistemas de software SCADA, deseando reutilizar su trabajo previo sobre los nuevos proyectos, perpetuaron esta imagen de industria-específicos por su propia visión de los ambientes de control con los cuales tenían experiencia. Solamente cuando nuevos proyectos requirieron funciones y aplicaciones adicionales, hizo que los desarrolladores de sistemas SCADA tuvieran la oportunidad de desarrollar experiencia en otras industrias.

Hoy, los proveedores de SCADA están diseñando sistemas que son pensados para resolver las necesidades de muchas industrias con módulos de software industria-específicos disponibles para proporcionar las capacidades requeridas comúnmente. No es inusual encontrar software SCADA comercialmente disponible adaptado para procesamiento de papel y celulosa, industrias de aceite y gas, hidroeléctricas, generación y provisión de agua, control de fluidos, etc. Puesto que los proveedores de SCADA aún tienen tendencia en favor de algunas industrias sobre otras, los compradores de estos sistemas a menudo dependen del proveedor para una comprensiva solución a su requisito, y generalmente procurar seleccionar un vendedor que pueda ofrecer una completa solución con un producto estándar que esté apuntado hacia las necesidades específicas del usuario final. Si selecciona a un vendedor con experiencia limitada en la industria del comprador, el comprador debe estar preparado para asistir al esfuerzo de ingeniería necesario para desarrollar el conocimiento adicional de la industria requerido por el vendedor para poner con éxito el sistema en ejecución.

Típicamente un sistema SCADA será requerido por alguna de las razones siguientes:

- Para reducir costos de energía.
- Para reducir costos de personal.
- Para reducir requisitos de capital futuros.
- Para mejorar el nivel del servicio.
- Para evitar incidentes ambientales.
- Para cumplir con requisitos regulatorios.

1.4 Requisitos y Prestaciones con los que debe cumplir un sistema SCADA.

Requisitos:

- ✓ Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- ✓ Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).

- ✓ Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Prestaciones:

- ✓ Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- ✓ Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- ✓ Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómatas, bajo ciertas condiciones.
- ✓ Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.
- ✓ Creación de informes, avisos y documentación en general.

Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

1.5 Necesidad de un sistema SCADA:

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

1. El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
2. El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
3. La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
4. La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.

5. Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como un aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad.

6. La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

1.6 Funciones de un sistema SCADA:

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

a) Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.

b) Ejecutar acciones de control diario de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

c) Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación menor de 1 segundo, y la carga completa de una página de registros históricos menor de 4 segundos.

d) Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

1.7 Sistemas de Adquisición de Datos:

Un sistema de adquisición de datos es un equipo que nos permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente podremos procesar y presentar. A veces el sistema de adquisición es parte de un sistema de control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control.

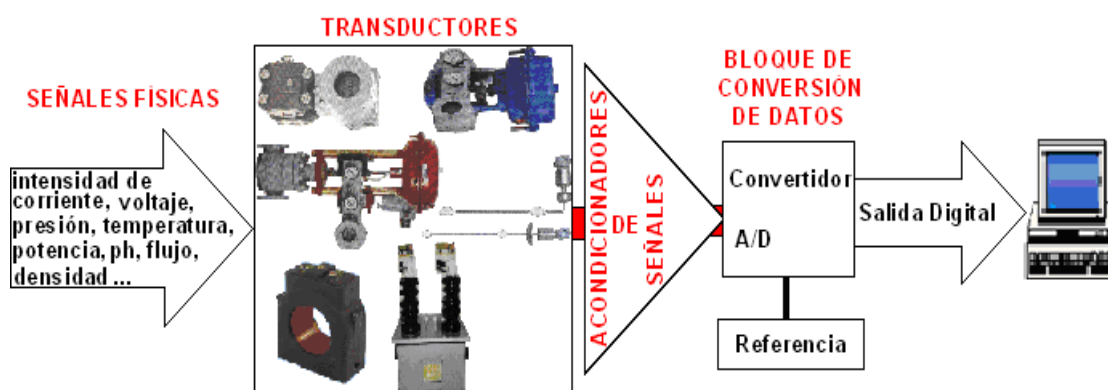


Figura 1.1 Diagrama de bloque que representa la estructura de un sistema SCADA.

Como se observa en la figura los principales bloques son:

- Señal física de entrada
- El transductor
- El acondicionamiento de señal
- El convertidor analógico digital
- Señal digital de salida

La señal de entrada lo constituye el fenómeno físico que deseamos medir o controlar, esta magnitud física pudiera ser muy diversa, tales como, intensidad de la corriente, voltaje, presión, temperatura, flujo, ph, densidad, etc.

El transductor es un elemento que convierte la magnitud física que vamos a medir en una señal eléctrica de salida (normalmente tensión o corriente) que puede ser procesada por nuestro sistema. Salvo que la señal de entrada sea eléctrica, podemos decir que el transductor es un elemento que convierte energía de un tipo en otro. Por tanto, el transductor debe tomar poca energía del sistema bajo observación, para no alterar la medida.

El acondicionamiento de señal es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico / digital. Esta adaptación suele ser doble y se encarga de:

- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del convertidor (normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

La adaptación entre los rangos de salida del convertidor y el de entrada del convertidor tiene como objetivo el aprovechar el margen dinámico del convertidor, de modo que la máxima señal de entrada debe coincidir con la máxima que el convertidor (pero no con la máxima tensión admisible, ya que para ésta entran en funcionamiento las redes de protección que el convertidor lleva integrada).

Por otro lado, la adaptación de impedancias es imprescindible ya que los transductores presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un convertidor, cuya impedancia típica suele estar entre 1 y 10 k. El convertidor AnalógicoDigital es un sistema que presenta en su salida una señal digital a partir de una señal analógica de entrada, (normalmente de tensión) realizando las funciones de cuantificación y codificación.

La cuantificación implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos, de modo que para infinitos valores de la entrada la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. Por tanto la cuantificación implica una pérdida de información que no podemos olvidar.

La codificación es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente. Este paso hay que tenerlo siempre en cuenta, ya que puede hacer que obtengamos datos erróneos, sobre todo cuando el sistema admite señales.

La etapa de salida es el conjunto de elementos que permiten conectar el s.a.d con el resto del equipo, y puede ser desde una serie de buffers digitales incluidos en el

circuito convertidor, hasta un interfaz RS 232, RS 485 o Ethernet para conectar a un ordenador o estación de trabajo, en el caso de sistemas de adquisición de datos comerciales.

(S. A. D.) No es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera, y de forma general puede estar compuesto por elementos tales como: Sensores, Amplificadores operacionales, Amplificadores de instrumentación, Aisladores, Multiplexores analógicos, Multiplexores digitales, Circuitos Sample and Hold, Conversores A-D, Conversores D-A, Microprocesadores, Contadores, Filtros, Comparadores y Fuentes de potencia, que funcionan interconectados, con un mismo objetivo.

La **Adquisición de Datos** del programa, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con los componentes de los sistemas de adquisición de datos, poseen sensores adecuados que convierten cualquier parámetro de medición de una señal eléctrica, que se adquiere por el hardware de adquisición de datos.

Los datos adquiridos se visualizan utilizando el software suministrado. Los controles y visualizaciones se pueden desarrollar utilizando varios lenguajes de programación de propósito general. Los lenguajes especializados de programación utilizados para la adquisición de datos incluyen EPICS, utilizada en la construcción de grandes sistemas de adquisición de datos, LabVIEW, que ofrece un entorno gráfico de programación optimizado para la adquisición de datos, y MATLAB.

1.8 Interfaces de Comunicación.

Es la que permite al PC MTU acceder a los dispositivos de campo, a través de los RTU. Así, la interfaz de comunicación enlazará el MTU con los distintos RTUs del sistema a través del BUS de campo.

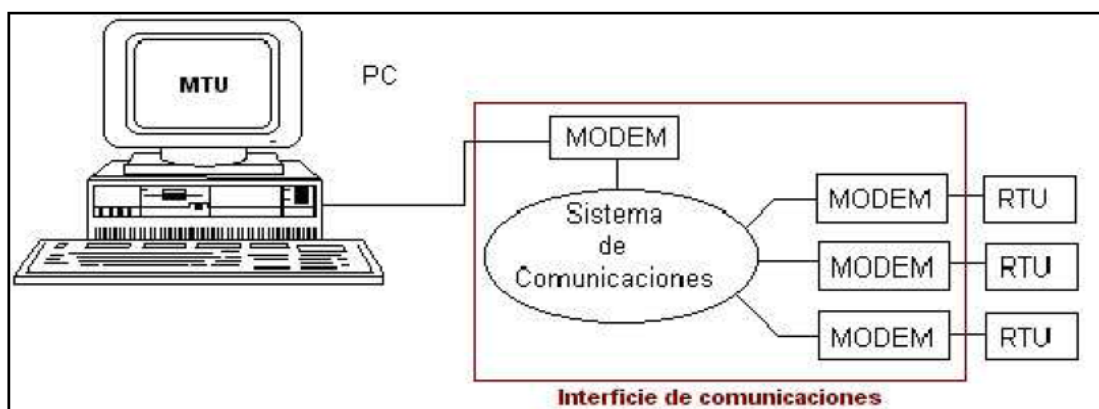


Figura 1.2 Diagrama de Conexión informático de un sistema SCADA

La interfaz de comunicación consta de distintos elementos:

La base del sistema de comunicación es el BUS de Campo que es el que transporta la información y las ordenes de control; éste vendrá definido en función del tamaño del sistema SCADA (número de E/S del sistema), distancias entre RTUs y/o disponibilidad del servicio público de comunicación (para sistemas SCADA de tipo red WAN en interconexión entre distintas plantas).

Los Modems que conectan físicamente los RTUs y el MTU al BUS.

El módulo de comunicaciones contiene los drivers de conexión con el resto de elementos digitales conectados, entendiendo el driver como un programa (software) que se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, etc., en definitiva, de la gestión del protocolo de comunicación. Estos protocolos pueden ser abiertos (ModBus, FieldBus, Map, etc.), o propios de fabricante.

Estos drivers, propios del software SCADA, deben comunicarse con otros paquetes de software por medio de DDE (Dynamic Data Exchange) DLL (Dynamic Link Libraries) como canal de comunicación, implementados por el sistema operativo, que permite que diversos paquetes de software envíen y reciban datos comunes. Por ejemplo se puede relacionar una celda de una hoja de cálculo con una variable del sistema y así variar

puntos de consignas del proceso, o bien comunicación directa con los drivers de E/S de los dispositivos de campo.

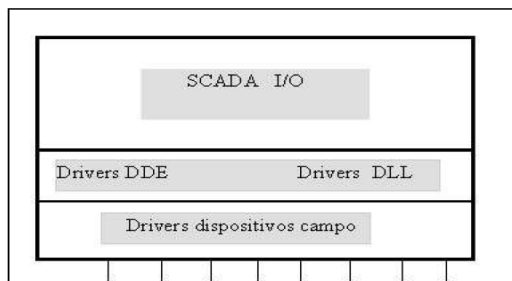


Figura 1.3 Diagrama de la arquitectura de los drivers de un SCADA.

Adicionalmente, y en los SCADA distribuidos en arquitecturas cliente-servidor, los módulos de comunicaciones son también los responsables del enlace entre los diferentes ordenadores de proceso que soportan la aplicación, enlace probablemente establecido sobre una red local DECnet, TCP/IP, IPX/SOX, NETBIOS, MAP/TOP, Novell, etc.

1.9 Estructura de un Software SCADA

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

- **Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo de su aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios.

Dentro del módulo de configuración el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas desde el propio SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc.

También durante la configuración se seleccionan los *drivers* de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos

últimos, se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y los parámetros de la misma, etc.

En algunos sistemas es también en la configuración donde se indican las variables que después se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla donde pueden definirse a ellas y facilitar la programación posterior.

- **Interfaz gráfico del operador**, proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.

El proceso a supervisar se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete.

Los sinópticos están formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador.

Se tienen que tener en cuenta algunas consideraciones a la hora de diseñar las pantallas:

Las pantallas deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta (sinópticos), las botoneras y entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).

La representación del proceso se realizará preferentemente mediante sinópticos que se desarrollan de izquierda a derecha.

La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta, y las señales de control estarán agrupadas por funciones.

La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información. Los colores serán usados de forma consistente en toda la aplicación: si rojo significa peligro

o alarma, y verde se percibe como indicación de normalidad, éste será el significado dado a estos colores en cualquier parte de la aplicación.

Previendo dificultades en la observación del color debe añadirse alguna forma de redundancia, sobre todo en los mensajes de alarma y atención: textos adicionales, símbolos gráficos dinámicos, intermitencias, sonido, etc.

- **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.

Sobre cada pantalla se puede programar relaciones entre variables del ordenador o del autómatas que se ejecutan continuamente mientras la pantalla esté activa. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (C, Basic, etc.).

Es muy frecuente que el sistema SCADA confíe a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión, como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc.

Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática pueden ser de los tipos siguientes:

Acciones de mando automáticas preprogramadas dependiendo de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.

Maniobras o secuencias de acciones de mando.

Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., a valores actuales de las variables.

Gestión de recetas, que modifican los parámetros de producción (consignas de tiempo, de conteo, estados de variables, etc.) de forma preprogramada en el tiempo o dinámicamente según la evolución de planta.

Gestión y archivo de datos: Se encarga del almacenamiento y procesado ordenada de los datos, según formatos inteligibles para periféricos hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados a intervalos periódicos, y almacenados cada cierto tiempo, como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento. Esto último se consigue con un intercambio de datos dinámico entre el SCADA y el resto de aplicaciones que corren bajo el mismo sistema operativo. Por ejemplo, el protocolo DDE de Windows permite intercambio de datos en tiempo real. Para ello, el SCADA actúa como un servidor DDE que carga variables de planta y las deja en memoria para su uso por otras aplicaciones de Windows, o las lee en memoria para su propio uso después de haber sido escritas por otras aplicaciones.

Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas, representación tridimensional, etc., que permiten después analizar la evolución global del proceso.

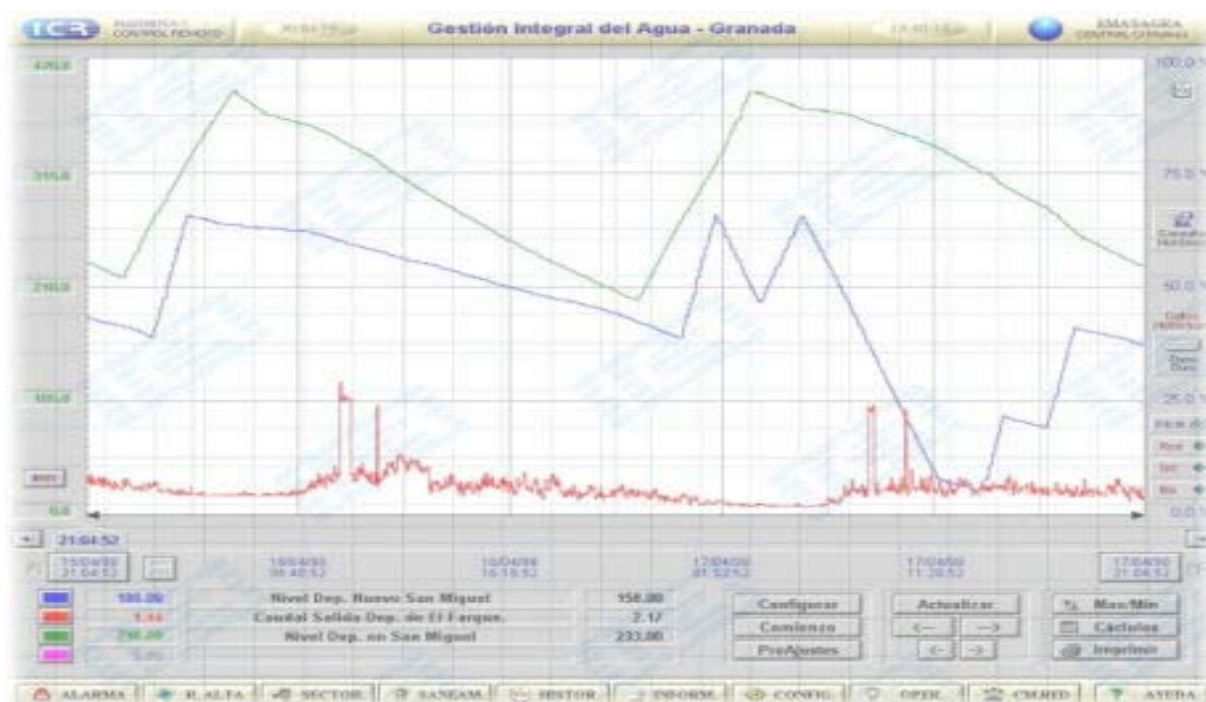


Figura 1.2 Ejemplo de Gráficas en un Sistema SCADA

1.10 Software CITECT

Una de las soluciones en el control SCADA es utilizando un programa para monitorizar, controlar y automatizar señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos. Uno de los programas más utilizados para este fin es el CITECT SCADA.

CITECT es una marca registrada de Ci Technologies Pty. Limited (empresa), empleable desde su aparición en 1992, en proyectos de gran escala de monitoreo e intercambio de información, mejorando drásticamente la calidad de los sistemas de gestión de la planta.

Este es un software de proceso de gran facilidad de escalabilidad, confiabilidad y factibilidad en muchas aplicaciones de un gran número de industrias de proceso, siendo un prestigioso sistema de software de automatización industrial que permite al usuario la reducción de costes por optimización de las operaciones por producción.

Basado en una auténtica arquitectura cliente servidor, proporciona máxima flexibilidad, reconocida fiabilidad, rápida instalación y una funcionalidad de fácil gestión.

En el SCADA un servidor de archivos actúa solamente como un almacén centralizado de archivos, distribuyendo datos sin procesar, a petición del cliente. A continuación, el cliente procesa y filtra los datos localmente, generando un alto tráfico innecesario en la red. Sin embargo, con la arquitectura cliente-servidor, la mayor parte de la gestión y proceso de datos la realiza el servidor. Esto permite por tanto que el cliente pueda solicitar información muy específica. Esto significa que a través de la red solamente se envían paquetes pequeños de datos limpios, reduciendo por tanto la carga de la red.

Para obtener las máximas ventajas de la arquitectura cliente servidor, se debe utilizar un nivel de tarea. Cada tarea trabaja como un módulo de cliente y/o de servidor bien diferenciado, desarrollando su propio cometido, y enlazándose con otras tareas por medio de esta relación.

Funciones del CITECT según herramientas:

La función principal de cualquier sistema SCADA es la transferencia rápida y segura de información con la pantalla de producción. Un sistema con una transferencia de datos lenta debido a cuellos de botella presenta el riesgo de perder información, CITECT utiliza automáticamente la optimización dinámica y la multitarea prioritaria para aumentar al máximo el rendimiento del sistema, este programa SCADA está configurado con las siguientes herramientas:

Gráficos RAD: Los Gráficos Rapid Application Development (RAD) garantizan una interfaz de usuario intuitiva y sistémica.

Símbolos: Cuando se utiliza frecuentemente el mismo gráfico, se puede guardar en una librería – como un símbolo, y utilizarlo posteriormente para no tener que volver a dibujar.

Genios: Si se tiene varios dispositivos del mismo tipo, la configuración de las representaciones gráficas se puede realizar fácilmente utilizando Genios.

Soporte de Clientes de Internet: Proporciona flexibilidad para acceder a plantas remotas, usuarios con computador portátil, y suministradores a través de Internet.

Proyectos Multi – Idioma: Un solo proyecto puede ejecutarse en cualquier número de idiomas.

Informes: El Sistema de Informes es una parte totalmente integrada en el producto.

Curvas de Tendencia: El sistema de Curvas distribuido puede manejar un gran número de variables sin comprometer las prestaciones ni la integridad de los datos.

Alarmas: Un sistema eficiente de alarmas permite aislar e identificar los fallos rápidamente, reduciendo el tiempo de paro.

Redes: Las redes son importantes en el control centralizado de aplicaciones distribuidas, no hay un tipo de red que se adecue para todas las aplicaciones distribuidas. Este programa presenta amplia gama de tipos de redes.

Interconexiones: El papel principal del HMI es proporcionar una interfaz con los Dispositivos de E/S, y a través de ellos, con la maquinaria de la planta.

Monitorización de Dispositivos Remotos de E/S: Con la utilización de módems estándar, la Monitorización de Dispositivos Remotos E/S da un método eficiente de comunicación con dispositivos situados en lugares remotos.

Adquisición de Datos (Data Logging): Con esta función se permite registrar información de tipos diversos, sin restringir, ni el tipo ni la localización física de los dispositivos a los que se envía.

Trazado de curvas X, Y: Las curvas X, Y permiten registrar detalles de rendimiento y de producción. Se pueden visualizar gráficos sofisticados para tipos de datos.

Control Estadístico de Procesos SPC: Para una representación gráfica de la calidad del producto, se pueden utilizar diagramas de Control Estadístico SPC, y evitar desviaciones fuera de las aceptables antes de que ocurran.

Comandos y controles: Los comandos y controles proporcionan al operador una fácil interacción con el funcionamiento en tiempo real.

Acumuladores: Los acumuladores permiten el seguimiento en tiempo real de datos incrementales.

Eventos: Los eventos se pueden activar para que activen acciones cuando ocurran.

Cicode: Diseñado específicamente para aplicaciones de monitorización y control de plantas, Cicode permite ampliar la funcionalidad de CITECT para amoldarse a sus necesidades.

Explorador de CITECT: Este Explorador es el núcleo del proceso de configuración. Simplifica la gestión de proyectos, permitiendo el acceso y la modificación de cualquier parte del proyecto, mediante una interfaz como se muestra en la figura 1.3.

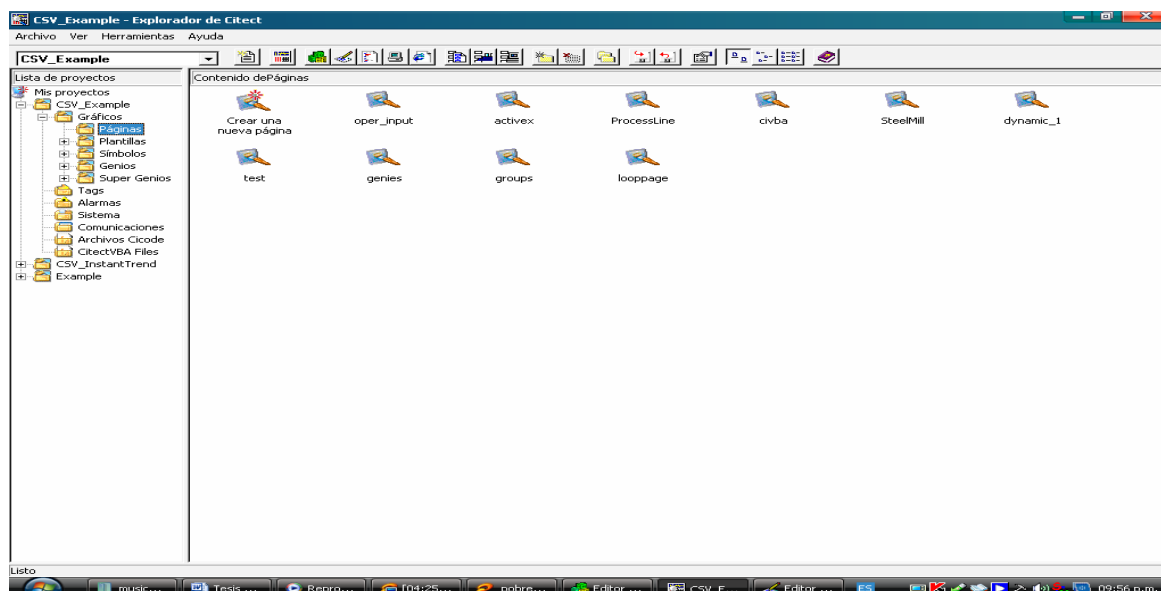


Figura 1.3 Ventana Explorador CITECT (SCADA).

Esta es una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos...) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).

Editor Gráfico: El Editor Gráfico permite el diseño rápido y fácil de una interfaz intuitiva de operador para el sistema.

Editor/ Depurador Cicode: El Editor/ Depurador de Cicode es un entorno de programación totalmente integrado, específicamente diseñado para escribir y depurar Cicode.

Ayuda En Línea: La Ayuda En Línea dispone de más de 400 páginas de información, la ayuda es completa, estructurada lógicamente, es fácil buscar en ella y es fácil de comprender.

Proyecto de Ejemplo: El Proyecto de Ejemplo se suministra con CITECT – totalmente configurado, su utilidad es para aportar ideas de cómo configurar el proyecto real.

Asistente de Configuración del Computador: El Asistente de Configuración del Computador configura el computador para ejecutar el programa SCADA.

Comunicación con Dispositivos de E/S: El Asistente de Comunicación con Dispositivos de E/S conseguirá la comunicación en menos de 60 segundos.

Plantillas de Página: Las plantillas son diseños de páginas, que se pueden adaptar al propio entorno.

Bases de datos comunes: Al importar Bases de Datos directamente de los paquetes de programación de los PLCs, se facilita la configuración de nuevos sistemas, y existen drivers para la conexión con algunos de los paquetes de programación más utilizados y las herramientas para crearse otros uno mismo.

Extensiones ActiveX™: Se permite a los usuarios incorporar funciones de terceros como clientes de visualización de controles de lotes, vídeos, C++, e interfaces de Visual Basic.

Copia de Seguridad y Restauración del Proyecto: Al hacer una copia de seguridad del proyecto se garantiza que no se pierdan datos importantes si se daña el disco duro del computador.

Proyectos en Idiomas Locales: Permite configurar su proyecto en su idioma nativo, visualizándolo en cualquier idioma durante el *Runtime*.

En general hablamos de un sistema cuya función principal es la de capturar información y proporcionar una interfase para control de equipos específicos como controladores autómatas programables (PLC), unidades de terminales remotas (RTUs), etc. Y es una solución HMI/SCADA (interfase máquina humano/SCADA) que permite implementar sistemas de control fiables, herramientas de configuración y características que permiten desplegar soluciones para automatización de plantas de diversos tamaños, las características del software son:

- Visualización gráfica del proceso.
- Gestión de alarmas.
- Opciones de clustering.
- Tendencias históricas y en tiempo real.
- Informes integrados.
- Control del proceso estadístico. Esta información del proceso es útil para controlar por ejemplo la calidad del producto, usando paquetes estadísticos para supervisión y análisis de datos.
- Lenguajes de programación multi - threaded CITECT VBA y Cicode.
- Herramientas de análisis poderosas. El sistema puede integrarse fácilmente con sistemas comerciales de gestión empresarial.

1.11 Evolución de los Software SCADA.

La madurez de los productos software para la adquisición y registro de datos en tiempo real y la supervisión y control de procesos ofrecen una evolución en los siguientes ámbitos:

Su integración en entornos completos para la gestión del negocio disponiendo de información de planta en tiempo real, control y tratamiento de datos, y supervisión y gestión global de la empresa. La existencia de aplicaciones MES, los servidores de datos y los servidores de Web son una prueba de ello.

En el tratamiento de los datos adquiridos en planta por parte de sistemas expertos que ofrecen funcionalidades de detección y diagnóstico de fallos. Son evidentes las ventajas que supone disponer de un sistema experto que, a partir de los datos adquiridos de planta tanto en proceso continuo como discontinuo, pueda aplicar un conjunto de reglas que ayude al personal de operación en planta a detectar los fallos o situaciones delicadas y a tener una diagnosis de las causas que lo provocan, así como conocer cuál es la correcta actuación a seguir.

La mejora de las interfaces con el usuario con el empleo de entornos gráficos de alta calidad, la incorporación de elementos multimedia de audio y vídeo, la mejora de los sistemas operativos para incrementar las velocidades de respuesta, el empleo de software orientado a objeto, con diálogos conversacionales con programador y usuario, etc., todo ello soportado por un hardware cada vez más compacto, fiable, potente, de mayor ancho de bus y más rápido.

1.12 Algunas aplicaciones de los SCADA en la industria y los servicios

De igual manera, en muchos procesos industriales, como por ejemplo, los de fabricación de alimentos y bebidas, los SCADA pueden ser utilizados cuando se requiere mezclar diferentes líquidos como agua, aceite, jugos y mieles, con otros materiales como azúcar, harina etc. los cuales son también transportados por conductos utilizando corrientes de aire. En este tipo de procesos, los SCADA además

de controlar válvulas y bombas para la transportación de líquidos, y de monitorear niveles en depósitos, se utilizan también para monitorear temperaturas, presiones y coloraciones, y controlar bombas de aire, hornos y aparatos de mezclado. Sin embargo, las aplicaciones de los SCADA son mucho más diversas, incluimos aquí algunas que consideramos relevantes:

Equipos para el Ahorro de Energía: En este caso, más que desempeñar funciones de control, los SCADA estarán monitoreando el conjunto de equipos y aparatos que intervienen en un proceso, así como, la energía que se está utilizando para su realización.

El SCADA cuenta con tablas de consumo de energía para los diferentes equipos, las cuales utiliza de manera permanente para estimar los consumos de los equipos en operación; este consumo teórico es comparado con el consumo real y en caso de existir una diferencia, el operador del SCADA tiene de inmediato la información para ordenar al personal de mantenimiento el aislamiento de la posible falla y la corrección del equipo defectuoso. Un número creciente de industrias, empresas de transporte y oficinas de administración pública emplean SCADAS en todo el mundo para el ahorro de energía.

En el Transporte: Hoy en día prácticamente todos los Metros y ferrocarriles suburbanos del mundo utilizan sistemas para el monitoreo y control central de sus trenes. Sin ser exactamente SCADAS, estos sistemas se parecen mucho a los SCADAS. Aunque, si bien es posible modelar los trenes en los túneles como fluidos en las tuberías, existen algunas diferencias substanciales.

En el caso de los trenes se debe asegurar que ellos no se alcancen entre sí, pues eso implicaría accidentes que pondrían en riesgo la vida de los pasajeros y la integridad física de los trenes. Esto no sucede en el caso de los fluidos. Los trenes se mueven dentro de los túneles con ciertos grados de autonomía, incluso deteniéndose para cargar y descargar pasajeros en las estaciones. Esto tampoco pasa con los fluidos cuyo movimiento es más simple, homogéneo y sencillo de prever.

Por ello los sistemas modernos de administración y control de trenes, si bien están basados en SCADAS son mucho más complejos que estos. También, si se piensa en el funcionamiento de un aeropuerto, quizás se tenga la idea de que se trata de procesos relativamente sencillos y que las únicas dificultades reales, se encuentran en la torre de control que regula el tráfico de llegadas y despegues. Esto no es así, considérese, por ejemplo, la sola tarea de prender y apagar la iluminación del aeropuerto y de sus pistas de aterrizaje. Se podría pensar en tres reglas básicas.

- De día las luces están apagadas.
- De noche las luces están encendidas.
- Luego de que aterriza el último vuelo de la noche, y los pasajeros y empleados se retiran, las luces se apagan.

Para cumplir estas tres reglas bastaría tener un interruptor general, pero esto no es cierto. Muchos aparatos e incluso lámparas deben estar encendidos durante el día. De igual manera, existen una serie de aparatos de comunicación que no deben apagarse después de cerrar el último vuelo; unos muy simples de entender, son los aparatos de refrigeración de alimentos y/o medicinas que el aeropuerto debe conservar. Por todo esto, un SCADA podría aquí funcionar como un control maestro de distribución y apagado de la energía eléctrica del aeropuerto, pero ello es un solo ejemplo de las aplicaciones que los SCADA tienen en este tipo de instalaciones. Otros ejemplos estarían en el funcionamiento de equipos automáticos como escaleras eléctricas, bandas transportadoras y plataformas de equipaje. Una aplicación más sofisticada es la referente a los sistemas de distribución de equipaje para los diferentes vuelos en proceso.

Otra aplicación se puede encontrar en el control de tráfico de autopistas. Hoy en día operan con éxito algunos sistemas capaces de identificar vehículos en movimiento en una carretera y llevar cuenta de ellos. Se trata de sistemas inteligentes de reconocimiento de imágenes captadas por cámaras de televisión colocadas a lo largo de la carretera.

Una aplicación inmediata de esta capacidad tecnológica ha sido lograda a través de los SCADA, utilizados normalmente para el control de fluidos, modelando como tal el tráfico de vehículos en la carretera.

Así, se puede pensar en una autopista de 6 carriles que comunica varias ciudades intermedias. En lugar de utilizar tres carriles en cada dirección, la autopista deja sólo dos carriles en cada caso, mientras que los dos carriles centrales son utilizados para cubrir la dirección con más tráfico, abriendo y cerrando para ello barreras de contención en forma automática y utilizando letreros luminosos que indican a los conductores cuando pueden utilizar los carriles centrales y cuando deben salir de ellos. Con este mecanismo, la autopista de 6 carriles opera con una capacidad similar a una de ocho carriles

A través de Sistemas SCADA podrá gestionar e integrar los complejos sistemas de los edificios de hoy en una sola solución, permitiéndole controlar su entorno. Es posible controlar la temperatura ideal en los pisos, el encendido de los sistemas de Corriente Alterna, el apagado de la iluminación dónde y cuando no sea necesaria, el control de acceso de todas las áreas comunes y oficinas claves, Hoteles, centros de negocios, edificios corporativos, detalles de que oficinas están siendo utilizadas, que luces están encendidas, si los sistemas contra incendio están trabajando e inclusive que lámpara necesita ser reemplazada.

1.13 Estado del Arte en Sistemas SCADA

La aplicación del sistema SCADAS en la industria se ha puesto en práctica en el mundo entero y se consideran relevantes por los resultados obtenidos, a continuación se presentan algunas obras destacadas en la rama de la energía eléctrica a nivel internacional.

En la obra titulada Automatización de la estación Pretratamiento realizada e implementada en la cooperativa Eléctrica y de Consumo Servycoop localizada en la ciudad de Puerto Madryn realizada en el año 2001 consistió en la instalación y puesta en marcha del equipamiento del hardware y software necesario para la automatización

de la nueva estación de pretratamientos de residuos cloacales (EPN) de la ciudad. Con esta infraestructura se evitan las descargas de residuos al mar, aprovechándolos en previo tratamiento para fertilización. Esta obra se enfatizó en gobernar de forma automática el funcionamiento de la (EPN), esto incluye el arranque y paro de bombas con histéresis en función del nivel de la cámara de aspiración. Además se integro un nuevo sistema al ya existente encargado de la supervisión y el control del tramo Acueducto comprendido entre la ciudad de Trelew y Puerto Madryn. Toda la información del proceso se envía en forma de time –stamp junto con los datos a la estación de supervisión (oficinas de Servycoop). Las RTUs se encuentran comunicadas con medidores inteligentes de energía bajo el protocolo Modbus. El software SCADA utilizado fue Wizcon versión 7.6 de gran compatibilidad con las RTU MOSCAD.

En la obra titulada Telecomando de subestaciones Transformadoras realizada en EDES S.A localizada en Bahía Blanca puesta en marcha en diciembre 2001, donde se implementaron eficazmente la supervisión de 12 subestaciones transformadoras para asegurar la integridad de la información enviada y recibida para evitar daños irreparables en las subestaciones. Los dispositivos y software que se utilizaron para llevar a cabo la obra fueron: RTU Allen-Bradley, PLC Allen-Bradley:SLC 500/03, cantidad de I/O:163, comando de supervisión :RSView32 de Rockwell, PC Acre Basic, sistema operativo Windows 95.Una PC con RSView32 actúa como nodo central, del cual se permiten las operaciones de apertura y cierre de los interruptores principales de las subestaciones.

La obra titulada :Sistemas de Adquisición de datos de Almacenaje ,realizada en TGS, localizada en General Cerri(1998) constituye en una planta de gas de TGS Cerri donde existen 18 tanques tipo habano,3 esferas y 3 tanques donde almacena el producto(propano ,butano y gasolina)después de ser procesado en la planta de gas ,el objetivo de esta obra fue implementar un sistema capaz de llevar el control de la cantidad de producto, bombeado y remanente en los tanques y esferas .Para esto se implemento un sistema con 2 Wonderware 6.0 corriendo sobre Windows NT Workstation4.0 que se comunican con los transmisores de campo vía RS-485 con protocolo Modbus. El objetivo de esta obra fue cumplido ampliamente porque

actualmente se generan automáticamente los reportes de balance diario y mensual brindando mayor confiabilidad al sistema de medición.

A continuación se analizan algunas de las obras realizadas en nuestro municipio referentes a la supervisión.

La titulada: Sistema de Monitoreo Eléctrico en la Subestación 1SD de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, autor Luis Manuel Hidalgo Vega, tutores (Mcs Oscar W .Peña Guilarte; Ing: Abdiel Gonzáles Roblejo),2011.El siguiente trabajo de diploma consistió en una propuesta de mejora en las tareas de supervisión y monitoreo de la empresa ya que existen muchas subestaciones que se encuentran fuera del alcance de el monitoreo por la ausencia de una red de comunicación que permita la supervisión de las diferentes variables eléctricas en las subestaciones de media tensión :1SD, 2SD,3SD,4SD y 5SD.Sus objetivos fundamentales fueron :

La selección de las variables eléctricas fundamentales de las subestaciones para incorporarlas al programa SCADA(CITECT), diseñar la red eléctrica de comunicación y crear en el SCADA(CITECT) las pantallas necesarias para monitorear las variables definidas en la subestación. En el siguiente proyecto se dispone de una importante herramienta para lograr una eficiente gestión energética en las subestaciones de media tensión y plantas de la fábrica.

En la obra titulada Estación experimental para diagnósticos de hidrotransporte por patrones difusos asistidos por PLC en el ISMM de Moa ,autor :Erickson Hafeni Shalongo Nghitwikwa; tutores (Dsc Luis D Rojas Purón; Dsc Raúl Izquierdo),2010.El siguiente proyecto se basó en la elaboración de un programa supervisor mediante un PLC para la explotación eficiente de la instalación experimental de Hidrotransporte del ISMM de Moa, adicionando acciones expertas con el uso de algunas de las técnicas de inteligencia artificial. El presente proyecto brinda una base experimental bien ordenada muy interesante acerca de la elaboración de un sistema inteligente de supervisión de un sistema.

En la obra titulada Interface para el control inteligente de Instrumentos en sistemas SCADA de accionamientos industriales. autor Gerardo Luis Pupo Bacallao, tutores(DSc. Luis D Rojas Purón, Ing. Ernesto Coello Velázquez),2009.El objetivo de este trabajo fue elaborar una interface para el control de un sistema de medición destinado al monitoreo y supervisión de accionamientos eléctricos a partir de sistemas SCADA desde MATLAB. Se realizo un estudio basado en métodos de inteligencia artificial utilizando la técnica de lógica fuzzy y redes neuronales para la implementación de accionamientos eléctricos.

Conclusiones Parciales

Con el presente trabajo se pretende mediante la utilización del programa SCADA (CITECT), contribuir al desarrollo del Sistema de Descarga Instantánea en la Empresa Ernesto Che Guevara, referente a las redes de Media Tensión. Utilizando dicho programa como una herramienta de protección ante la ocurrencia de algún fallo o avería. Debido a que la instalación actual no satisface estas necesidades de la empresa, se pretende desarrollar el sistema existente con la ayuda de agentes difusos que logran facilitar el cálculo de la DI(a modo Instantáneo) para que el funcionamiento productivo sea más efectivo y como consecuente los costos por fallos disminuirán, contribuyendo al ahorro del tiempo y de la energía en la producción.

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA

2.1 Introducción

Se hizo necesario el Análisis del Sistema de Potencia en la ECG, para lograr una concentración total de todos los parámetros a tener en cuenta, detalles e información imprescindible para obtener una visión más esclarecida sobre cómo está conformado el sistema Eléctrico de Potencia, las funciones fundamentales que desarrolla cada Planta con el fin de conocer la importancia y la necesidad de cada una de ellas para el proceso productivo, los dispositivos empleados para gobernar todo el sistema ,etc.

2.2 Proceso tecnológico de la empresa:

El proceso tecnológico de la fábrica está basado en el esquema de la lixiviación carbonado – amoniaco del mineral reducido o proceso CARON como también se le conoce.

El tipo de tecnología tiene varias ventajas, tales como:

- Es un proceso continuo que se realiza en las condiciones de presión atmosférica.
- El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos (hornos de soleras múltiples, empesadores, columnas de destilación, etc.).
- Sus características favorecen la creación de una producción de alto nivel de mecanización y automatización.
- El esquema amoniaco admite la elaboración de la mezcla de los minerales lateríticos y serpentiniticos, mientras que el esquema por ejemplo de lixiviación con el ácido sulfúrico permite solamente la elaboración de laterítica.

El producto final de esta fábrica es el sinter y el óxido de níquel, es un producto estable en el mercado mundial.

El complejo minero metalúrgico de níquel comprende las siguientes entidades:

1. Mina.
2. Planta Preparación de mineral.
3. Planta Hornos de reducción.
4. Planta de Lixiviación y lavado.
5. Planta de recuperación de amoniaco.
6. Planta de cobalto
7. Planta de calcinación y sinter.
8. Planta de producción de gas a partir de petróleo.
9. Termoeléctrica.
10. Puerto con sistema de recepción de almacenaje de petróleo y amoniaco.
11. Planta de tratamiento de agua.
12. Presa de cola.
13. Taller mecánico central, taller eléctrico y talleres de automatización e instrumentación.
14. Laboratorio químico.
15. Otras entidades.

2.2.1 Descripción del proceso tecnológico de la empresa por plantas:

Planta de Preparación de Mineral

En la Planta de Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo de la Fabrica, según la tecnología carbonato amoniacal.

El mineral procedente de la Planta de trituración primaria puede ser suministrado a la Planta de Preparación de Mineral por dos vías.

- a) A través de grúas gantry.
- b) Directamente por los transportadores de enlace (No.14) ó (15).

Una vez descargado el mineral en galería es remontado y alimentado por las grúas gantry (215-GR-5, A,B,C)Estas remontan el mineral y lo homogeneizan en el depósito

exterior que posee una capacidad de 360 000 t húmedos (360000000 kg) ó 28 días de trabajo de la Planta.

Estas grúas poseen dos capacidades de trabajo que son: 660 t/h (183.333 kg/s) al remontar y 690 t/h (191.666kg/s) al alimentar a las correas.

El mineral suministrado por las grúas o el transportador No. 14 ó 15 es descargado en los transportadores 215 TR-5-5A 215–TR6-6A cuyas capacidades son 750 t/h (208.333kg/s) cada uno.

El paso del mineral desde las grúas hacia los transportadores 5 y 5A, 6 y 6A se realiza a través de un alimentador que se mueve solidario con las grúas 215- AL –2 A,B,C y que posee para este trabajo (de alimentación) un transportador 215-TR- 8 AB, C y de capacidad 750 t/h (208.333kg/s).

Los transportadores 5 Y 5A, 6 Y 6A alimentan a los transportadores 215 TR-7 y 7A las que se encargan de llevar el mineral homogeneizado hasta el edificio de los secaderos. La capacidad de estas correas es de 750 t/h (208.333kg/s) y todo su contenido lo vierten sobre los transportadores 215-TR8 y 8A que tiene como función la de alimentar a los secaderos y al depósito de mineral interior o de emergencia.

La alimentación a los secaderos se realiza a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los secaderos La alimentación al depósito interior se realiza de la misma forma, o sea, mediante desviadores de mineral que se encuentran situados sobre tres correas colocadas entre los secaderos 2 y 3, 4 y 5 y al final del edificio. Estos transportadores 215- TR-10-1,10-2,10-3 poseen capacidad 750t/h (208.333kg/s).

El mineral almacenado en el depósito interior que se usará cuando por cualquier tipo de avería surgida en el proceso antes de los secaderos, se interrumpa el suministro de la materia prima a esta sección. La capacidad de este almacén posibilita a la planta trabajar durante 4 días.

Este depósito posee para la manipulación del material, 2 grúas de puente 215- GRL-101 A y B de capacidad igual a 350 t/h (97.222kg/s) cada una. Se encargan de alimentar a los secaderos en los casos que se explicaron en el párrafo anterior. El mineral llegará a los secaderos 215-SC-101-107 pasando a través de alimentadores de esteras 215-AL-101-107 de capacidad variable 70, 105, 125 t/h y los transportadores de bandas 215-TR-9-1 9-7 de capacidades igual a 125 t/h (3.472 kg/s) cada uno.

El tambor secador posee una longitud igual a 4800 mm y un diámetro 4500 mm. El mineral al entrar al secadero lo hará con una humedad aproximadamente igual a 36 % y saldrá del mismo con 4.5 % según esta establecido.

Para lograr esto cada secadero posee una cámara de combustión 21-CC-101-107 dotada de un quemador de petróleo. Se suministra aire de combustión, aire de pulverización, aire secundario o gases procedente de la planta de hornos.

Los gases combustionados dentro de la cámara alcanzan una temperatura de 1500 °C y bajan hasta 800-850 °C al ponerse en contacto con el aire el exceso que se suministra y que sirve para aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral.

Con esta última temperatura es con la que entran los gases al tambor secador. La de los gases al tambor secador se realiza en dirección a corriente con el mineral alimentado de forma que, ese contacto gases calientes – mineral permita que este último se vaya secando y se obtenga al final del secadero un producto con las características adecuadas. Los gases al salir del secadero tendrán una temperatura de 80-100°C.

Los gases calientes pueden atravesar el secadero debido a la succión que crea un ventilador 215-VE-108 - 114, de tiro situado a la salida del electrofiltro que posee cada secadero individualmente.

Además, estos gases son capaces de arrastrar con ellos el 28 % del polvo, que entra con el mineral o que se forma durante el proceso de secado y que por lo general poseen una granulometría – 0,074 mm el que será introducido al sistema de colección.

El mineral después de secado, es descargado en las correas 215-TR-11 y 11A. Estas correas son denominadas comúnmente correas calientes debido a que son las primeras que hacen contacto con el mineral caliente que sale de los secaderos. La capacidad es de 490 t/h (136.111 kg/s).

En estas correas se encuentran instaladas las romanas encargadas del pesaje del mineral seco.

Este mineral secado es llevado (descargado) en las correas 215-TR12 Y 12A que son la vía de unión entre los secaderos y los molinos. Estas correas transportadoras poseen una capacidad de 490 t/h (136.111 kg/s) cada una y descargan su contenido en 4 tolvas (una para cada molino) 215-TV-201.204 mediante desviadores de mineral colocados sobre las correas y justamente sobre las mencionadas tolvas.

Sobre estas correas se encuentran montado un sistema de adición de petróleo aditivo en forma de ducha que se mezclara conjuntamente con el mineral de forma dosificada mediante un sistema automático que regulara la relación petróleo – mineral instalada en la misma área, siendo utilizado como agente reductor en la Planta de Horno de Reducción. Desde cada tolva el mineral llegará a los molinos en forma dosificada y este trabajo corresponde hacerlo a los alimentadores de disco 215 AL 201 A Y B 215 AL 204 A Y B que poseen cada tolva y que pueden entregar 55-120 t/h (15.277-3.333 kg/s) a las correas 215-TR -13-1...13-4 las que descargan el mineral en el molino de bolas 215. ML –201... 204, la capacidad de esta correa es de 160 t/h (44.44 kg/s).

De esta forma el mineral llega al molino de bolas cuya capacidad es de 120 t/h (33.333 kg/s) y tiene como dimensiones 5 700 mm de longitud y 3 200 mm de diámetro.

Estos molinos son de forma cilíndrica y para su proceso de molienda fina poseen una carga de bolas cuyo peso es de 54 Ton, siendo sus dimensiones (de las bolas).

100 mm – 10 % 5.5 t(5500 kg)

70 mm - 10 % 5.5 t(5500 kg)

60 mm - 15 % 8.0 t(8000 kg)

40 mm - 25 % 13.5 t (13500 kg)

32 mm - 40 % 21.5 t (21500 kg)

54 t (54000 kg)

El producto que el molino debe entregar tendrá una humedad de 4,5 –5,5 % y una granulometría de 85 –87 % de - 0,074 mm.

Todo lo que entra al molino saldrá del mismo mediante barrido con aire, que es producido por un ventilador de recirculación 215-VE-205.208 de 134 000 m³/h (3.722 m³/s de capacidad situado a la descarga del molino y cerrando un circuito que está formado por el molino, 1 separador 215 – SÉ-201. 204 4 ciclones 215-CN-201 104 A ,B, C y de 2 baterías de 6 ciclones 215-CN-205.210 A, B, C, D, E, F. Con este ventilador se barre el mineral molido y se succiona este doble efecto propicia la obtención del mineral molido.

El mineral barrido y succionado es introducido en un separador neumático de diámetro 4 250 mm donde sufre una clasificación de forma que, el que tenga características de producto final pasará al sistema de colección primaria (a los ciclones) y el que no posea estas características pasará al molino (constituyendo el rechazo) para su ulterior tratamiento hasta que alcance la granulometría adecuada.

Este equipo puede realizar este trabajo a merced de dampers que posee y que son regulados para obtener la granulometría del mineral que se quiera.

El sistema de colección primaria formada por ciclones, se encarga de recoger el polvo producido y lo descarga en las tolvas de producto final 215-TV-205 A y B . Lo que no se

recoge en los ciclones y que es por lo general, un mineral con granulometría $-0,044\text{ mm}$ pasará por un sistema de limpieza de gases electrostáticos o electrofiltros donde se captura la casi totalidad del polvo que entra en él. .

De igual forma, todo el polvo recogido es enviado hacia las tolvas de producto final mediante el empleo de bombas en vacío 215-BO-201 A, B, C, D, E Y F de 50 t/h (13.888 kg/s) de capacidad todo el mineral molido es transportado hacia los silos del mineral del taller de hornos de reducción mediante el empleo de bombas neumáticas 215 – BO-107 a 112 colocadas en la descarga de las tolvas.

Sección molienda

Esta sección se alimenta principalmente de dos subestaciones de fuerza, la 1TII-12 que alimenta a los consumidores de 0.48 kV incluyendo el alumbrado de la parte de molienda, distribuida en dos subestaciones que son la 14-PCU y 15-PCU, la otra subestación es la 1TII-14 que alimenta la sección de los electrofiltros.

Estas subestaciones presentan las siguientes características:

- 1TII-12 posee dos transformadores de 1600 kVA con relación de transformación de $10.5 / 0.48\text{ kV}$ y un tap de $10 / 0.48\text{ kV}$.
- 1TII-14 posee dos transformadores de 1000 kVA con una relación de transformación de $10.5 / 0.48\text{ kV}$.

Los consumidores de 10 kV de esta sección se alimentan de la pizarra de distribución de alto voltaje 1PII, la cual alimenta a los motores sincrónicos de 800 kW de los 4 molinos. Además los ventiladores de recirculación que se alimentan con 6 kV son energizados por la pizarra de distribución 2PII.

Planta de Hornos de Reducción

La función fundamental de la planta de Hornos de Reducción dentro del proceso de obtención de níquel es reducir el níquel y el cobalto del mineral secado y reducido que

fue almacenado en los silos. Para ello cuenta con 24 hornos de múltiples hogares y 12 electrofiltros con el objetivo de recuperar el mineral que se escapa con los gases.

Eléctricamente esta planta cuenta con seis subestaciones en funcionamiento y una de reserva, así como el alumbrado. Las subestaciones están compuesta de la siguiente forma: la subestación TP6, TP8 (hornos de 1^{ra} y 2^{da} línea) y 1TP10 alimentan cada una de ellas 3 ventiladores de combustión (2 operación y 1 de reserva), 4 enfriadores y 4 transportadores rotatorios. La subestación TP7 es una subestación de emergencia o reserva y en estos momentos se está configurando para alimentar a todos los transportadores rotatorios. Las subestaciones 1TP10 y 1TP11 alimentan a hornos de 3^{ra} línea entre ellos a electrofiltros de hornos. Las subestaciones TP12 y TP14 alimentan a hornos y secaderos dentro de ellos a la parte de molienda y electrofiltros.

Planta de Lixiviación y Lavado

La función fundamental de la planta de Lixiviación y Lavado radica en extraer el níquel y el cobalto del mineral reducido mediante la adicción de aire en un medio de carbonato amoniacal, o sea la lixiviación es el paso del níquel y el cobalto oxidado hacia el licor carbonato amoniacal. Para esto cuenta con 3 tanques de contactos y 3 ventiladores cada uno, 59 turboaereadores y 17 sedimentadores, que cada uno de ellos cuenta con 2 bombas de reboso y 2 bombas de vacío fondo. Cuenta además con un área de enfriamiento de licor y un sistema de absorción de amoníaco con 6 bombas y 3 ventiladores.

Desde el punto de vista eléctrico la planta está compuesta por 6 subestaciones, 4 de fuerza y 2 de alumbrado. Las subestaciones de fuerza 1TP1 y 1TP3, son las más importantes dentro de la planta, debido a que de estas subestaciones se alimentan 17 sedimentadores y los mecanismos que los mueven. Un paro no deseado en estas subestaciones traería afectaciones inmensas a los sedimentadores y al proceso productivo, debido a que el mineral existente ellos se endurecerían y habría que hacerle una limpieza general al sedimentador, la misma puede durar hasta meses.

La subestación 1TP2 alimenta las bombas de licor a la canal. Una afectación no deseada en ella, no provocaría daños y pérdidas tan perjudiciales para la empresa. La subestación 1TP22 y 1TP23 son de alumbrado de la planta.

Planta de Recuperación de Amoníaco

La función fundamental de esta planta es recuperar el amoníaco y el dióxido de carbono contenido en el licor producto y en la cola, esto se logra mediante la destilación de ambos con vapor. Con estos gases ricos en amoníaco y dióxido de carbono se prepara el licor fresco que posteriormente es enviado a Lixiviación, reponiendo el NH_3 y el CO_2 que se pierde en el proceso.

Esta planta se alimenta de la subestación de fuerza 1TP16 y de la subestación de alumbrado. La subestación 1TP16 le suministra energía a todo el sistema de bomba instalado (B 408 A, B y C; B 400 A, B y C; BO121A, B y C; 6 tanques de retención).

Planta de Calcinación y Sínter

La planta de Calcinación y Sínter tiene como objetivo calcinar el carbonato de níquel obtenido en la destilación del licor y sintetizar el óxido obtenido por la calcinación del carbonato, para estas operaciones cuenta con 2 sedimentadores del carbonato, 2 filtros de vacío, 3 hornos rotatorios y 1 máquina sintetizadora.

Esta planta cuenta con 2 subestaciones de fuerza para su alimentación las cuales son: las subestaciones 1TP7 y 1TP8. la subestación 1TP7 alimenta de carbonato a los hornos calcinadores (líneas de los filtros de calcinadores, bombas de reboso, bombas de pulpa, sedimentadores, electrofiltros y bombas de vacío). La subestación 1TP8 le suministra energía a los hornos calcinadores (ventiladores primarios y secundarios, motor principal del horno, bomba de lubricación), alimenta la línea de oxido y la línea de Sínter, la bomba de Mazut, la bomba de diesel y el envase o producto final. Además, esta planta tiene los siguientes consumidores: ventiladores V-342 A, B y C, EXH-DH-24.

Planta auxiliar de Servicio Energético

Servicio Energético es auxiliar dentro de la fábrica, pero a su vez tiene gran importancia, debido a que en ella se encuentran las bombas y compresores que alimentan de aire al transporte neumático, de servicio, de instrumentación y alimenta de agua de enfriamiento a una gran parte de la empresa, por lo que posee una estrecha relación con el buen funcionamiento de los equipos principales de dicha empresa.

Esta planta gobierna los siguientes equipos o consumidores eléctricos: los compresores 5HK de 1600 KW (K21---K24) son compresores Rusos, centrifugos de dos etapas, encargados de dar todo el aire al sistema de transporte neumático de secaderos, hornos y calcinación. Los compresores K500 de 2500 KW en estos momentos son los encargados de suministrar el aire de servicio y parte de neumático, están preparados para suplir el aire de instrumentación. Los compresores checos de 1700 KW (K31---K33), son los encargados de dar el aire tecnológico o aire de baja, fundamentalmente alimentan de O₂ a la planta de Lixiviación y Lavado.

Las bombas están divididas en dos ciclos, las del ciclo #2 (B1---B5) son consideradas hidrometalúrgicas debido a que alimentan de agua de enfriamiento a una parte de la fábrica, es decir: Lixiviación, Recuperación de Amoníaco, Calcinación, talleres y laboratorios. Las del ciclo #1 (B6—B9) piro metalúrgicas, alimentan a las plantas de Preparación del mineral, hornos y Servicio Energético.

2.3 Estructura actual del sistema de Potencia de la empresa.

El sistema de Potencia de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se encuentra subdividido en cuatro secciones de barra (I-IV), con alimentación propia, mediante dos unidades generadoras de 12 MW cada una, las cuales están conectadas a la sección I y III respectivamente y posee a la vez dos enlaces permanentes con el Sistema Energético Nacional (SEN) a través de dos líneas proveniente de la subestación de Punta Gorda, y dos transformadores de 40 MVA ubicados en la misma, el enlace se realiza a una tensión de 10.5kV, sobre las barras II y IV respectivamente. La

subestación de Punta Gorda recibe energía por una línea doble circuito de 220 kV (provenientes de Cueto y Felton) y brinda servicio por dos líneas simple circuito a 110 kV.

2.3.1 Dispositivo de Distribución Principal, y Subestaciones.

Realizando un análisis en el esquema monolineal de la Empresa que se muestra en el anexo # 1 se muestra que la empresa cuenta con un Dispositivo de Distribución Principal (**DDP**), y el mismo cuenta con cuatro secciones de barras (I-IV) como se detalló anteriormente. Cada sección de barra está enlazada entre sí a través de un reactor, incluyendo la sección I y IV, las cuales tienen un interruptor que brinda la posibilidad de estar enlazada o no, de modo que si está enlazada, se incrementará considerablemente los niveles de cortocircuitos producto a las grandes corrientes que aportarían los motores sincrónicos y motores asincrónicos de gran potencia conectados a la sección de barra IV. El sistema está subdividido en cinco subestaciones distribuidoras (1SD....5SD), transformadores de uso de planta, transformadores de potenciales, entre otros.

Para la sección uno del DDP la barra se encuentra alimentada con 10.5 kV por el Turbo Generador número 1, a través de un interruptor de aceite ubicado en el armario 19. De dicha barra se alimentan las siguientes cargas:

- Subestación de distribución **1SD-1**.
- Subestaciones transformadoras TP- 7 y TP- 20.
- Transformador **1T** de la subestación de distribución **2SD**.
- Transformadores de necesidades propias de plantas **21T** y **41T**.
- Salida de reserva.
- Enlace con la sección de barra dos mediante un reactor.
- Enlace con la sección de barra cuatro mediante otro reactor.

Para la sección dos del DDP la barra está alimentada con 10.5 KV por el **1T** de 40 MVA. Se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- Subestación de distribución **1SD-**.
- Subestaciones transformadoras TP- 6(1T) y TP- 8(1T).
- Subestación de distribución **5SD- 1**.
- Transformador **2T** de la subestación de distribución **2SD**.
- Transformadores de uso de plantas **20T, 40T y 80T**.
- Enlace con la sección de barras tres mediante un reactor.

Para la sección tres del DDP la barra está alimentada con 10.5 kV por el Turbo Generador número 2, a través de un interruptor de aceite ubicado en el armario 67. En dicha barra se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- La subestación de distribución **1SD - 3**.
- La subestación de distribución **5SD- 2**.
- Las subestaciones transformadoras TP-12(2T) y TP-14(2T).
- Transformadores de uso de plantas 81T, 42T y 22T.
- Las subestaciones transformadoras TP- 6(2T) y TP- 8(2T).
- Enlace con la sección de barra cuatro mediante un reactor.

Para la sección cuatro del DDP la barra está alimentada con 10.5 KV por el transformador **2T** de 40 MVA. Se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- Subestación de distribución **1SD- 4**.
- Transformador **3T** de la subestación de distribución **2SD**.
- Subestaciones transformadoras TP-12(1T) y TP-14(1T).
- Transformadores de uso de plantas 23T y 82T.

- Línea que alimenta al CILA.

Las diferentes subestaciones de distribución están divididas en varias secciones de barras, las cuales se encuentran enlazadas mediante un interruptor normalmente abierto, preparado para una Conexión Automática de Reserva (**CAR**), que funciona para la ausencia de tensión en la alimentación ya sea provocado por una avería o una desconexión premeditada, a su vez permitiendo el paso de toda la carga de la barra desconectada a la barra adyacente.

La subestación de distribución 1SD es la más importante de la empresa, esta subestación opera con un voltaje de 10.5 kV, es del tipo interior con embarrado seccionado la misma se encuentra dividida en cuatro secciones de barras enlazadas de la manera siguiente: 1-2 y 3-4, mediante un CAR, alimentadas por un reactor limitador de corriente. De esta forma cada sección se encuentra conectada a la misma sección de barra del **DDP** (sección 1 de la **1SD** conectada a la sección 1 del **DDP** y así respectivamente). La misma cuenta con 67 armarios donde sus principales consumidores son 29 líneas de salida hacia subestaciones transformadoras y 16 motores tanto sincrónicos como asincrónicos. Esta subestación es la encargada de alimentar a los equipos de primera categoría de las diferentes plantas que conforman el proceso productivo; por lo que de ocurrir una falla en ella por cualquier causa provoca una gran afectación al proceso productivo y cuantiosas pérdidas a la empresa.

Dentro de los principales consumidores conectados a la sección 1 de la 1RP encontramos varias subestaciones transformadoras como son: 1TP-15, 1TP-16, 1TP-1, 1TP-2, 1TP-7, 1TP-26 y 1TP-28, pero el mayor peso recae sobre los motores sincrónicos (compresores 25 y 31 de 1600 y 1700 kW respectivamente) ya que estos constituyen fuentes de energía durante un cortocircuito a demás de contribuir al mejoramiento del factor de potencia. En las secciones 2, 3 y 4 encontramos el resto de las subestaciones transformadoras alimentando uno u otro transformador teniendo en cuenta que estas tienen doble circuito con un CAR de enlace. Además del resto de los

motores de gran potencia (compresores K500-1, K500-2, con una potencia de 2500kW, K20, 21, 22, 23 de 1600kW etc.).

La subestación 2SD está dividida en cuatro secciones de barras enlazadas mediante un CAR, la sección 1 con la 2 y la sección 2 con la 3. Las secciones de barras 1, 2 y 3 están conectadas al **DDP** en las secciones 1, 2 y 4 respectivamente, mediante tres transformadores reductores, con una tensión de entrada de 10.5 kV y una de salida de 6 kV. En esta subestación se encuentran conectadas las subestaciones de distribución 3RP y **4SD** conectadas de la siguiente forma: la sección 1 de la **3SD** y **4SD** están alimentadas por la sección 1 de la **2SD** y la sección 2 de las mismas se encuentran conectadas a la sección 2 y 3 respectivamente, además de los principales motores de mediana potencia (6kV) los cuales están distribuidos por toda la fábrica. Dentro de estos se pueden encontrar los motores de la sección de molienda de 600 kW, los exhauster de la misma sección de molienda, dos pequeños compresores de 320 kW cada uno y algunas salidas de reservas.

Las subestaciones de distribución 3SD y 4SD están alimentadas directamente de la **2SD**. Cada sección de barra está dividida en dos y enlazada con la principal con reactores. A continuación serán detalladas todas las secciones de barras del **DDP**

Por último, **la subestación de distribución 5SD**, es la más pequeña que se alimenta desde el DDP, está dividida en dos secciones de barras las cuales se alimentan de la sección 2 y 3. Esta subestación alimenta transformadores por el primario 10 kV a 0.48 kV por el secundario, ubicados en las subestaciones reductoras.

A continuación en la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de cargas a supervisar por subestaciones para el previo análisis de desconexión ante la aparición de un fallo o avería en la red.

Tabla: #1 Resumen de datos que representan objetivos a supervisar por cada subestación.

subestaciones	# armarios existentes	# líneas desalida	# de motores	# entradas	# seccionadores
1SD	67	29	16	4	2
2SD	34	7	10	4	2
3SD	19	1	11	2	1
4SD	24	0	14	2	1
5SD	16	10	0	2	1
DDP	24		0		8

2.3.2 Instrucción sobre descarga instantánea (DI) en la empresa:

El Estado de Descarga Instantánea en la Empresa consta de tres escalones fundamentales para su procedimiento:

1. Descarga Instantánea (DI),
2. Desconexión por Frecuencia 1 (DAF 1)
3. Desconexión por Frecuencia 2 (DAF 2).

Actualmente en la Empresa el Estado del valor de la DI se realiza mediante una hoja de cálculos, la cual se ajusta en dependencia del nivel de generación que exista, en el anexo # 2 se muestra el ajuste de la DI realizado para el 05/01/2012. Este método ha sido fiable pero no eficiente, la variante de modernización propuesta es el diseño de un controlado lógico difuso que sea capaz de sustituir esta tarea de un modo eficiente y autónomo.

Cuando el **1er escalón de la DI** se encuentre en estado activo, significa que ha ocurrido una falla o desconexión con el Sistema Energético Nacional y por consiguiente si no se procede a la desconexión inmediata de cargas las maquinas generadoras de la termoeléctrica tienden a dañarse por el exceso de cargas ya que su capacidad de generación no responden a las necesidades de consumo total de la fabrica.

Si la **DI** no ha logrado liberar de suficientes cargas a los turbogeneradores por X razones (mal operación de los Interruptores, fallas mecánicas en los mismos, etc.), Entonces como consecuencia de este incidente la frecuencia del sistema tiende a disminuir, por obvias razones se activa **el 2do escalón**, con el propósito de estabilizar frecuencia.

El tercer escalón se pone en práctica cuando la frecuencia del sistema continua descendiendo porque la desconexión de cargas en el escalón anterior no dio resultado alguno, entonces se procede a la desconexión de otras series de cargas, para tratar de conseguir estabilizar frecuencia.

Procedimiento para establecer el correcto ajuste de la Protección de Descarga Instantánea y Descarga Automática por frecuencia, evitando la desconexión de las máquinas generadoras ante la separación del SEN.

1. La revisión y ajuste de la Protección de Descarga Instantánea (DI) y la Protección Automática por Frecuencia (DAF) se realiza en dependencia de las necesidades de la planta Termoeléctrica. Su ajuste varía en dependencia de la capacidad de generación, o sea en el caso que se encuentre en línea un solo turbogenerador su ajuste estará en el orden de (11 a 12 MW) y en el caso que se encuentren las dos unidades en línea su

ajuste estará en el orden de (22 a 23 MW). Este ajuste puede disminuir en dependencia del estado de las máquinas y las exigencias productivas.

2. Para la realización del ajuste de ambas protecciones una vez conocida la potencia generada por los turbogeneradores de la planta termoeléctrica y las necesidades tecnológicas de la empresa es necesario realizar la medición de potencia consumida en el momento por los equipos de primera categoría. Los consumidores de segunda y tercera categoría de la empresa no se tendrán en cuenta para el ajuste

3. Una vez realizadas las mediciones de potencia en los consumidores de primera categoría se procederá al cálculo de las Protecciones mencionadas, garantizando cumplir con las necesidades productivas y el margen de ajuste previsto inicialmente.

4. Se procederá a manipular en los consumidores seleccionados tanto dentro de la DI como de la DAF en las respectivas subestaciones.

2.3.3 Dispositivos Electrónicos Inteligentes utilizados dentro del sistema eléctrico.

Tradicionalmente en los Sistemas Eléctricos de Potencia existen dispositivos que ejecutan tareas particulares en cada uno de los equipos que lo conforman, pueden ser indistintamente de origen electromecánico o electrónico. Ejemplo de los anterior son los relés de protección de diferentes aplicaciones (diferenciales, de corriente máxima o mínima, de tensión máxima o mínima, de potencia, etc), relés programables para automatismos menores, dispositivos de medición de diferentes magnitudes etc.

Producto al desarrollo tecnológico alcanzado en la actualidad en esta rama, hay una tendencia al uso de dispositivos que integran las tareas de control, medición y protección de los sistemas eléctricos de potencia, estos son los llamados Dispositivos Electrónicos Inteligentes, que se conocen con las siglas de IEDs. (Intelligent Electronics Device).

Relés: Los relés Multilin soportan los siguientes protocolos de comunicación que servirán para lograr los objetivos: Serial (Modbus) Ethernet.

En estos momentos se cuenta con una red Modbus que abarca los relés instalados en el DDP y algunos de otras plantas, montada sobre la red empresarial mediante adaptadores Ethernet/Modbus.

Los familia de relés Multilin está dividida en dos series, la primera y la iniciadora de estos equipos fueron los SR (Serial Relay) como se muestra en la Figura 2.6. Con el desarrollo y la necesidad de poder tener nuevas opciones de control y programación aparecieron los UR (Universal Relay) como se muestra en la Figura 2.7.



Figura 2.6 Tipos de relés de la familia de los SR.

La familia de SR de relés de protecciones representa una línea multifuncional de productos a microprocesador, proporcionando un sistema económico, de protección, mando, monitoreo y medición. Además de la tradicional medición de corriente y el voltaje, la familia de SR también ofrece varias entradas analógicas y digitales. Estas entradas proporcionan una vital información como vibración del equipo, presión, temperatura, y estado del interruptor. También tiene adicionales relés de salida disponibles para la flexibilidad de crear esquemas personalizados de protecciones.



Figura 2.7 Tipos de relés de la familia de los UR.

La familia de los Relés Universal de protección se construyen en una plataforma modular común. Todos los productos de UR ofrecen altas funciones de protecciones, I/O flexibles, integración de monitoreo y medición, altas velocidades en las comunicación, programación extensa y capacidad de configuración. La serie UR tiene muchas ventajas como múltiples opciones de entrada y salida, lógica programable (FlexLogic), su construcción es modular con módulos Plug and Play, HMI para monitoreo y control, secuencias de eventos, oscilografía, y módulos de diagnósticos de los VT y CT.



1 Relé UR (Utilizado en el DDP como Protección Diferencial de Barras).



2 Relé F650 (Utilizado en el DDP como protección de líneas y sincrochech).



3 Relé SR-750 (Utilizado en DDP como Protección Entrada de la Fábrica).

Conclusiones Parciales:

Analizando la red de media tensión con los dispositivos y características fundamentales que hoy se encuentran funcionando, se puede concluir que es necesaria la modernización de todo el sistema de control y protección y la implementación y desarrollo de un Sistema SCADA de la red de media Tensión con nuevas funciones por las siguientes razones:

- ✓ Garantizar un sistema de protección acorde con la complejidad del esquema de suministro eléctrico de media tensión y el monitoreo en tiempo real de las principales variables eléctricas teniendo en cuenta la importancia que reviste el mismo para la estabilidad de la producción de Níquel.
- ✓ Modernizar el Sistema de Protecciones Eléctricas del Sistema de Media Tensión de la Empresa de manera que asegure una operación fiable en caso de fallos.
- ✓ Garantizar un sistema de control de los interruptores en los gabinetes para que asegure la operación tanto local como a distancia.
- ✓ Implementar un sistema de medición de la cantidad total de Potencia (en MW) a desconectar en caso de activación del Estado de la DI (Descarga Instantánea).

CAPITULO 3: MÓDULOS DE SISTEMAS INTELIGENTES

3.1 Introducción

En el presente capítulo se demuestra una posible aplicación de una metodología basada en técnicas de Inteligencia Artificial con énfasis en particular sobre la lógica difusa, utilizando este método para contribuir al desarrollo de la realización del cálculo en el Estado de la Descarga Instantánea en la empresa. La implementación de modelos difusos es una técnica notable para sustituir el método utilizado actualmente para conocer el valor real de la DI en MW.

3.2 Técnicas de inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial empezó como resultado de la investigación en la psicología cognitiva y la lógica matemática. Se ha encaminado sobre la explicación del trabajo mental y construcción de algoritmos de solución a problemas de propósito general.

La Inteligencia Artificial es una mezcla de la ciencia del computador, fisiología y filosofía, tan general y amplio como eso, es que reúne varios campos (robótica, sistemas expertos, por ejemplo), todos los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden "pensar".

Es así como los sistemas de administración de base de datos cada vez más sofisticados, la estructura de datos y el desarrollo de algoritmos de inserción, anulado y traspaso de datos, así como el ensayo de introducir máquinas capaces de realizar tareas que son pensadas como típicas del ámbito de la inteligencia humana, batieron el término Inteligencia Artificial en 1956.

Una característica fundamental que diferencia a los métodos de Inteligencia Artificial de los métodos numéricos es el uso de símbolos no matemáticos, aunque no es bastante para diferenciarlo totalmente. Otros ejemplos de programas como los compiladores y sistemas de bases de datos, también procesan símbolos y no se considera que utilicen técnicas de Inteligencia Artificial.

El comportamiento de los programas no es descrito explícitamente por el algoritmo. El programa especifica cómo encontrar la secuencia de pasos necesarios para resolver un problema dado (programa declarativo). En diferencia con los programas que no son de inteligencia Artificial, que siguen un algoritmo determinado, que detalla, explícitamente cómo:

El razonamiento basado en el conocimiento, implica que estos programas incorporan factores y relaciones del mundo real y del ámbito del conocimiento en que ellos operan. Al contrario de los programas para propósito específico, como los de contabilidad y cálculos científicos, los programas de Inteligencia Artificial pueden distinguir entre el programa de razonamiento o motor de inferencia y base de conocimientos dándole la capacidad de explicar discrepancias entre ellas. Los investigadores en Inteligencia Artificial se concentran principalmente en los sistemas expertos, la resolución de problemas, el control automático, las bases de datos inteligentes y la ingeniería del software (diseños de entornos de programación inteligente).

Otros investigadores están trabajando en el desafío del reconocimiento de modelos donde se espera un rápido progreso en este campo que comprende la comprensión y la suma del habla, el proceso de imágenes y la visión artificial.

3.3 Lógica Difusa

La **lógica difusa** o **lógica heurística** se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal. Establecida desde hace varios años como una tecnología de vanguardia, la lógica difusa ó fuzzy logic está penetrando con fuerza en el mundo del control y promete convertirse en el método de mando universal de toda clase de dispositivos eléctricos y electrónicos. La Lógica Difusa es, desde un punto de vista práctico, un método de razonamiento estadístico que permite especificar los problemas de control del mundo real en términos probabilísticos, sin necesidad de recurrir a modelos

matemáticos y con un nivel de abstracción mucho más elevado. En contraste con la lógica convencional, que utiliza conceptos absolutos para referirse a una realidad, la lógica difusa la define en grados variables de pertenencias a los mismos, siguiendo patrones de razonamientos similar es a los del pensamiento humano.

Así por ejemplo, mientras dentro del marco rígido de la lógica formal un recinto está solamente “oscuro” (0) o claro (1), para la lógica difusa son posibles también todas las condiciones relativas intermedias percibidas por la experiencia humana como muy claro, algo oscuro, ligeramente claro, extremadamente oscuro, etc. Las condiciones extremas o absolutas asumidas por la lógica formal son sólo un caso particular dentro del universo de la lógica difusa. Esta última nos permite ser relativamente imprecisos en la representación de un problema y aún así llegar a la solución correcta.

La lógica difusa es una ciencia relativamente reciente, aunque la idea de vaguedad que promulga ya había sido discutida desde el siglo XVIII por Berkeley, Hume, Kant, Bayes y otros pensadores. Incluso Aristóteles, creador de la lógica formal, admitía la existencia de diferentes grados de verdad y falsedad. Sin embargo, es Lofti Zadeth, profesor de computadores de la Universidad de Berkeley, quien en 1965 propone un método de razonamiento abstracto similar a patrón de pensamiento humano para representar los problemas de control del mundo real y crea la lógica difusa. A comienzos de los setenta 70, el ingeniero Ebrahim Mandani, basado en la teoría de Zadeth, desarrolla el primer sistema de control fuzzy práctico, aplicado a una máquina de vapor.

El sistema de Mandani combinaba la experiencia de un operador humano con un conjunto de reglas lógicas para controlar automáticamente la cantidad de vapor o throultle y la temperatura de la caldera de acuerdo a la presión de esta última y la velocidad de la máquina. Las dos entradas (velocidad y presión) eran procesadas de acuerdo a un algoritmo y producían dos salidas (vapor y temperatura) que actuaban sobre el proceso en la forma deseada. A finales de los 70s, los ingenieros daneses Lauritz Meter Holmblad y Jens Jurgen Ostergaard desarrollan el primer sistema de control fuzzy comercial, destinado a una planta de cemento. A pesar de que han transcurrido muchas décadas desde su creación, hasta hace poco el mundo occidental

está reconociendo el verdadero valor de la fuzzy logic. Además de factores culturales, dos razones explican esta actitud. En primer lugar la palabra fuzzy sugería algo confuso y sin forma. Esto alejaba psicológicamente a la comunidad técnica de la idea de utilizarla prácticamente. En segundo lugar, no había forma de probar analíticamente funcionaba correctamente debido a que la fuzzy logic, en contraste con la teoría de control convencional, no estaba basada en modelos matemáticos. La situación en Japón fue diferente. Los japoneses aceptaron fonéticamente la palabra fuzzy, sin traducción y libre de las connotaciones negativas normalmente asociadas con el término, y adoptaron la teoría de Zadeh como propia. Esto le permitió evolucionar más tempranamente que los occidentales a la fase experimental. Así lograron comprobar que no eran necesarias las imposiciones para desarrollar y producir sistemas inteligentes.

Actualmente Japón es el líder mundial en la producción de aplicaciones basadas en fuzzy logic, con ventas estimadas para 1997 en 6.1 billones de dólares. En Japón funcionan también el más espectacular de todos los sistemas fuzzy creados por el hombre: el subterráneo de Sendai, inaugurado en 1987. Desde entonces, un controlador inteligente ha mantenido los trenes rodando velozmente a lo largo de la ruta, frenando y acelerando suavemente, deslizándose entre estaciones y deteniéndose exactamente, sin perder un segundo ni sacudir bruscamente un solo pasajero.

El interés actual en la lógica difusa surge también de la necesidad impuesta por nuevas tecnologías como la inteligencia artificial de disponer de sistemas expertos capaces de procesar información, tomar decisiones y responder a estímulos en forma similar al cerebro humano.

3.4 Aplicaciones:

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo).

En cambio, no es una buena idea usarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.

Esta técnica se ha empleado con bastante éxito en la industria, principalmente en Japón, y cada vez se está usando en gran multitud de campos. La primera vez que se usó de forma importante fue en el metro japonés, con excelentes resultados. A continuación se citan algunos ejemplos de su aplicación:

- Sistemas de control de acondicionadores de aire
- Sistemas de foco automático en cámaras fotográficas
- Electrodomésticos familiares (frigoríficos, lavadoras...)
- Optimización de sistemas de control industriales
- Sistemas de reconocimiento de escritura
- Mejora en la eficiencia del uso de combustible en motores
- Sistemas expertos del conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano)
- Tecnología informática
- Bases de datos difusas: Almacenar y consultar información imprecisa. Para este punto, por ejemplo, existe el lenguaje FSQ.L.
- ...y, en general, en la gran mayoría de los sistemas de control que no dependen de un Sí/No.

Una lavadora controlada por lógica fuzzy, por ejemplo, puede distinguir una prenda ligeramente sucia, lavando esta última con mayor vigor que la primera. Adicionalmente, puede calcular automáticamente el volumen de la carga de ropa, la velocidad, el nivel de agua y detergente y los tiempos óptimos de lavado, centrifugado, enjuague, agitación, etc. Si se agrega una red neuronal, esta le permitirá aprender nuevos hábitos mediante el desarrollo dinámico de nuevas reglas. Actualmente, muchos productos de uso corriente (cámaras fotográficas y de video, electrodomésticos, etc.); así como una gran variedad de controlador es industriales, dispositivos médicos y otros sistemas relativamente complejos, están basados en lógica fuzzy. La tendencia continuará a

medida que los diseñadores encuentren nuevas aplicaciones para esta tecnología. Otros usos de la lógica fuzzy incluyen:

- Modelos de control de trenes, aviones, botes y otras naves.
- Sistemas de seguridad para el hogar y la oficina.
- Sistemas de control y predicción climáticos.
- Controladores de velocidad de motores AC y DC.
- Servomecanismos y Robots.
- Control de líneas de Producción.

La facilidad de la fuzzy logic para adquirir y representar conocimientos ha estimulado también su aplicación en la solución de problemas sociológicos, psicológicos, políticos, administrativos, económicos, epidemiológicos y de otras disciplinas.

3.5 Funcionamiento:

La lógica difusa se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado", etc.

La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los **cuantificadores** de nuestro lenguaje (en los ejemplos de arriba "mucho", "muy" y "un poco").

En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos, en los que se basa esta lógica.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son triangulares, trapezoidales, lineales, curvas, entre otras.

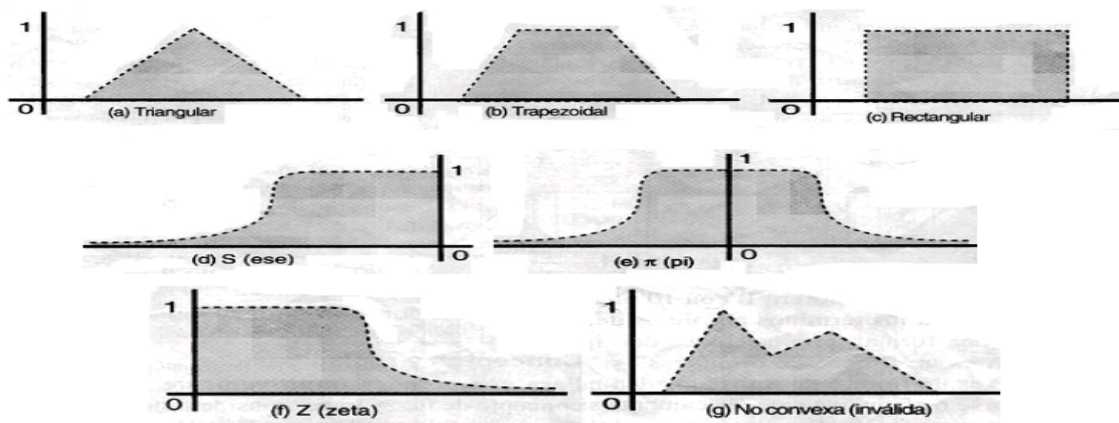


Figura 3.1 Funciones de pertenencias comunes

La lógica difusa se basa en reglas heurísticas de la forma **SI (antecedente) ENTONCES (consecuente)**, donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica (nótese la importancia de las palabras "muchísimo", "drásticamente", "un poco" y "levemente" para la lógica difusa):

- SI hace muchísimo calor ENTONCES disminuyo drásticamente la temperatura.
- SI voy a llegar un poco tarde ENTONCES aumento levemente la velocidad.

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser simples, veloces y eficaces. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia).

Los datos de entrada suelen ser recogidos por sensores, que miden las variables de entrada de un sistema. El motor de inferencias se basa en **chips difusos**, que están aumentando exponencialmente su capacidad de procesamiento de reglas año a año.

Un esquema de funcionamiento típico para un sistema difuso podría ser de la siguiente manera:



Figura 3.2 Funcionamiento de un sistema de control difuso.

En la figura, el sistema de control hace los cálculos con base en sus reglas heurísticas, comentadas anteriormente. La salida final actuaría sobre el entorno físico, y los valores sobre el entorno físico de las nuevas entradas (modificado por la salida del sistema de control) serían tomados por sensores del sistema.

Por ejemplo, imaginando que nuestro sistema difuso fuese el climatizador de un coche que se autorregula según las necesidades: Los chips difusos del climatizador recogen los datos de entrada, que en este caso bien podrían ser la temperatura y humedad simplemente. Estos datos se someten a las reglas del motor de inferencia (como se ha comentado antes, de la forma SI... ENTONCES...), resultando un área de resultados. De esa área se escogerá el centro de gravedad, proporcionándola como salida. Dependiendo del resultado, el climatizador podría aumentar la temperatura o disminuirla dependiendo del grado de la salida.

3.6 Ventajas e Inconvenientes

Como principal ventaja, cabe destacar los excelentes resultados que brinda un sistema de control basado en lógica difusa: ofrece salidas de una forma veloz y precisa, disminuyendo así las transiciones de estados fundamentales en el entorno físico que controle. Por ejemplo, si el aire acondicionado se encendiese al llegar a la temperatura de 30°, y la temperatura actual oscilase entre los 29°-30°, nuestro sistema de aire acondicionado estaría encendiéndose y apagándose continuamente, con el gasto energético que ello conllevaría. Si estuviese regulado por lógica difusa, esos 30° no

serían ningún umbral, y el sistema de control aprendería a mantener una temperatura estable sin continuos apagados y encendidos.

3.7 Diseño del controlador difuso a través de la herramienta fuzzy de MATLAB

Se diseñó un controlador difuso a través de la herramienta Fuzzy de Matlab, para el sistema eléctrico de media tensión en la empresa.

Donde:

- PG. Es la Potencia generada por los Turbogeneradores de la Termoeléctrica expresada en MW.
- CONS.T: Es el consumo total de la Fabrica en MW.
- F: Es la frecuencia de operación.
- DC: Es la desconexión de Cargas en MW.
- DCT: Es la desconexión total de cargas en MW.

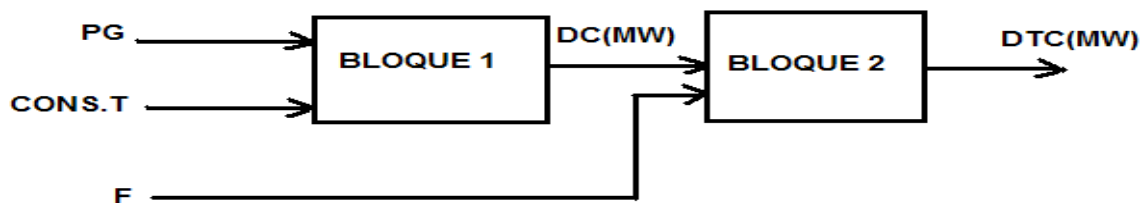


Figura 3.3 Diagrama en Bloque del Controlador difuso

El objetivo del diseño del Controlador Lógico Difuso teniendo en cuenta una de las técnicas de la inteligencia artificial es resolver el problema del cálculo de la DI (Descarga Instantánea) en la empresa, el cual no es eficiente.

El diseño del controlador difuso realizado esta caracterizado por las variables de entrada y salida reflejadas anteriormente. Cada una de estas variables cuenta con un conjunto de ajustes difusos que representan diferentes estados de las mismas .Se determinó que es fiable implementarlo de acuerdo a la simulación obtenida en Simulink.

Definición de los conjuntos difusos de las entradas PG (MW), CONS T (MW), F (Hz) y la salida (DC (MW))

Conjuntos de ajustes difusos para la variable Potencia Generada (PG)

- P N: Potencia normal (21 a 24) MW
- PMED: Potencia media (17 a 21) MW
- PB: Potencia baja (13 a 18) MW
- PMB: muy baja (9 a 14) MW
- PMIN: mínima (7 a 9) MW

Conjuntos de ajustes difusos para la variable CONS T

- PMAX: máxima (42 a 43) MW
- PA: alta (40 a 42) MW
- PMED: media (39 a 41) MW
- PMIN: mínima (38 a 39) MW

Conjuntos de ajustes difusos para la variable Frecuencia (F) Hz

- DAF 2: F muy baja (55 a 57) Hz
- DAF 1: baja (58 a 59) Hz
- N: normal (59 a 60) Hz

Conjuntos de ajustes difusos para la variable DC

- MAX: máxima (21 a 22) MW
- MA: muy alta (17 a 20) MW
- A: alta (15 a 17) MW
- MED: media (13 a 15) MW
- P: pequeña (10 a 12) MW
- MP: muy pequeña (7 a 10) MW
- PMIN: mínima (5 a 7) MW

Para la construcción de la fuzzy primeramente se va a escoger el tipo de arquitectura que se debe utilizar, luego se deben incorporar al sistema la cantidad de variables de entradas y salidas que se van a supervisar .figura 3.4

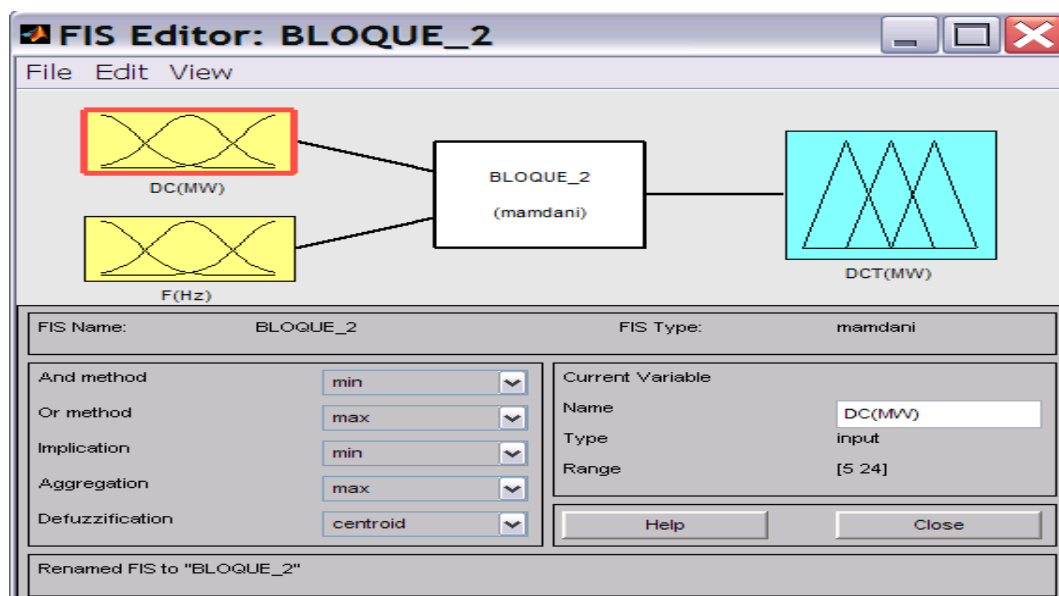
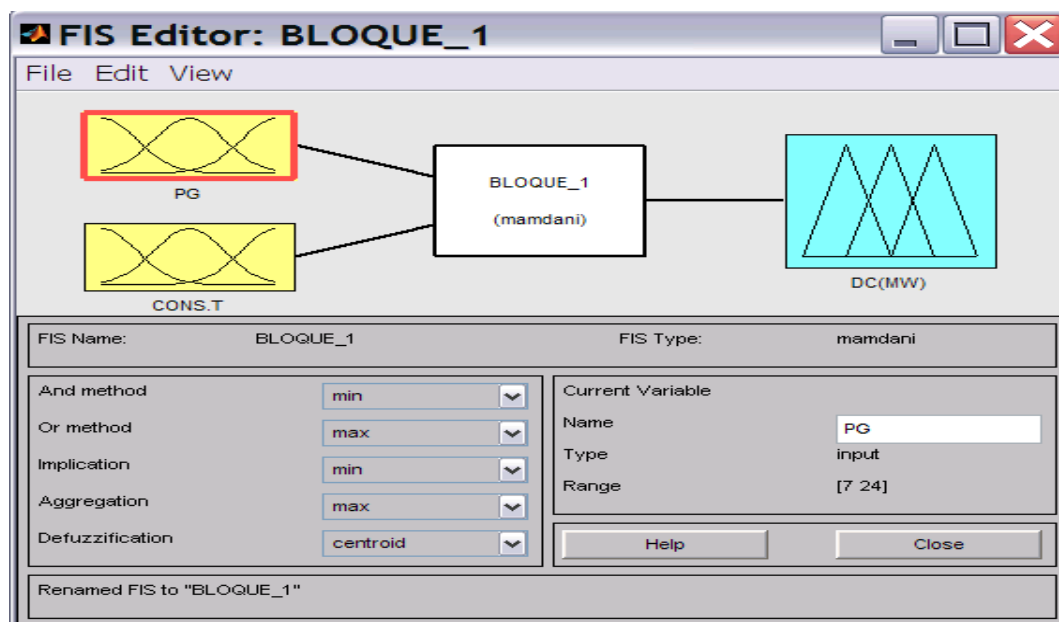


Figura 3.4 Construcción de la fuzzy con 2 bloques con dos variables de entrada y una de salida cada uno

En la ventana correspondiente a funciones de membresía se le asignaran los conjuntos de agentes difusos a cada una de las variables a supervisar. Figuras 3.5 y 3.6: visualización del conjunto de patrones difusos de las variables (PG)y (DC) correspondientes a los bloques 1 y 2 respectivamente.

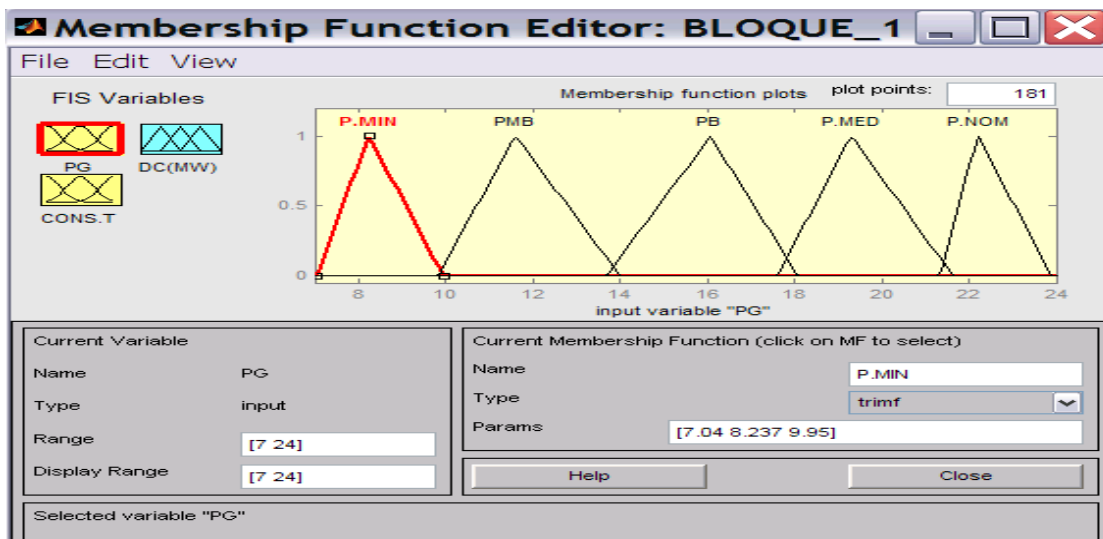


Figura 3.5 Conjunto de agentes difusos para la variable Potencia Generada (PG) correspondiente al bloque 1

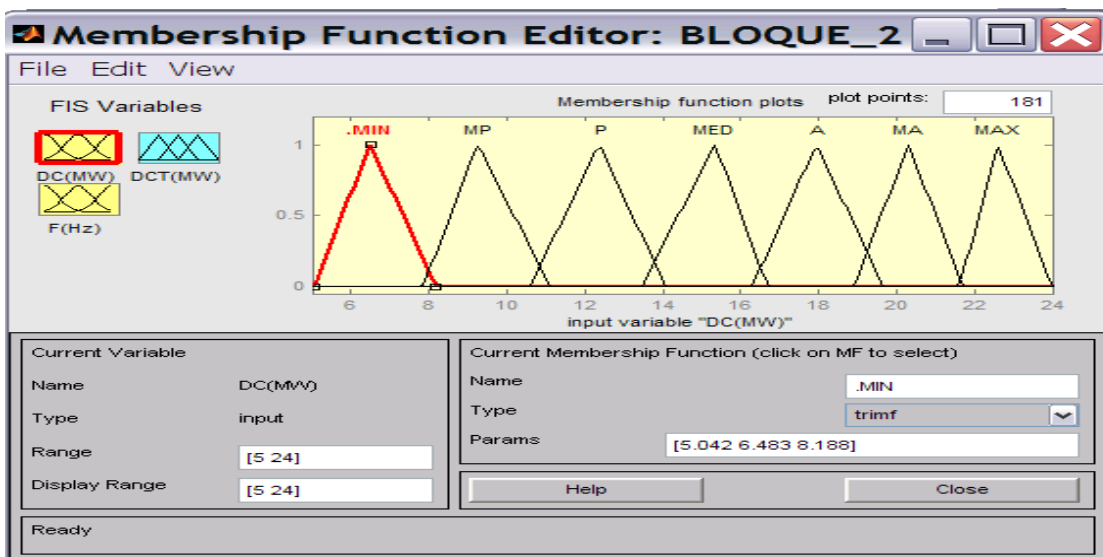


Figura 3.6 Conjunto de agentes difusos para la variable Desconexión de Cargas (DC) correspondiente al bloque 2

En la ventana correspondiente a Editor de reglas se le imponen al sistema fuzzy construido las reglas o decisiones que se desean manifestar en caso de activación del mismo. Estas reglas fueron construidas teniendo en cuenta el conjunto de patrones difusos que se le asignó a cada una de las variables. En las figuras 3.7y 3.8 se visualizan las ventanas de editor de reglas correspondientes a los bloques 1y 2 respectivamente.

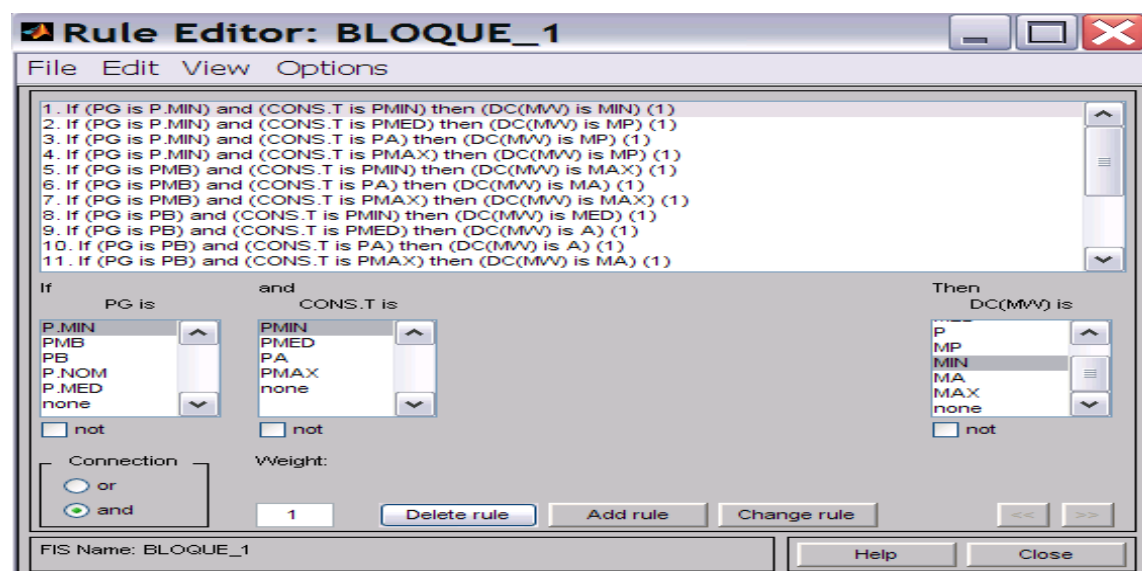


Figura 3.7 Visualización del editor de reglas correspondientes al bloque 1

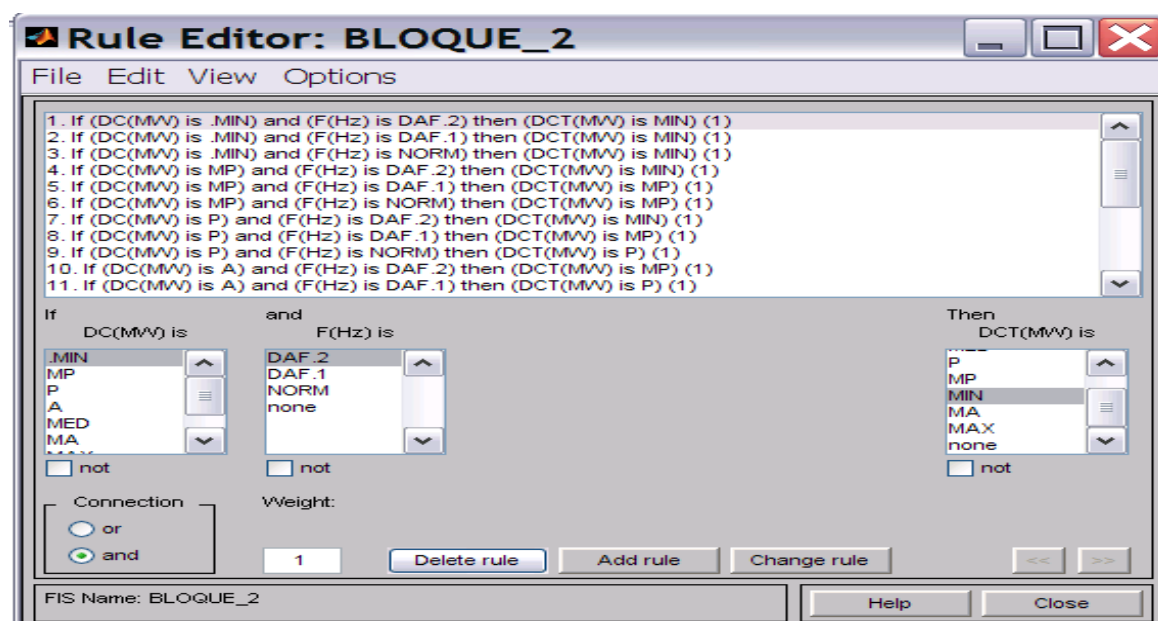


Figura 3.8 Visualización del editor de reglas correspondientes al bloque 2

En la ventana correspondiente a visualización de reglas se muestra el comportamiento que puede llegar a tener la salida en dependencia de las variaciones o cambios ocurridos en las variables de entrada, en otras palabras se muestra el comportamiento del sistema atendiendo a las reglas o decisiones previamente seleccionadas en el editor de reglas. En las figuras 3.9 y 3.10 se muestran las ventanas de visualización del comportamiento de reglas correspondientes a los bloques 1 y 2 respectivamente.

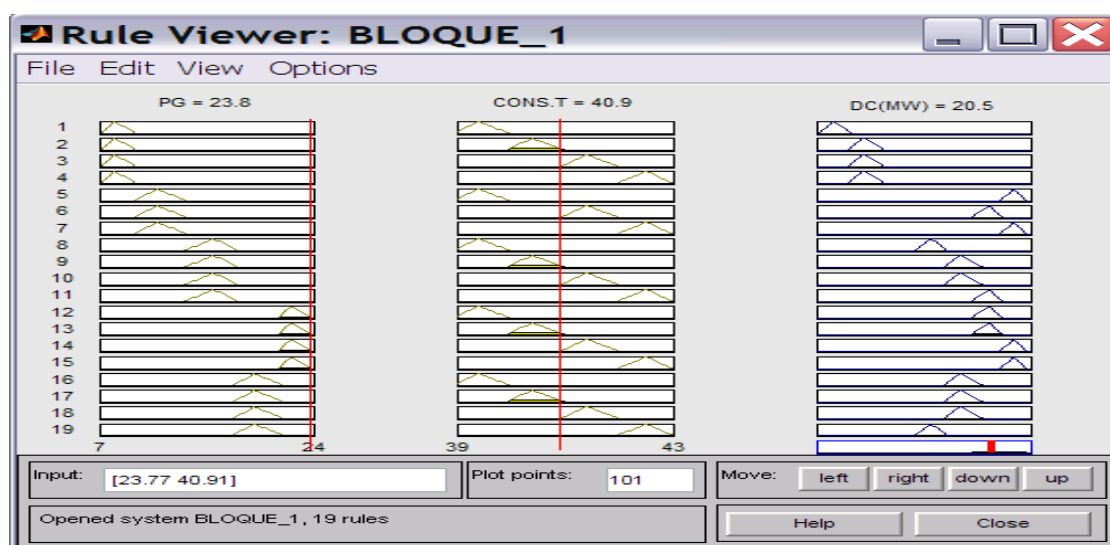


Figura 3.9 Visualización de las reglas representadas por medio de los conjuntos correspondientes al bloque 1

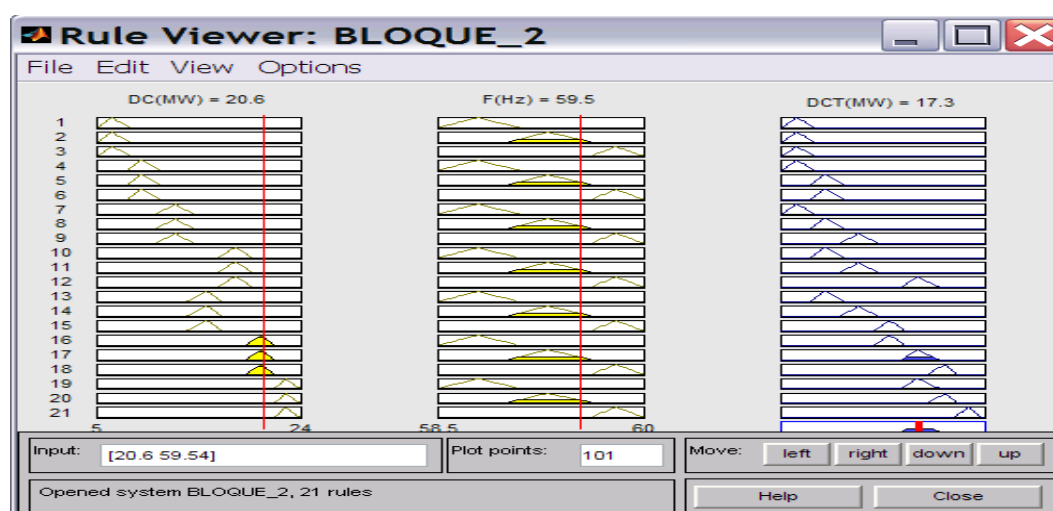


Figura 3.10 Visualización de las reglas representadas por medio de los conjuntos correspondientes al bloque 2

En la ventana de visualización de superficie se muestra el comportamiento que puede llegar a tener la salida en dependencia de las variaciones o cambios ocurridos en las variables de entrada a través de una interfaz grafica tridimensional que muestra el comportamiento de cada una de las variables en colores formando una superficie en colores. En las figuras 3.11 y 3.12 se muestran las ventanas de visualización de las superficies correspondientes a los bloques 1 y 2 respectivamente.

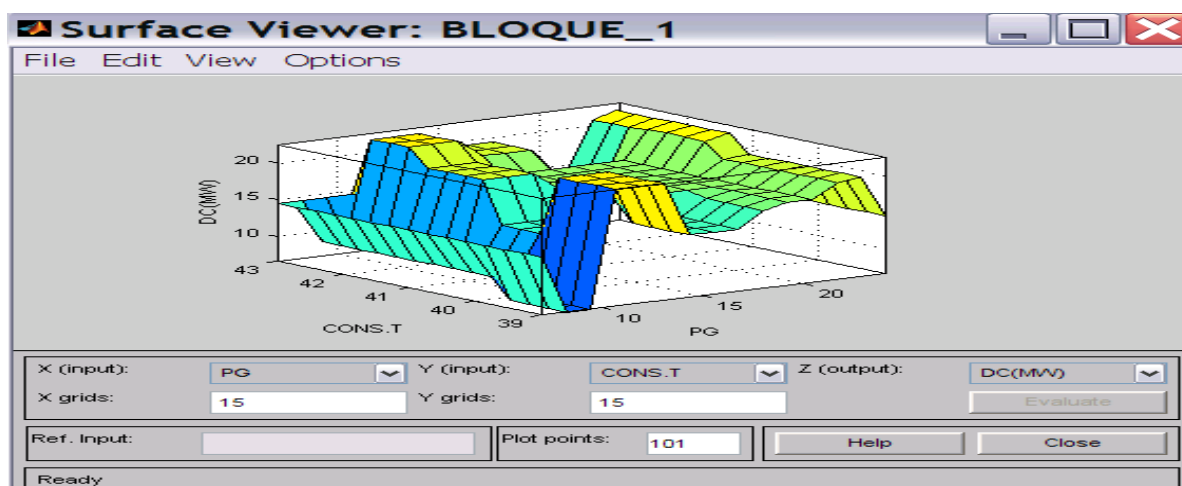


Figura 3.11 Superficie correspondiente al 1er bloque del control difuso desarrollado

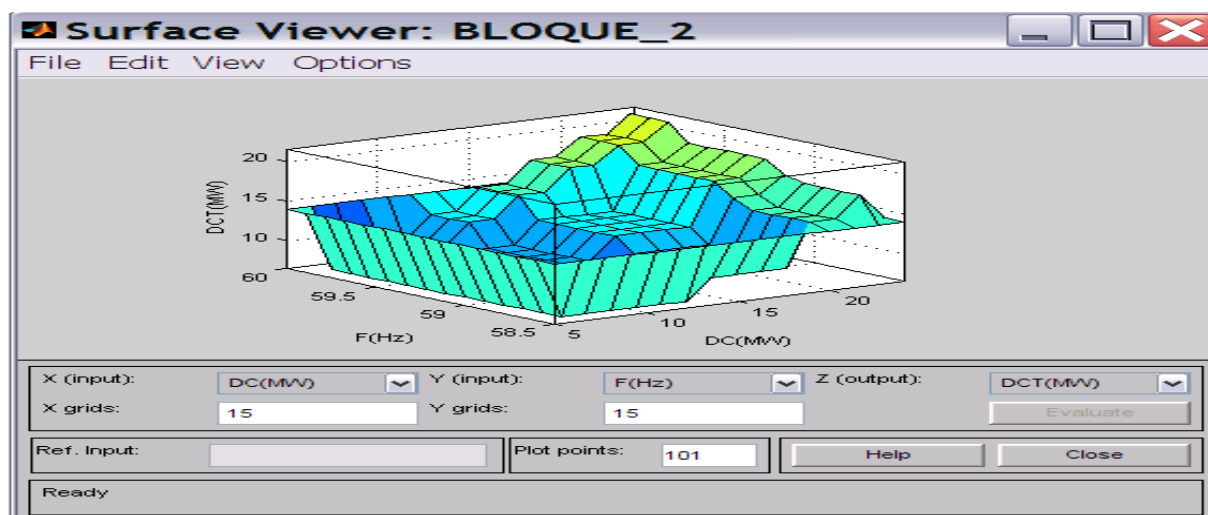


Figura 3.12 Superficie correspondiente al 2do bloque del control difuso desarrollado

Esquema del controlador difuso

Para el diseño del controlador difuso, se ha utilizado una arquitectura tipo Mamdani, en un esquema de dos bloques (bloque 1 y bloque 2) conectados en cascadas con dos entradas y una salida cada uno, tal como se muestra en la figura 3.13.

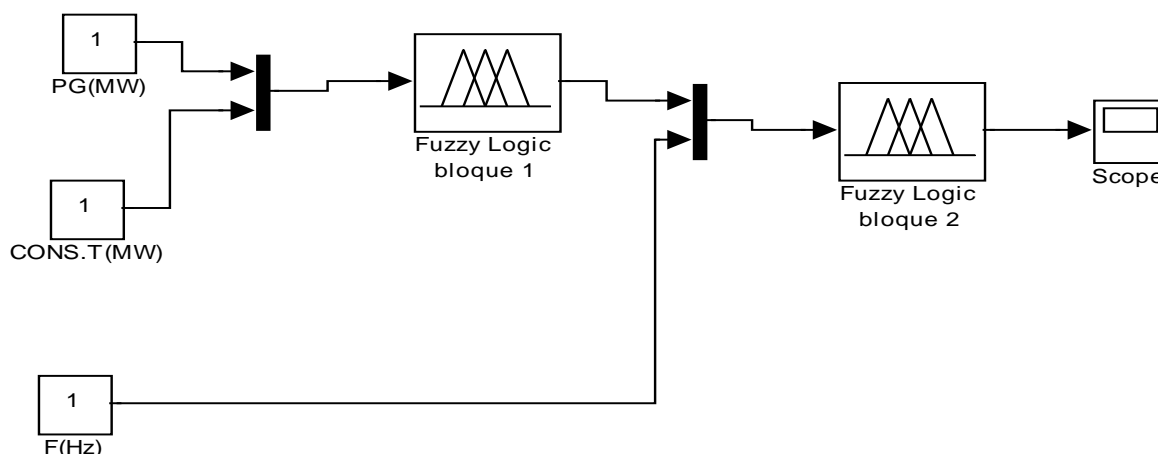


Figura 3.13 Simulación del controlador difuso en Simulink

Usadas en el bloque 1 como variables de entrada: la Potencia Generada por la empresa (PG) y la Potencia Consumida total de la misma (Const.), y el valor de descarga en MW como salida (DC); en el bloque 2: como variables de entradas valor de descarga en MW (DC), la frecuencia de la red (F); y como variable de salida el valor de la desconexión total en MW.

Entonces la máquina de inferencia difusa basada en valores de entrada lingüística, usa la apropiada base de conocimiento diseñada desde la experiencia experta para determinar la salida que es la desconexión total en MW.

El juego de variables difusas Potencia Generada, Potencia Consumida total, valor de descarga en MW, la frecuencia, el valor de la desconexión total en MW fueron definidas con funciones de pertenencias de tipo triangulo.

Conclusiones Parciales

La lógica difusa es una herramienta que puede ser utilizada en el mundo del control en métodos de mando de toda clase de dispositivos eléctricos y electrónicos.

La lógica difusa es un método de razonamiento estadístico basado en la teoría de conjunto, que permite especificar los problemas de control sin necesidad de recurrir siempre a modelos matemáticos y con un nivel de abstracción mucho más elevado.

Ante la necesidad de controlar un sistema de desconexión de cargas dependiendo del nivel de generación con que cuente la empresa, en el caso de recurrir a la activación del estado de DI (Descarga Instantánea) usando medios existentes con la implementación de la técnica de Lógica-fuzzy, es posible diseñar un controlador difuso que responda a necesidades específicas y que pueda ser utilizado por el Supervisor como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

CAPITULO4: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA Y DESARROLLO DE NUEVAS FUNCIONES.

4.1 Introducción

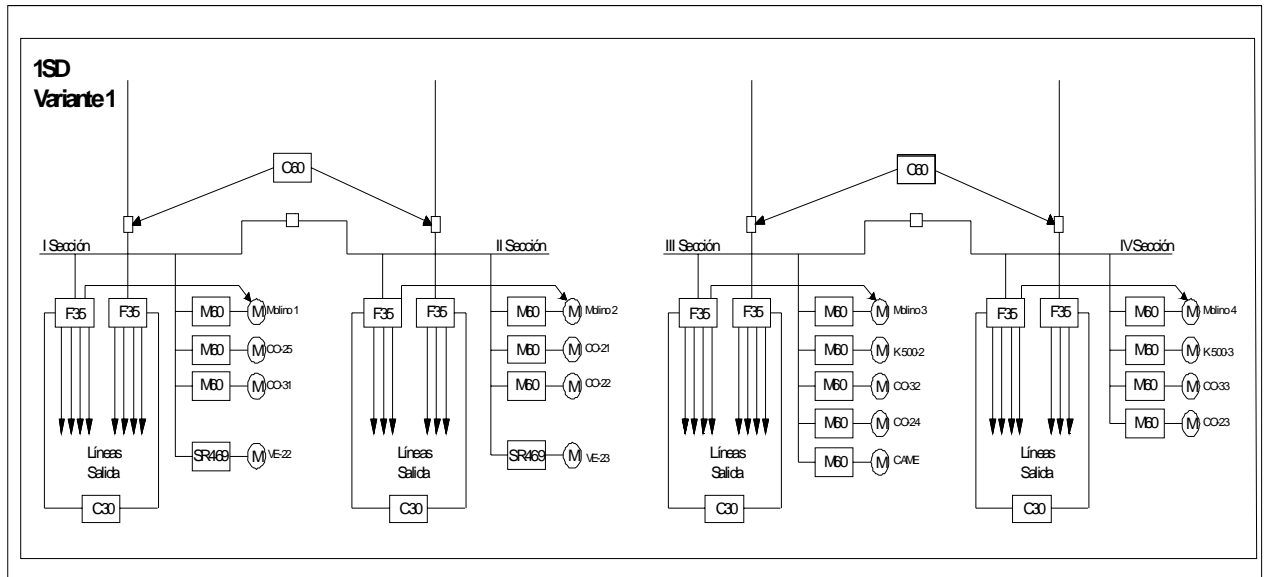
Como se ha expresado anteriormente, los sistemas de adquisición de datos mejoran el desempeño de los procesos, llevándolos a un estadio superior, complementando y enriqueciendo su funcionabilidad. Esto puede lograrse siempre y cuando se utilicen las funciones óptimas necesarias para su desempeño, implementándole tareas autónomas, con o sin la participación de la mano del hombre.

Teniendo en cuenta el comportamiento del sistema de media tensión de la empresa ante fallas tanto del Sistema Electroenergético Nacional como ante fallas en el propio esquema, llamadas fallas internas y aprovechando el proceso de modernización del sistema de protección del propio esquema de Media Tensión se evidencia una necesidad de incrementar las tareas propias del Sistema SCADA Citect, tareas que se pretenden desarrollar en este trabajo.

4.2 Caracterización del nuevo Sistema de Protección, Medición y Control

Como resultado del proceso de modernización, proceso en el cual se encuentra inmerso el Sistema de Media Tensión está concebida la utilización de varios tipos de relés multifunción ya existentes en la empresa, así como la incorporación de nuevos tipos dependiendo de las necesidades de cada instalación dentro de las que se encuentran las protecciones eléctricas necesarias para la carga que alimenta cada interruptor, el número de señales que incluye cada gabinete y su interrelación con otros gabinetes en caso que lo requiera, magnitudes eléctricas necesarias a incluir en el sistema de gestión energética., así como la garantía de una transferencia de energía entre barras de las secciones correspondientes con las protecciones de bloqueo necesarias para un correcto funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra un esquema general que se utilizará el proceso de modernización del cual se ha hablado:



A continuación se hace una caracterización de los dispositivos más utilizados dentro del Sistema.

Relé Multilin SR-750, Protección de Líneas.



El relé multifunción SR-750, es un relé basado en microprocesadores y diseñado para gobernar como protección principal de alimentadores o como respaldo en caso de barras, transformadores y líneas de transmisión. Proporciona funciones de protección, medición, control y monitorización en todos los casos con interfaces remotas y locales.

Muestra además las condiciones de disparo o alarma que estén ocurriendo y más de 35 mediciones de parámetros del sistema. Es capaz de almacenar las causas de los últimos disparos, alarmas o eventos de control, máximos niveles de demanda, consumos de energía, también configurables.

Este relé contiene varias funciones novedosas, que pueden ser programadas por el usuario, según sus necesidades, según el sistema que alimente, consta de 20 entradas y 7 salidas digitales así como 8 salidas y 1 entrada analógica.

Poseen interfase con el usuario permitiendo la comunicación, directamente a través de una PC ó de una red de computación. Su programación puede ser realizada desde las teclas del panel frontal y el display ó a través del programa de comunicación que incorpora, llamado SR-750 PC, el cual puede ser utilizado a través de la comunicación frontal por un puerto RS-232 ó por la red a través de los puertos RS-485 ó ETHERNET ubicados en su parte trasera.

Relé Multilin UR-F35, Protección para Líneas (Multi alimentador).



El UR-F35 es un relé multialimentador basado en microprocesador y diseñado para la protección de hasta 5 alimentadores con medición de tensión; es decir, puede controlar hasta 5 gabinetes y 6 prescindiendo de una gama de prestaciones importante para los sistemas de protección actuales.

Incorpora, funciones de sobrecorriente, bajo voltaje, recierres, baja frecuencia, diagnóstico de fallas y funciones RTU, además de mediciones de voltaje y corriente.

Las funciones de diagnóstico incluyen una secuencia de eventos con capacidad de almacenamiento de 1024 eventos. Estos eventos pueden ser programados por medio de las ecuaciones lógicas para disparar la oscilografía, la captura de datos, los cuales pueden ser ajustados para grabar los parámetros de los eventos antes, durante y después y de esta manera poder verlos a través de una PC, reduciendo los problemas de comunicación en la Red y la generación de reportes.

Poseen interfase con el usuario permitiendo la comunicación, directamente a través de una PC ó de una red de computación. Su programación puede ser a través del programa de comunicación que incorpora, llamado F35 UR PC, el cual puede ser utilizado a través de la comunicación frontal por un puerto RS-232 ó por la red mediante la variedad de módulos de comunicación que pueden ser habilitados, dos independientes, 10BaseF ETHERNET, 10BaseF Fiber Optic port para redundancia ubicados en su parte trasera.

Las señales de entradas y salida, son seleccionables según la configuración que desee el cliente, lo que permite mayor flexibilidad a los ingenieros a la hora de realizar un proyecto. Otras de las características fundamentales de este dispositivo, es su lógica flexible, a través de la cual pueden ser configuradas todas las entradas salidas, tanto físicas como virtuales y se pueden establecer disímiles funciones y aplicaciones, reduciendo el cableado a un nivel mínimo, si se compara con los relés de la serie SR y los esquemas convencionales modulares.

La conformación de los relés de la plataforma UR F35, se realiza mediante la selección del código del equipo según las posibilidades ofrecidas.

Se conforman mediante tarjetas o módulos que en su gran mayoría son compatibles con todos los relés de la plataforma UR, lo que facilita que puedan ser sustituidas por las de otro relé con funciones distintas en caso de averías.

Relé Multilin UR-C60, Protección para Líneas (Multi-alimentador).



El UR-C60 es un relé basado en microprocesador y diseñado para la protección, control y monitoreo de interruptores. Incorpora medición de voltaje y corriente como funciones de medición según los estándares.

Incorpora, funciones de sobrecorrientes, bajo voltaje, recierres, chequeo de sincronismos, diagnóstico de fallas y funciones RTU.

Las funciones de diagnóstico incluyen una secuencia de eventos con capacidad de almacenamiento de 1024 eventos. Estos eventos pueden ser programados por medio de las ecuaciones lógicas para disparar la oscilografía, la captura de datos, los cuales pueden ser ajustados para grabar los parámetros de los eventos antes, durante y después y de esta manera poder verlos a través de una PC, reduciendo los problemas de comunicación en la red y la generación de reportes.

Poseen interfase con el usuario permitiendo la comunicación, directamente a través de una PC ó de una red de computación. Su programación puede ser a través del programa de comunicación que incorpora, llamado F35 UR PC, el cual puede ser utilizado a través la de comunicación frontal por un puerto RS-232 ó por la red

mediante la variedad de módulos de comunicación que pueden ser habilitados, dos independientes, 10BaseF ETHERNET, 10BaseF Fiber Optic port para redundancia ubicados en su parte trasera.

Las señales de entradas y salida, son seleccionables según la configuración que desee el cliente, lo que permite mayor flexibilidad a los ingenieros a la hora de realizar un proyecto. Otras de las características fundamentales de este dispositivo, es su lógica flexible, a través de la cual pueden ser configuradas todas las entradas salidas, tanto físicas como virtuales y se pueden establecer disímiles funciones y aplicaciones, reduciendo el cableado a un nivel mínimo.

Relé Multilin SR-469, Protección de Motores.



Este relé, nos brinda las prestaciones necesarias para protección, señalización, control y monitorización de los distintos parámetros eléctricos y térmicos de los motores mediana y alta capacidad.

Poseen una característica fundamental para el análisis de averías, ya que poseen una memoria interna en la cual pueden almacenar hasta 40 eventos que ocurran en el equipo al que protege en una hora.

El SR469 está equipado con 6 relés de salida para disparos, alarmas y bloques de arranque. La protección de motores, el diagnóstico de fallas, la medición de potencia y las funciones RTU están integrados en un paquete económico removible.

Además de la gama de protecciones que poseen estos relés, también tienen otras ventajas como interfase de comunicación para PCs y redes de computación, lo cual permite la supervisión y monitoreo de las variables del sistema y tener acción de control sobre los mismos (apertura y cierre) a distancia.

Este relé contiene varias funciones novedosas, que pueden ser programadas por el usuario, según sus necesidades, según el sistema que alimente, consta de 7 entradas (3 prefijadas) y 6 salidas digitales, 4 salidas y 4 entrada analógica así como 12 entradas RTD, diseñadas para medir las temperaturas en los rodamientos y los devanados del motor.

Relé Multilin UR-M60, Protección de Motores.



El UR-M60 es un relé basado en microprocesador y diseñado para la protección, control y monitoreo de motores. Incorpora medición de voltaje y corriente como funciones de medición según los estándares.

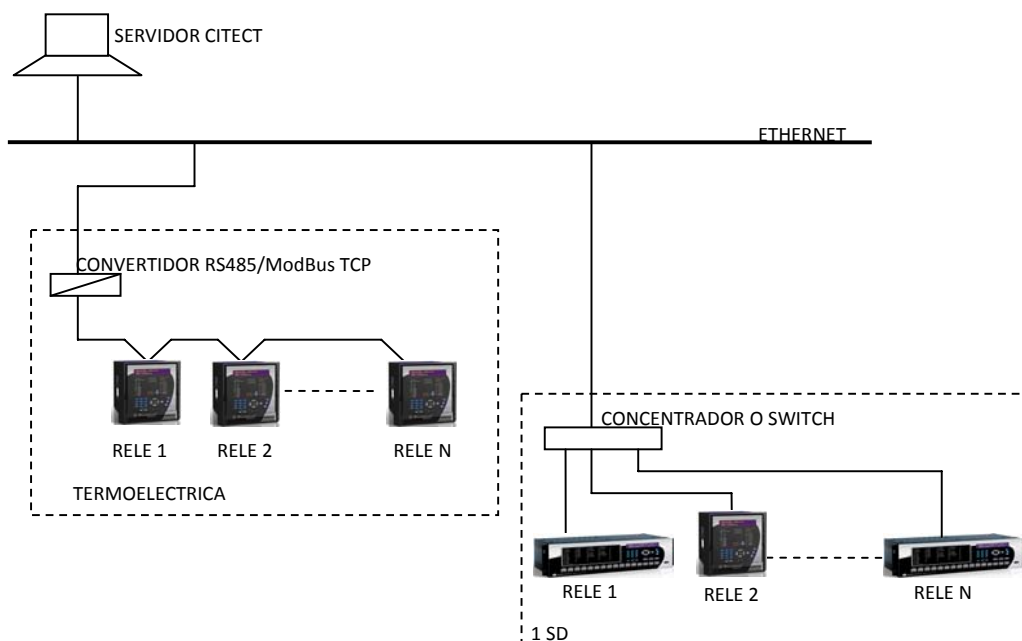
Las funciones de diagnóstico incluyen una secuencia de eventos con capacidad de almacenamiento de 1024 eventos. Estos eventos pueden ser programados por medio de las ecuaciones lógicas para disparar la oscilografía, la captura de datos, los cuales pueden ser ajustados para grabar los parámetros de los eventos antes, durante y después y de esta manera poder verlos a través de una PC, reduciendo los problemas de comunicación en la Red y la generación de reportes.

Poseen interfase con el usuario permitiendo la comunicación, directamente a través de una PC ó de una red de computación. Su programación puede ser a través de un software específico, llamado URPC, el cual puede ser utilizado a través la de comunicación frontal por un puerto RS-232 ó por la red mediante la variedad de módulos de comunicación que pueden ser habilitados.

Las señales de entradas y salida, son seleccionables según la configuración que desee el cliente, lo que permite mayor flexibilidad a los ingenieros a la hora de realizar un proyecto. Otras de las características fundamentales de este dispositivo, es su lógica flexible, a través de la cual pueden ser configuradas todas las entradas salidas, tanto físicas como virtuales y se pueden establecer disímiles funciones y aplicaciones, reduciendo el cableado a un nivel mínimo, si se compara con los relés de la serie SR y los esquemas convencionales modulares.

El relé se conforma mediante la selección de tarjetas en dependencia de la aplicación que su gran mayoría son compatibles con todos los relés de la plataforma UR, lo que facilita que puedan ser sustituidas por las de otro relé en caso de averías, sea este de reserva u otro que presentó fallas en otra parte distinta donde estaba instalado en el sistema.

4.3 Arquitectura de la red de Monitoreo:



4.3.1 Conexionado Físico:

En la actualidad existe en explotación una red empresarial la cual físicamente cubre un área geográfica de 3 km cuadrados y posee enlaces de más de 40 puntos, la misma está soportada de la siguiente manera: los enlaces a grandes distancias se realizan sobre de fibra óptica y para distancias menores de 100 metros a base de cable de par trenzado como está normado.

Los principales servicios que presta esta red son:

- Correo electrónico
- Internet
- Impresión de red
- Salva y recuperación de información
- Almacenamiento en red

Además existe una red ETHERNET para el intercambio de información vía Web entre todas las áreas, tanto de producción como de servicios.

Para el conexionado físico del Sistema SCADA del esquema de media tensión se utiliza parte de esta infraestructura, teniendo en cuenta las posibilidades de comunicación que poseen los dispositivos multifunción seleccionados. La conexión específica que tendrán estos dispositivos es a ETHERNET a través de un puerto RJ45, y de manera general, llegan a la Red a través de Concentradores o Swichs. Los datos que genera este sistema viajarán físicamente separadas de la red de gestión, o sea, se conectan a través de pares separados. Las velocidades de transmisión que se manejan en esta red son de 10/100 MB autodetectables.

4.3.2 Protocolo:

El protocolo de comunicación que utiliza el sistema propuesto es Modbus/TCP que es un protocolo de comunicación diseñado el cual permite comunicarse sobre una red a una gran variedad de equipos industriales tales como Controladores Lógicos Programables (PLCs), computadoras, etc., y en el caso que ocupa este trabajo, a los Dispositivos Electrónicos Inteligentes.

El protocolo ModBus/TCP es una variante de la familia MODBUS ampliamente usada en la industria, además se caracteriza por ser simple y abierto.

Este protocolo posee muchas ventajas que lo hacen muy atractivo dentro de las que se encuentran su simplicidad para administrar y expandir ya que o se requiere usar herramientas de configuración complejas cuando se añade una nueva estación; son escalables en complejidad ya que un dispositivo, el cual tiene solo un propósito simple, necesita solo implementar uno o dos tipos de mensaje; no es necesario equipo o software propietario de algún vendedor. Cualquier sistema computador ó microprocesador con una pila de protocolos TCP/IP puede usar Modbus/TCP; puede ser usado para comunicar con una gran base instalada de dispositivos MODBUS, usando productos de conversión los cuales no requieren configuración; y es de muy alto desempeño, limitado típicamente por la capacidad del sistema operativo del computador para comunicarse. Altas ratas de transmisión son fáciles de lograr sobre una estación única, y cualquier red puede ser construida para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de milisegundos.

4.4 Funciones del Sistema SCADA a través del software Citect:

En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara los sistemas de supervisión de procesos están soportados por el software CitectSCADA, aunque existen otros de manera aislada en algunos procesos independientes como en Lixiviación y en la Termoeléctrica.

CitectSCADA es una solución HMI/SCADA (interface máquina humano/SCADA) que permite implementar sistemas de control fiables, herramientas de configuración fáciles de usar y características que permiten desplegar soluciones para automatización de plantas de diversos tamaños.

En el caso tratado, se aprovecha como hasta ahora, las bondades de este software para su utilización en el SCADA del sistema eléctrico de media tensión, implementando tareas de mayor responsabilidad de manera autónoma, o sea, sin la intervención de la mano del operador.

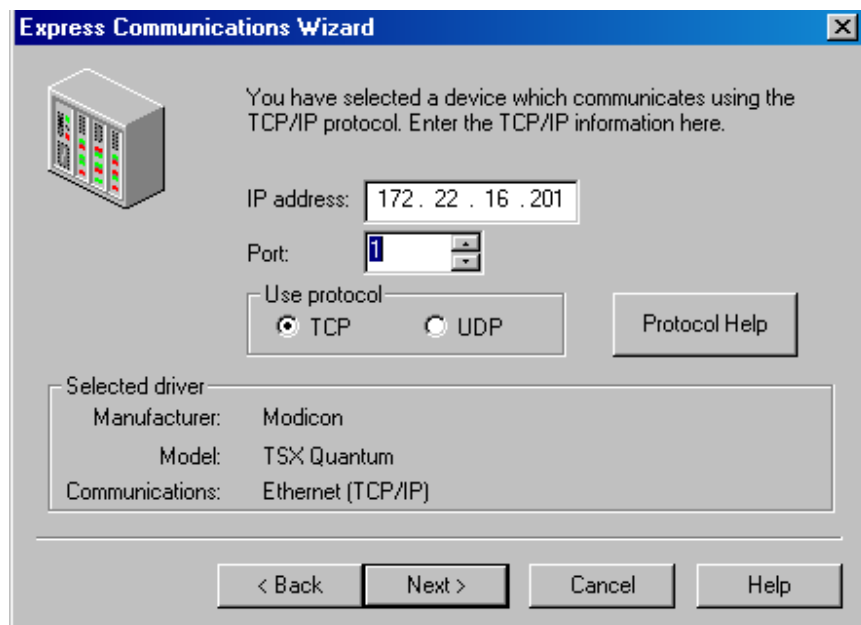
La configuración en el software Citect se basa en proyectos que se crean y administran a través de la herramienta Citect Explorer y se guardan en archivos gráficos, objetos y otros que luego serán usados en el Runtime.

Al abrir el Citect Explorer, simultáneamente se abre el Citect Project y el Citect Graphics Builder.

El primer paso para la conformación del proyecto es la configuración de la interrelación de los dispositivos IED's (los llamados I/O) que se utilizarán en el Supervisorio que se encargarán de brindar toda la información del Sistema a través de la red y el servidor (I/O Server) que serán los que recibirán toda esa información brindada por los IED's y la procesarán para luego mostrarla en las diferentes pantallas que se configuren

En el menú Communications se selecciona I/O Server y se le otorga el nombre al servidor. Luego se procede a configurar el puerto por el cual se conectará el servidor a los dispositivos I/O, como muestra la siguiente figura en la ventana se configuran además del nombre y el número del puerto, la dirección IP del relé con la cual se

identificará en la red Ethernet, teniendo en cuenta que se usará el protocolo ModBus TCP.



De la misma manera se configuran todos los dispositivos que estarán instalados en la Red, cambiando sólo el nombre y la dirección IP de cada uno en particular.

Dentro de las funciones que el software tiene en este sistema se encuentran las de visualización de las principales variables que caracterizan al sistema eléctricos de cada una de las Subestaciones que conforman el esquema, estas mediciones se realizan a través de los IED's implementados o a implementar en dicho sistema, o sea, aprovechando las prestaciones que brindan estos relés Multilin situados en diferentes partes del esquema eléctrico y que como Dispositivo Electrónico Inteligente tiene la capacidad de controlar, proteger así como de realizar la tarea de la medición de los principales parámetros que definen el comportamiento de la partes específicas del esquema.

La medición de las variables que caracterizan al sistema eléctrico media tensión se realiza a través de los IED's instalados o a instalar en dicho sistema, o sea, aprovechando las prestaciones que brindan los relés Multilin situados en diferentes partes del esquema eléctrico y que como Dispositivo Electrónico Inteligente tiene la

capacidad de controlar, proteger así como de realizar la tarea de la medición de los principales parámetros que definen el comportamiento de la partes específicas del esquema.

Las principales variables que se han elegido para formar parte de Supervisorio Inteligente son las tensiones de las tres fases así como las tensiones de líneas, las corrientes de fase, la frecuencia del sistema, la potencia activa, reactiva y aparente de las tres fases, factor de potencia. Todas estas variables se repiten para cada gabinete que es gobernado por estos dispositivos.

Un ejemplo de configuración de las variables a leer se muestra a continuación:

Variable Tag Name	1SD_F35_1_Vab	Data Type	REAL
I/O Device Name	1SD_F35_1	Address	46672
Raw Zero Scale	0	Raw Full Scale	4000000
Eng Zero Scale	0	Eng Full Scale	4000
Eng Units		Format	###.##
Comment	Voltaje de Línea Gab 1		

Record: 1 Linked: No

Luego de asignarle un nombre a la variable a configurar, se debe asociar al IED que corresponde, para ello se despliega la lista de I/O Device Name que contiene los nombres de todos los dispositivos que se han configurado en el proyecto. Como ya se ha asociado la variable a un IED dado, ahora es necesario dotar al software de la ubicación específica de esa variable dentro del mapa de memoria del relé, o sea, en qué lugar específico de la memoria interna del relé se encuentra la variable. Ese dato se le proporciona en la casilla dirección o sea *Address*.

Para ello se accede al Mapa de Memoria del relé, se busca la variable y se obtiene la Dirección Hexadeximal, luego se convierte este dato a Decimal y se le suma 40001, y este resultado es el que se le proporciona al Software en la casilla *Address*.

Los IEDs soportan diversos tipos de datos que son usados para intercambiar variables con CITECT, dependiendo de la cantidad de bytes que necesite el dato para ser guardado en la memoria del dispositivo y el rango de valores que pueda tomar existen varios tipos de datos como por ejemplo:

Tipo de Dato	Tamaño (Byte)	Valores permitidos
Entero (INT)	2	-32,768 hasta 32,767
Entero sin signo (UINT)	2	0 hasta 65,535
Entero largo (LONG)	4	-2,147,483,648 hasta 2,147,483,647
Real (Real)	4	-3.4E38 hasta 3.4E38
Cadena (String)	256 (máximo)	ASCII

Este parámetro se le proporciona al Citect en la casilla Data Type, cuando se despliega ésta se listan todos los tipos de datos que soporta el software, para elegir el adecuado.

Otros parámetros que se ajustan son el rango de la variable, el formato en que se quiere que se muestre y algún comentario que se requiera a modo de identificación.

El comportamiento de las variables en el tiempo constituye otra de las funciones del sistema SCADA propuesto, este tiene gran importancia ya que se utiliza fundamentalmente en el análisis y diagnóstico del sistema al cual ella caracteriza.

La configuración de las variables del registro histórico se realiza de manera similar a las variables en tiempo real a través de los *Trend Tags*.

Además de estas funciones, el sistema propuesto también posee alarmas sonoras y visuales que alertan al operador sobre parámetros fuera de los rangos permisibles, de manera que éste pueda actuar en función de corregir la desviación. También posee los botones de conexión y desconexión de todos los gabinetes gobernados por los dispositivos a implementar, por lo que el operador autorizado puede realizar

operaciones de conmutación a distancia a través del software. Esta configuración se realiza con herramientas de sencilla programación que posee este software.

4.4.1 Función de desconexión de cargas para regímenes anormales de operación.

Como se conoce el esquema de suministro eléctrico de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara posee enlace con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) a través de dos líneas de alta tensión, mediante ellas la empresa toma del SEN la energía necesaria para suplir la diferencia de la energía total que demanda y que la generación propia no puede cubrir.

Cuando por cualquier motivo no se cuenta con este enlace, o sea, los interruptores totalizadores se abren operando la protección separadora, se activa y actúa la llamada Descarga Instantánea, desconectando una serie de cargas hasta lograr que se corresponda la potencia generada con la potencia consumida y de este modo evitar al aplastamiento de los turbogeneradores.

El sistema propuesto puede apoyar, por decirlo de algún modo, la operación en este régimen, con la filosofía siguiente: Como el SCADA está constantemente midiendo la potencia que generan los turbogeneradores y la energía que se demanda del SEN, puede bajo determinadas condiciones actuar sobre los interruptores de las cargas elegidas y desconectar los gabinetes que se requieran de acuerdo a la potencia de la generación propia.

Para esto se programa en Cicode una función, que en dependencia de los resultados de la lectura de la potencia generada y de la confirmación de la apertura de los interruptores totalizadores, tendrá como objetivo final escribir el valor del relé de disparo con la finalidad de cambiar el estado de dicho relé y de esta manera cerrar el circuito de disparo del interruptor del gabinete seleccionado. Esta función se hace extensiva a todos los gabinetes que por ajuste tendrían que desconectarse bajo este tipo de régimen.

A continuación se muestra un ejemplo genérico para la función que se propone:

```

FUNCTION SEN(REAL Pg);
REAL P_SEN;
UINT bD1,bD2,bD3;
IF P_SEN = 0 THEN
IF Pg= 22 THEN
bD1= TRUE;
ELSE
IF 20 >=Pg<= 22 THEN
bD2= TRUE;
bD3= TRUE;
END
END
END
END

```

De modo que configurando la variable “Estado de Contactos de salida” con la dirección Hexadecimal 1510 y el tipo de dato UNIT de 16 Bit, de la manera siguiente:

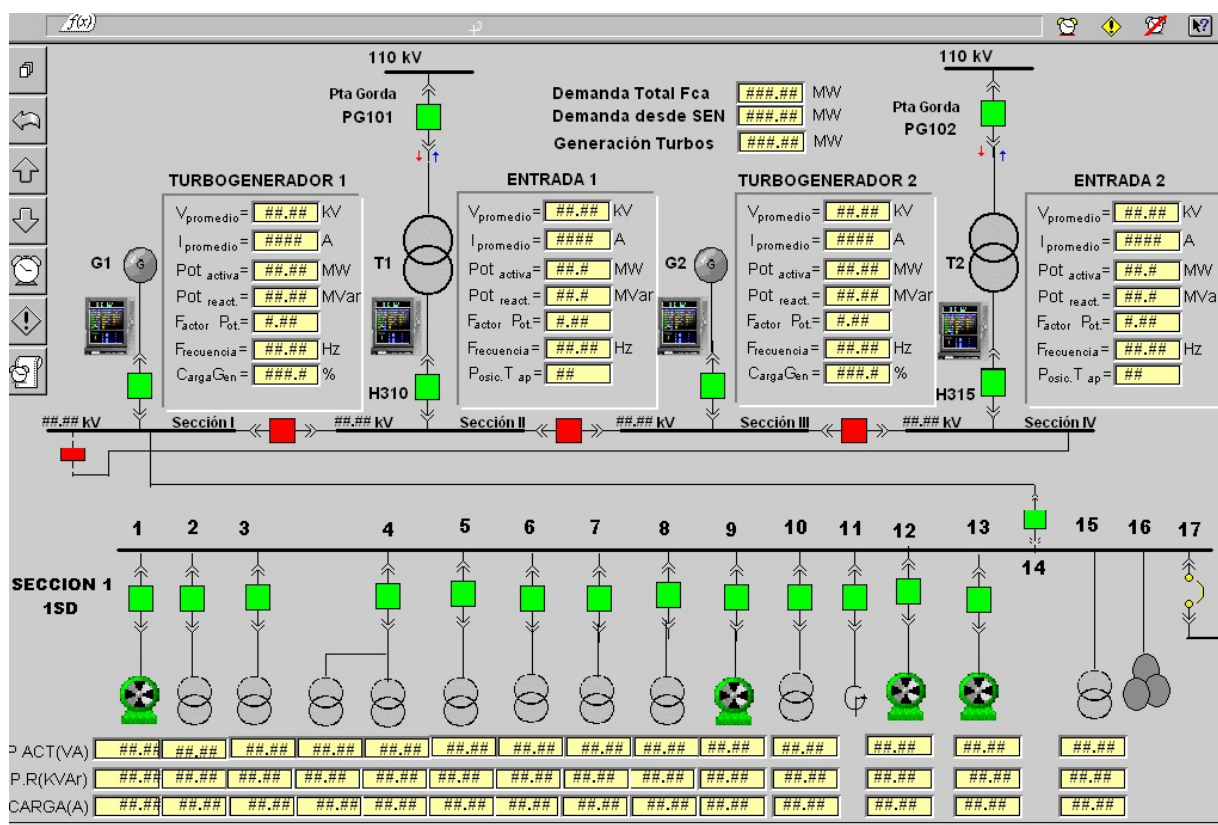
Variable Tags: [SECCION 1 1SD]	
Variable Tag Name	1SD_F35_1_ED
Data Type	UINT
I/O Device Name	1SD_F35_1
Address	45393
Raw Zero Scale	0
Raw Full Scale	65535
Eng Zero Scale	0
Eng Full Scale	65535
Eng Units	
Format	####
Comment	Estado del Relé de Salida 1 F35_1
<input type="button" value="Add"/> <input type="button" value="Replace"/> <input type="button" value="Delete"/> <input type="button" value="Help"/>	
Record: 194	Linked: No

Cuando la condición de chequeo se cumpla, se plantea que esta variable tome el valor 0x8000, valor éste que activa el Bit que corresponde al relé de salida 1 , se logra cambiar de estado abierto a estado cerrado y con ello el cierre del circuito de disparo del interruptor del gabinete que corresponda.

4.5 Diseño de pantalla:

Las pantallas de comunicación fueron generalizadas para cada una de las subestaciones distribuidoras de la empresa, las cuales constituyen el esquema

eléctrico de media tensión. A continuación se muestra una propuesta de una pantalla a nivel genérico en la sección 1 de la subestación 1SD, que es la más grande e importante dentro del sistema productivo. Muestra un ejemplo grafico que representa cada una de las cargas correspondiente a cada uno de los 17 gabinetes que caracterizan esta sección, en esta pantalla se visualizan el estado e que se encuentra cada una de las cargas ,4 motores y 10 líneas de salida hacia subestaciones transformadoras, las cuales serán gobernadas a través de este software.



La subestación 1SD cuenta con 4 secciones de barras con un total de 67 gabinetes a supervisar. Se crearon cuatro pantallas en total, una para cada sección de barra de la 1SD, toda ellas con la misma estructura que la mostrada anteriormente, solo varía el número de gabinetes con las cargas a supervisar y sus respectivas fuentes de alimentación.

4.6 Valoración Técnico Económica:

El proceso de modernización del sistema eléctrico de media tensión de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara tiene como objetivo principal garantizar un sistema de protección acorde con la complejidad del esquema de suministro eléctrico de media tensión, proceso que se está llevando a cabo en estos momentos y que tendrá un costo que cubrirá todas las subestaciones de media tensión por etapas.

El trabajo propuesto se podrá llevar a cabo objetivamente luego de la modernización de estas subestaciones por lo que para el cálculo de la rentabilidad económica del mismo se tiene en cuenta los costos del equipamiento necesario para la interconexión de todo el equipamiento de protección y control en la red Ethernet de la empresa, los costos de mantenimiento de los equipos asociados al equipamiento de red, así como las pérdidas que se han registrados y que se encuentran asociadas a los problemas que resuelve la implementación de este trabajo, así como las funciones que tendrá el sistema en cuestión.

Teniendo en cuenta que la red Ethernet de la empresa está implementada y que su mantenimiento se ejecuta periódicamente, este costo no se contempla para este trabajo, por lo que los costos que se tendrán en cuenta son los asociados a los equipos de comunicación que involucren directamente a la Red del equipamiento eléctrico.

El costo del equipamiento de comunicación incluye de manera general:

- Un Servidor HP ProLiant DL380 G7 Server series.
- 2 500 metros de Cable de fibra óptica monomodo (MM) single mode (SM) de 24 fibras Armado para exteriores.
- Una Estación de trabajo: HP Z800.

La suma del costo de estos equipos, de acuerdo a los precios que se manejan en el mercado mundial ascienden a 27 944 CUC.

El efecto económico negativo asociado a las funciones implementadas en este proyecto y a los problemas que resuelve, según los estimados de los especialistas de

la empresa están alrededor de un 25 % de las pérdidas que han causado las averías sucedidas por este concepto en todo el sistema eléctrico de media tensión, por lo que haciendo un resumen de los últimos 5 años y calculando el porcentaje que corresponde a este proyecto se obtiene una pérdida de aproximadamente:

1 593 504 CUC

Por lo que haciendo una simple cálculo se comprueba que la implementación de este proyecto es económicamente rentable.

Conclusiones Parciales

Luego de realizado este capítulo se llega a las conclusiones siguientes:

- El Sistema SCADA propuesto complementa al esquema de protección de las Redes de Media Tensión en cuanto a integración de funciones.
- El proceso de modernización de las protecciones, en el cual está inmerso el sistema de media tensión, no sólo aumenta su confiabilidad sino también que posibilita el aumento de la velocidad de transmisión de datos en la Red.
- Se comprobó que al Sistema SCADA se le pueden atribuir funciones autónomas que mejoran la respuesta del sistema ante fallas que puedan suceder.

CONCLUSIONES GENERALES

- De acuerdo al estudio realizado se corrobora que la implementación de sistemas SCADA en redes eléctricas es imprescindible por la necesidad de integración de funciones que garantizan un mejor funcionamiento en las operaciones.
- El estudio realizado sobre las características en las diferentes subestaciones de la red de media tensión en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara permitió determinar los principales consumidores a desconectar ante un fallo en la red de acuerdo a las funciones que realizan en el proceso productivo.
- La implementación de los nuevos relés Multilin como principales dispositivos de protección en las subestaciones, proporcionan una mayor velocidad de comunicación que los existentes al utilizar el protocolo de comunicación ModBus TCP sobre Ethernet para conectarse a la red industrial.
- Se implementaron las ventanas en el CITECT correspondiente a la sección 1 de la subestación de distribución 1SD que ofrecen información detallada de los todos sus consumidores.
- Este estudio corrobora la efectividad de la técnica de Lógica Fuzzy en problemas industriales de este tipo.
- Los costos de la inversión pueden ser amortizados en poco tiempo teniendo en cuenta los costos por déficit de producción de níquel debido a las averías en estas redes.

RECOMENDACIONES

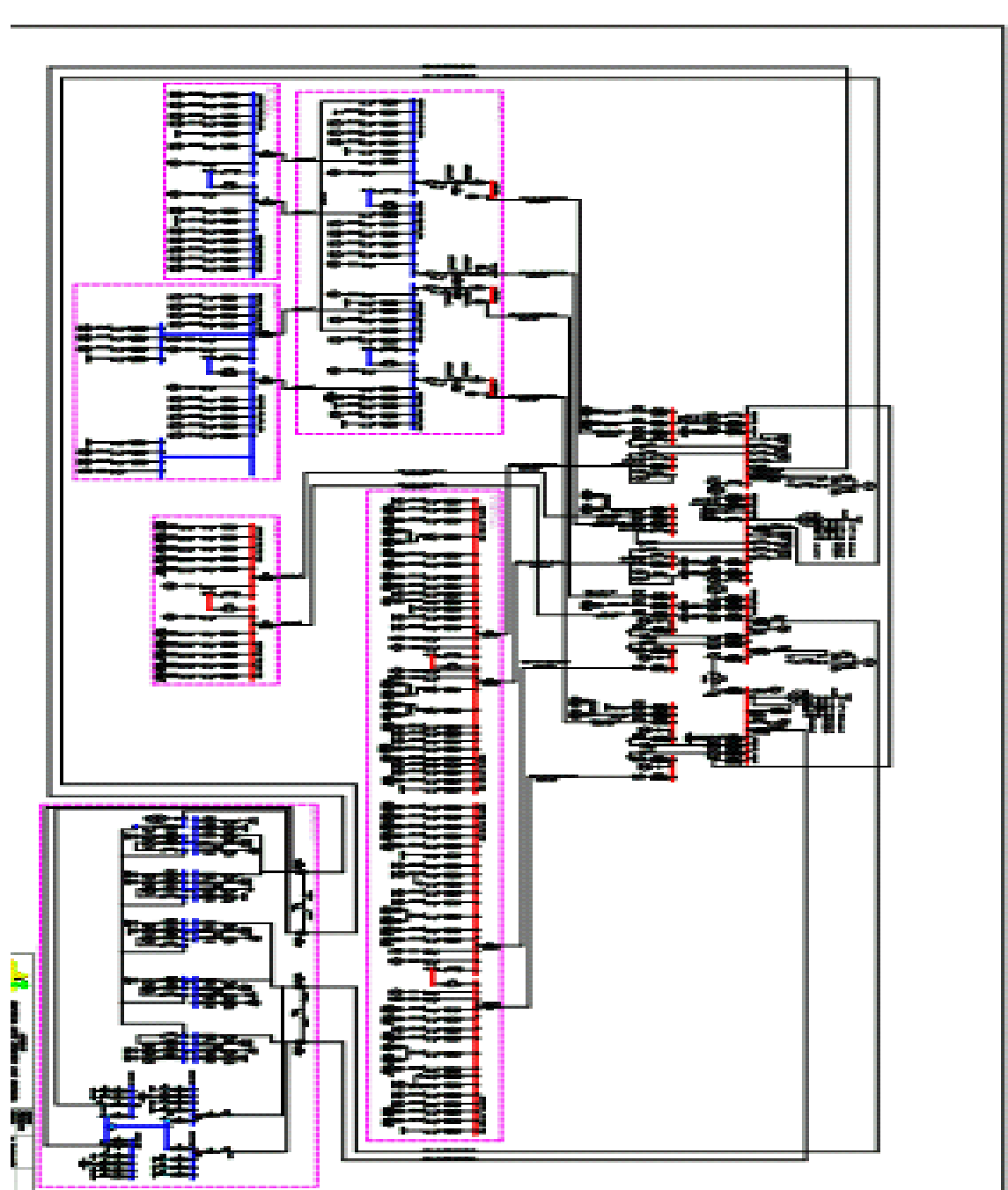
- Implementar el Sistema SCADA propuesto con las funciones autónomas inteligentes que complementen al sistema de protección del esquema de media tensión.
- Utilizar el protocolo ModBus TCP sobre Ethernet para lograr mayor velocidad de transmisión de datos con su correspondiente sistema de redundancia para el caso específico.
- Hacer uso de otro tipo de inteligencia artificial como el controlador por redes neuronales.
- Se sugiere experimentar a través de los toolbox de MATLAB (ver comunicación con RF), que tiene interface con CITECT.

BIBLIOGRAFIA

1. Chavarría Meza, Luis Eduardo, SCADA System's & Telemetry , Atlantic International University , Mexico,2007.
2. Gómez Sarduy, J. R., Reyes Calvo, R., Guzmán Del Río, D. "Temas Especiales de Instrumentación y Control". Texto Básico. Universidad de Cienfuegos 2007.
3. PUPO BACALLAO, G .L .Interfase para el control inteligente de instrumentos en sistemas SCADA de accionamientos eléctricos .Luís Delfín Rojas Purón (Tutor). Trabajo de diploma. ISMM, 2009.
4. CHALONGO NGHIITWIKWA, E. H Estación experimental para diagnósticos de hidrotransporte por patrones difusos asistido por PLC en el ISMM de Moa Luís Delfín Rojas Purón, Raúl Izquierdo (Tutores). Trabajo de diploma. ISMM, 2010.
5. ZAFRA DOBLAS ,R. Programa SCADA, Ernest Gil Dolcet(Tutor).2004
6. HIDALGO VEGA,L. M. Sistema de Monitoreo Eléctrico en la Subestación 1SD de la empresa "Cmte. Ernesto Che Guevara, Oscar W. Peña Guilarte , Abdiel González Roblejo(Tutores) Trabajo de diploma. ISMM, 2011.
7. . SINCLAIR, Lan R. Sensors and transducers. 3
8. SANCHEZ M. Realización de controladores lógicos difusos para el control de procesos en tiempo real: especificación y diseño. Instituto de Investigaciones eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.
9. <http://espanol.geocities.com/melvinosman/iartificial>. Doc.
10. <http://www.softcomputing.es/es/portada.php>
11. <http://code.google.com/p/fuzzy-lite>
12. <http://cnmg3.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy/>
13. <http://www.GEDigital Energy.com>
14. Curso Introductorio de Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones), por el Dr. José Galindo G., Universidad de Málaga (España)

ANEXOS

Anexo 1



Anexo 2

Pto de Alimt. DESC DAF I DAF II D (MW) P Alimenta a:

TP 6-8 1T	CTE	1				1,200	Hornos 1ra y 2da L.
TP 6-82T	CTE	1				1,120	Hornos 1ra y 2da L.
TP 12-14 (1T)	CTE				1	0,100	Hor y Secad.
TP 12-14 (2T)	CTE				1	0,323	Hor y Secad.
1TP 1-2(1T)	1SD	1				0,325	Lixiviación y Lavado
1TP 1-2(2T)	1SD	1				1,575	Lixiviación y Lavado
1TP 7 (1T)	1SD				1	0,092	Calc. y Sinter
1TP 7 (2T)	1SD				1	0,017	Calc. y Sinter
1TP 8 (1T)	1SD				1	0,350	Calc. y Sinter
1TP 8 (2T)	1SD				1	0,200	Calc. y Sinter
1TP 3 (1T)	1SD		1			0,125	Lixiviación y Lavado
1TP 3 (2T)	1SD			1		0,513	Lixiviación y Lavado
1TP 10-11 (1T)	1SD	1				0,650	Hornos 3ra Losa.
1TP 10-11 (2T)	1SD	1				0,650	Hornos 3ra Losa.
K - 21	1SD				1	1,025	Compresores
K - 23	1SD				1	1,175	Compresores
K - 24	1SD				1	1,100	Compresores
K - 25	1SD				1	0,000	Compresores
K - 31	1SD	1				1,400	Compresores
K - 32	1SD	1				1,350	Compresores
K - 33	1SD				1	0,000	Compresores
K 500 - 2	1SD				1	2,525	Compresores
K 500 - 3	1SD				1	0,000	Compresores
BOMBA 1	4SD				1	0,000	T. Enfriamiento
BOMBA 2	4SD	1				0,668	T. Enfriamiento
BOMBA 3	4SD	1				0,645	T. Enfriamiento
BOMBA 4	4SD				1	0,000	T. Enfriamiento
BOMBA 5	4SD				1	0,000	T. Enfriamiento
C.T.E.	Cons. Propio	1				3,200	Uso en Pta. CTE
ALUMBRADO	Fca. Completa	1				1,000	Alumbrado Fca.

Pto DE DA DA D I P Ali
de SC FI F II (M me
Ali W) nta
mt. a:

BO 4S 1 0,0 T.
MB D 00 Enf
A 6 ria
mie
nto

BO 4S 1 0,6 T.
MB D 53 Enf
A 7 ria
mie
nto

BO 4S 1 0,0 T.
MB D 00 Enf
A 8 ria
mie
nto

BO 4S 1 0,0 T.
MB D 00 Enf
A 9 ria
mie
nto

V - 4S 1 0,1 Cal
34 D 40 cin
2 A aci
ón
y
Site
r

V - 4S 1 0,3 Cal
34 D 55 cin
2 B aci
ón

Pto de Ali me nt.	DE SC	DA FI	DA FII	DI	P (M W)	Ali m en ta a:
-------------------------------	----------	----------	-----------	----	---------------	----------------------------

V - 22	1S D			1	0,3 1	Se ca der os
---------------	---------	--	--	---	----------	-----------------------

M OL IN O 1	1S D			1	0,0 0	Se ca der os
------------------------------------	---------	--	--	---	----------	-----------------------

M OL IN O 2	1S D			1	0,5 4	Se ca der os
------------------------------------	---------	--	--	---	----------	-----------------------

VE NT 23	1S D			1	0,0 1	Se ca der os
-------------------------	---------	--	--	---	----------	-----------------------

M OL IN O3	1S D			1	0,2 4	Se ca der os
-------------------------------	---------	--	--	---	----------	-----------------------

M OL	1S D			1	0,4 2	Se ca
-----------------	---------	--	--	---	----------	----------

IN der
O4 os

VE 2S
NT D
1 1 0,0 Se
ca
der
os

VE 2S
NT D
2 1 0,3 Se
8 ca
der
os

MI 2S
N Int D
A . 6 1 0,0 Mi
2 na
-
Bat
ey
Mi
n

VE 2S
NT D
21 1 0,3 Se
2 ca
der
os

EX 2S
H D
SI
LO
1 1 0,3 Se
2 ca
der
os

VE 2S
NT D
3 1 0,2 Se
4 ca
der
os

VE 2S
NT D
4 1 0,3 Se
3 ca
der
os

EX 2S
H D
SI
LO
2 1 0,0 Se
0 ca
der
os

EX	3S	1	0,3	Se
H-	D		8	ca
5				der
				os

TR	3S	1	0,0	Mi
-	D		1	na
4B				-01

TR	3S	1	0,0	Mi
-2	D		7	na
				-01

Ve	3S	1	0,1	Mi
nt.	D		7	na
F.				-01
M.				
# 1				

EX	3S	1	0,4	Se
H-	D		9	ca
6				der
				os

Mi	3S	1	0,0	Mi
na	D		0	na
Int				-02
.				
16				

EX	3S	1	0,5	Se
H-	D		3	ca
4				der
				os

EX	3S	1	0,0	Se
H-	D		1	ca
3				der
				os

EX	3S	1	0,2	Se
H-	D		9	ca
2				der
				os

EX H-1 3S D 1 0,5 Se
0 ca
der
os

TR -4A 3S D 1 0,0 Mi
7 na
-01

Ve nt. F. M. # 2 3S D 1 0,1 Se
8 ca
der
os

	Pto de Aliment.	DESC	DAF I	DAF II	D I	P (MW)	Alimenta a:
5TP 6 (1T)	5SD				1	0,350	Secaderos
5TP 3-13 (1T)	5SD				1	0,100	Secaderos
5TP 1-2 (1T)	5SD				1	0,100	Gantry -y el 01
5TP 4-5 (1T)	5SD				1	0,263	Secaderos
5TP 3-13 (2T)	5SD				1	0,150	Secaderos
5TP 1-2 (2T)	5SD				1	0,150	Gantry - y el 01
5TP 4-5 (2T)	5SD				1	0,525	Secaderos
5TP 6 (2T)	5SD				1	0,263	Secaderos
CIL	CTE				1	0,323	CIL

D I	20,6	A	21,1
DAFI	20,5	A	21,0
DAFII	20,0	A	20,5

	PLANTAS	CONSUMO	
1	MINA	6130	KW
2	SECADEROS	193818	KW
3	HORNO	97890	KW
4	LIXIVIACION	84356	KW
5	RECUP. NH3	30000	KW
6	CALCINACION	4400	KW
7	SINTER	48720	KW
8	TORRE ENFR	66960	KW
9	COBALTO	22722	KW
10	COMPRESORES	230842	KW
11	TALLERES	77132	KW
12	CIL	0	KW
13	TOTAL	863,0	MW

Cosumo Total Che Guevara			
SEN	392,21		
GENERADA	572,35		
PICO ELECTRICO	15,15		
TOTAL FABRICA	964,56		

Valor de la DI	20,6	21,1	MW
PROMEDIO - SEN.			16,342
PROMEDIO - GEN.			23,848
PROMEDIO TOTAL FÁBRICA.			40,190

