



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Eleazar Augusto Valenzuela Jofré

Propuesta e Implementación de Mejoramiento aplicado al Sistema SCADA de los SEP MRA

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Eléctrico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Propuesta e Implementación de Mejoramiento aplicado al Sistema SCADA de los SEP MRA.

Eleazar Augusto Valenzuela Jofré

Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Francisco Alonso Villalobos

Profesor Guía

Sr. Eduardo Muñoz Ponce

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 19 de Junio de 2017

*Dedicado a mi madre por su apoyo incondicional durante toda esta larga trayectoria quien nunca
perdió la esperanza en mí y siempre me motivó a seguir adelante para alcanzar mis metas.
Motivada por el hecho de que ella nunca tuvo las mismas oportunidades*

Resumen

El proyecto consiste en la propuesta e implementación de un mejoramiento al sistema SCADA “Supervisory Control And Data Acquisition”, existente, en el Sistema Eléctrico de Potencia, de la Mina Rajo Abierto de la División Andina de Codelco-Chile. Se genera la necesidad de crear las pantallas de visualización del Rajo; estandarizar el diseño de las pantallas y reestablecer la comunicación entre el SCADA general; Sala de control cuarto piso y Estaciones de Maniobra 1 y 2, de manera que, se pueda tener un constante monitoreo de las variables eléctricas más importantes del “Loop”, para prevenir fallas y tomar acciones preventivas en cuanto a comportamientos anormales.

Se comienza por describir todas aquellas características geográficas, climáticas y locación de la Mina Rajo Andina. También se describen las etapas más relevantes en el proceso productivo, para la extracción del Mineral, mencionando las máquinas que se utilizan.

Luego, se estudia la estructura de los Sistemas Eléctricos de Potencia de la Mina Rajo Andina (Loop Eléctrico). En esta sección se describen los equipos, componentes y cargas más relevantes del sistema eléctrico.

Se estudia todo lo referente a sistemas SCADA y redes de comunicaciones, debido a que, los sistemas SCADA tienen como base o principio de funcionamiento la comunicación a través del protocolo TCP/IP y las redes de proceso están unidas a las redes informáticas para facilitar el acceso a la información desde cualquier computadora a usuarios autorizados.

Se analiza toda la información existente del sistema actual, de manera que, se puedan apreciar las fallas e irregularidades que presenta el sistema SCADA.

Finalmente se muestran los resultados obtenidos, que abarcan desde, el mejoramiento y estandarización de las pantallas del software Spectrum Power5. Hasta el establecimiento de comunicación entre: El sistema SCADA general; Sala de control 4° piso y Estación de maniobra 1.

Abstract

The project consists of the proposal and implementation of an improvement to the SCADA "Supervisory Control and Data Acquisition", existing in the Power Electric System, of the Open Rim Mine of the Codelco-Chile Andean Division. You need: Create Rajo display screens; Standardize the design of the screens and reestablish communication between the general SCADA; Fourth floor control room and Maneuver Stations 1 and 2, so that you can have a constant monitoring of the most important electrical variables of the Loop, to prevent failures and take preventive actions regarding abnormal behavior.

It begins by describing all the geographic, climatic and location characteristics of the Andean Rajo Mine. It also describes the most relevant stages in the production process, for mineral extraction, mentioning the machines that are used.

Then, the structure of the Electric Power Systems of the Andean Rajo Mine (Electric Loop) is studied. This section describes the most relevant equipment, components and loads of the electrical system.

All SCADA systems and communications networks are studied, since SCADA systems are based on the principle of operation and communication through the TCP / IP protocol and the process networks are linked to the computer networks to facilitate the Access to information from any computer to authorized users.

It analyzes all the existing information of the current system, so that, it is possible to appreciate the faults and irregularities presented by the SCADA system.

Finally, we show the results obtained, ranging from the improvement and standardization of Spectrum Power5 software screens. Until the establishment of communication between: The general SCADA system; Control Room 4th Floor and Maneuver Station 1.

Índice general

Índice de Figuras.....	1
Índice de Tablas	1
Introducción.....	1
1 Antecedentes generales	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Contexto.....	2
1.3 Procesos	3
1.3.1 Perforación.....	5
1.3.2 Tronadura	6
1.3.3 Carguío	6
1.3.4 Transporte.....	7
1.4 Maquinarias utilizadas en la Mina Rajo.....	7
1.5 Problemática	9
1.6 Alcances de la Memoria.....	10
1.7 Objetivo General	10
1.8 Objetivos Particulares.....	10
1.9 Propuesta de Trabajo.....	10
1.10 Conclusiones	11
2 Loop Eléctrico Mina Rajo	12
2.1 Introducción.....	12
2.2 Topografía del Loop Eléctrico.....	12
2.3 Descripción de Componentes SEP MRA.....	15
2.3.1 Estaciones de maniobra (EM1 y EM2)	15
2.3.2 Sub-Estaciones Eléctricas Móviles (EM1 y EM2)	15
2.3.3 Centros de distribución móviles (CDM1 y CDM2)	16
2.3.4 Tipos de cable y niveles de tensión.....	17
2.3.5 Cargas	18
2.4 Conclusiones	19

3 Redes y Comunicaciones.....	20
3.1 Introducción.....	20
3.2 Redes de computadoras	20
3.3 Tipos de redes	20
3.3.1 HAN	20
3.3.2 LAN	21
3.3.3 CAN.....	21
3.3.4 MAN.....	21
3.3.5 WAN.....	21
3.4 Arquitectura de Redes	21
3.5 Modelo de Referencia OSI.....	24
3.5.1 Capa Física	24
3.5.2 Capa de Enlace	24
3.5.3 Capa de Red	25
3.5.4 Capa de Transporte	25
3.5.5 Capa de sesión	25
3.5.6 Capa de Presentación.....	26
3.5.7 Capa de Aplicación.....	26
3.6 El protocolo TCP/IP.....	26
3.6.1 Capa de Acceso a la Red.....	27
3.6.2 Capa de Internet.....	28
3.6.3 Capa de Transporte	29
3.6.4 Capa de aplicación	31
3.7 Direccionamiento IP.....	32
3.7.1 Clases de direcciones IP.....	32
3.7.2 Subredes.....	34
3.8 Redes Privadas.....	35
3.9 Cables y conectores	35
3.10 Conclusiones	36
4 Sistemas SCADA	38
4.1 Introducción.....	38
4.2 Sistemas SCADA.....	38
4.3 Estructura y componentes de un sistema SCADA	39
4.4 Software de un sistema SCADA	41
4.5 Sistema SCADA Actual Mina Rajo Andina.	42
4.6 Estaciones de Maniobra EM1 y EM2.....	44
4.7 Conclusiones	45
5 Propuesta e Implementación.....	46
5.1 Introducción.....	46
5.2 Estandarización del diseño de pantallas.....	46
5.3 Contraste de pantallas.....	48

5.4 Creación de las Pantallas Mina Rajo Andina	58
5.4.1 Pantalla EM1 y SEM1	58
5.4.2 Pantallas EM2 y SEM2	59
5.4.3 Centros de Distribución Móvil	60
5.5 Configuración de Enlaces Propuestos	61
5.6 Antena Radiofrecuencia Radwin 2000	62
5.7 Cálculo estimado del enlace de radiofrecuencia	63
5.7.1 Pérdidas en el espacio libre (FSL)	63
5.7.2 Zona de fresnel	64
5.7.3 Presupuesto de potencia	64
5.8 Conexión interior de estaciones de maniobra	66
5.9 Conexión de los CDM	67
5.10 Configuración RTU	68
5.11 Direccionamiento IP estático de las RTU	70
5.12 Visualización de Gráficas Históricas	71
5.13 Corroboración de Mediciones	74
A Bibliografía	78
B Glosario	79
C Anexo de Protocolos	81
D Spectrum Power 5	85
D.1 Herramientas	85
D.3 Inicio de Sesión (Log-on / Log-off)	86
D.4 Despliegues Gráficos	88
D.5 Resumen de alarmas	88
D.6 Runtime Explorer	89
D.7 Sistema de Información Histórica (HIS)	90
E Ingreso a IMM	94
F Cálculo de enlace inalámbrico	100
F.1 Pérdida en el espacio libre	100
F.1.1 A la frecuencia de 2.4 [GHz] la pérdida en el espacio libre en decibelios es:	100
F.2 Presupuesto de Potencia	100
F.3 Pérdidas en el Cable	101
F.4 Pérdidas en los conectores	101
F.5 Zona de Fresnel	101

Indice de Figuras

Figura 1-1: Mapa satelital Mina a Rajo Codelco Andina – Fuente, Google Earth.....	3
Figura 1-2: Puntos principales Mina a Rajo Andina– Fuente, Codelco Chile.	3
Figura 1-3: Diagrama de procesos de Minera Andina – Fuente, Codelco Chile	4
Figura 1-4: Diagrama de procesos realizados en la Mina a Rajo - Fuente, elaboración Propia.	5
Figura 1-5: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.	7
Figura 1-6: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.	8
Figura 1-7: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina	9
Figura 1-8: Esquema básico de trabajo – Fuente, elaboración propia.	11
Figura 2-1: Topografía Mina Rajo Andina, Indicando puntos importantes del Loop Eléctrica- Fuente, Codelco Chile.....	13
Figura 2-2: Diagrama unilineal simplificado del Loop Eléctrico-Fuente, elaboración propia.	14
Figura 2-3: Estaciones de maniobra, extracto del plano original-Fuente, Codelco Andina.....	15
Figura 2-4: Subestaciones eléctricas móviles SEM1 y SEM2-Fuente: CODELCO Andina	16
Figura 2-5: Centro de distribución móvil CDM1-Fuente, Codelco Andina	17
Figura 2-6: Trineo de conexión de cable minero a cargas – Fuente, Elaboración Propia.....	18
Figura 2-7: Pala eléctrica XPC 4100 P&H – Fuente, Catálogo P&H.	18
Figura 2-8: Perforadora PIT VIPER 351 de ATLAS COPCO – Fuente, Codelco Andina.	19
Figura 3-1: Capas protocolos e interfaces – Fuente, [7].	22
Figura 3-2: Ejemplo del flujo de información virtual – Fuente, [7].	23
Figura 3-3: Modelo de referencia OSI – Fuente, elaboración propia.....	24
Figura 3-4: Modelos OSI, TCP/IP y Estándares 802-Fuente, http://es.ccm.net	27
Figura 3-5: Formato Datagrama IP – Fuente, elaboración propia.....	28
Figura 3-6: Representación del formato de mensaje UDP – Fuente, elaboración propia.	29
Figura 3-7: Campos de cabecera para un segmento TCP – Fuente, [13].	30
Figura 3-8: Establecimiento de una comunicación TCP – Fuente, elaboración propia.	31
Figura 3-9: Solución de direcciones de Red y Host – Fuente, elaboración propia.	33
Figura 3-10: Creación de 4 subredes dentro de una Red de clase C – Fuente, elaboración propia.	34
Figura 3-11: Bits utilizados por las subredes, Red de clase C – Fuente, elaboración propia.....	35
Figura 4-1: Estructura básica de un sistema de supervisión y mando – Fuente, [1].	39
Figura 4-2: Estructura de los Sistemas SCADA – Fuente, elaboración propia.	40
Figura 4-3: Sistema General SCADA mina a Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.....	42

Figura 4-4: Diagrama de conexiones del sistema SCADA general – Fuente, Codelco Andina.	43
Figura 4-5: Estructura del Sistema SCADA de la estación de maniobra – Fuente, Codelco Andina..	44
Figura 5-1: Sala eléctrica Don Luis Nivel 8 antes de la edición – Fuente, elaboración propia.	48
Figura 5-2: Sala eléctrica Don Luis Nivel 8 antes de la edición– Fuente, elaboración propia.	49
Figura 5-3: Subestación Eléctrica cordillera antes de la modificación– Fuente, elaboración propia.	50
Figura 5-4: Subestación Eléctrica Cordillera después de la modificación– Fuente, elaboración propia.	51
Figura 5-5: Sala Eléctrica F antes de la modificación– Fuente, elaboración propia.	52
Figura 5-6: Sala Eléctrica F después de la edición– Fuente, elaboración propia.	52
Figura 5-7: Sala Eléctrica SAG antes de la edición– Fuente, elaboración propia.	53
Figura 5-8: Sala Eléctrica SAG después de la edición– Fuente, elaboración propia.	53
Figura 5-9: Estación de Bombeo 1 y 2 antes de la Modificación– Fuente, elaboración propia.	54
Figura 5-10: Estación de Bombeo 1 y 2 después de la Modificación– Fuente, elaboración propia.	54
Figura 5-11: Sala GIS Nivel 17 Antes de Modificación– Fuente, elaboración propia.	55
Figura 5-12: Sala GIS Nivel 17 después de Modificación– Fuente, elaboración propia.	55
Figura 5-13: Subestación Eléctrica Mina antes de Modificación– Fuente, elaboración propia.	56
Figura 5-14: Subestación Eléctrica Mina después de la modificación– Fuente, elaboración propia.	56
Figura 5-15: Sala Eléctrica Molinos Antes de la Modificación– Fuente, elaboración propia.	57
Figura 5-16: Sala Eléctrica Molinos después de la modificación– Fuente, elaboración propia.	57
Figura 5-17: Pantalla creada para EM1 y CDM1– Fuente, elaboración propia.	58
Figura 5-18: Pantalla creada para EM2 y SEM2– Fuente, elaboración propia.	59
Figura 5-19: Pantalla creada para CDM1– Fuente, elaboración propia.	60
Figura 5-20: Pantalla creada para CDM– Fuente, elaboración propia.	60
Figura 5-21: Estado Actual de las comunicaciones Minera Andina– Fuente, elaboración propia.	61
Figura 5-22: Esquema de conexión del equipo de radiofrecuencia Radwin 2000 – Fuente, Fabricante.....	62
Figura 5-23: Conexión Propuesta a futuro– Fuente, elaboración propia.	65
Figura 5-24: Conexionado actual Mina Rajo Andina– Fuente, elaboración propia.	66
Figura 5-25: Conexionado, acotaciones Estaciones de Maniobra– Fuente, elaboración propia.	67
Figura 5-26: Conexionado de referencia para CDM– Fuente, elaboración propia.	67
Figura 5-27: Prueba de comunicación desde servidor web con RTU EM1– Fuente, elaboración propia.	70
Figura 5-28: Prueba de comunicación desde servidor web con RTU EM2– Fuente, elaboración propia.	71
Figura 5-29: Gráfica de corrientes EM1, lado de 33 [Kv] – Fuente, elaboración propia.	71
Figura 5-30: Tensiones de fase EM1 lado 33 [KV] – Fuente, elaboración propia.	72
Figura 5-31: Tensiones de Línea EM1, lado de 33[KV] – Fuente, elaboración propia.	72

Figura 5-32: Potencia activa, Tensión y Corriente. Considerando una fase– Fuente, elaboración propia.	73
Figura 5-33: Potencia Reactiva, Tensión y Corriente. Considerando una fase– Fuente, elaboración propia.	73
Figura 5-34: Potencia Activa y Reactiva, Tensión y Corriente. Considerando una fase– Fuente, elaboración propia.	74
Figura 5-35: Comparación Potencias Activas Medidas y calculadas– Fuente, elaboración propia.	74
Figura 5-36: Comparación potencias reactivas medidas y calculadas– Fuente, elaboración propia.	75
Figura D-1: Barra de herramientas PAT predeterminada – Fuente, elaboración propia.	86
Figura D-2: Barra de inicio de sesión– Fuente, elaboración propia.	86
Figura D-3: Ventana de inicio de sesión– Fuente, elaboración propia.	87
Figura D-4: Ventana de confirmación de inicio de sesión – Fuente, elaboración propia.	87
Figura D-5: Despliegues de acceso rápido a las pantallas del SCADA Andina– Fuente, elaboración propia.	88
Figura D-6 Resúmen de alarmas del Spectrum Power 5– Fuente, elaboración propia.	89
Figura D-7: Runtime Explorer– Fuente, elaboración propia.	90
Figura D-8: Sistema de información Histórica para generar gráficas– Fuente, elaboración propia.	91
Figura D-9: Sección del HIS para seleccionar rango de tiempo a visualizar– Fuente, elaboración propia.	91
Figura D-10: Tensión efectiva barra de 33 [kV], ciclo de muestreo de 15 [s] – Fuente, elaboración propia.	92
Figura D-11: Tensión efectiva barra de 33 [kV], ciclo de muestreo de 150 [s] – Fuente, elaboración propia.	92
Figura E-1: Ingreso a escritorio remoto – Fuente, elaboración propia.	94
Figura E-2: Ingreso a Estación de ingeniería desde servidor web – Elaboración propia.	95
Figura E-3: Ingreso a Barra de herramientas PAT desde estación de ingeniería -Fuente, elaboración propia.	95
Figura E-4: Creación de New Job – Fuente, elaboración propia.	96
Figura E-5 Ingreso al Editor gráfico – Fuente, elaboración propia.	96
Figura E-6: Editor gráfico - Fuente, elaboración propia.	97
Figura E-7 Pantalla de una subestación eléctrica del Worldmap – Fuente, elaboración propia.	97
Figura E-8: Revisión de enlaces entre elemento gráfico y de red – Fuente, elaboración propia.	98
Figura E-9: Revisión de enlace con TAG en el árbol de instancias – Fuente, elaboración propia.	98
Figura E-10: Validación, Activación y Finalización del Job – Fuente, elaboración propia.	99
Figura F-1: Zona de Fresnel con y sin obstáculos.	101

Indice de Tablas

Tabla 1-1: Equipos existentes en la Mina a Rajo Andina	9
Tabla 2-1: Tipos de cables mineros existentes en el Loop.....	17
Tabla 3-1: Las tres clases de direcciones IP más comunes.....	33
Tabla 3-2: Resumen de los cables utilizados para interconexión de sistemas SCADA.	36
Tabla 5-1: Tabla de estandarización de los elementos que componen las pantallas del SCADA. 47	
Tabla 5-2: Frecuencias de enlace y ganancia de antena.....	63
Tabla 5-3: Pérdidas en el espacio libre variando la frecuencia de transmisión.....	63
Tabla 5-4: Radio o zona de Fresnel al variar la frecuencia	64
Tabla 5-5: Tabla Resumen Cableado y protocolos Mina Rajo.	68
Tabla 5-6: Entradas y Salidas RTU (Análogas, digitales).....	69
Tabla 5-7: Tabla de entradas Análogas de Tensiones y Corrientes.....	69
Tabla 5-8: Tabla de direccionamiento IP.	70
Tabla C-1: Tabla de protocolos más utilizados en sistemas SCADA eléctricos y de proceso.	84

Introducción

La minería es un proceso que generalmente se realiza en lugares peligrosos a grandes distancias y en áreas extendidas. Existen dos tipos de minería, la minería a rajo abierto y la minería subterránea, dentro de las cuales, se desarrolla el proyecto en la Minera a Rajo Abierto Andina. La Mina a Rajo Abierto está ubicada a casi 4000 [m] de altura por sobre el nivel del mar en la región de Valparaíso. A ello se suma, el clima adverso, bajas temperaturas, gran acumulación de nieve en terreno.

En la actualidad, el procedimiento necesario para la obtención de estos reportes y gráficas, en la Mina Rajo Andina, requiere que personal autorizado acuda a la sala eléctrica respectiva. Provocando que se deba disponer de recursos humanos para realizar estas labores, ralentizando otras tareas. Además al ser necesario que el personal acuda a terreno a efectuar las mediciones respectivas, genera un alto riesgo durante su trayectoria. Esto debido a que, las condiciones topográficas y climáticas, lo vuelven impredecible. Finalmente debe sumarse el riesgo de la intervención en una celda de Media tensión en 33[KV].

Los sistemas SCADA permiten obtener reportes y gráficas de las variables eléctricas más relevantes en un SEP, permitiendo de esta manera, generar acciones preventivas ante un comportamiento anormal, sin necesidad de que el personal deba acudir hasta el punto en donde se presenta la falla.

Se necesita habilitar la sala de control, ubicada el 4° piso, destinada al monitoreo y control de los SEP de la Mina Rajo Andina; Generar la comunicación Física y lógica con el SCADA General y las Estaciones de Maniobra ubicadas en el Rajo; Crear las pantallas (Diagramas eléctricos) en el software Spectrum Power5 y finalmente estandarizar el diseño de todas ellas.

Para lograr esto, se debería revisar la estructura existente, tanto física y lógica, identificando los puntos en que se presentan fallas o errores. Luego, continuar con el restablecimiento y creación de los enlaces necesarios para hacer efectiva la comunicación. Una vez que se logra la comunicación, se usarán los manuales del Software que entrega el fabricante, para proceder a la estandarización del diseño y creación de las pantallas no existentes. De esta forma, se logrará la visualización de las variables eléctricas relevantes (Tensión, corriente y potencias) de las Estaciones de Maniobra de la Mina Rajo Andina.

1 Antecedentes generales

1.1 Introducción

Se debe tener un pequeño conocimiento acerca de los procesos productivos mineros. Estos se caracterizan por las adversidades geográficas y climáticas, poniendo en constante riesgo la operación y al personal encargado de ella.

Se deben definir claramente los objetivos, alcances y lo que se pretende lograr con la implementación de mejoras al sistema SCADA actual de la Minera a Rajo Andina.

1.2 Contexto

La mina está ubicada en la Cordillera de los Andes, a 50 Km al noreste de Santiago, entre 3.700 y 4.200 metros de altura sobre el nivel del mar, a unos 30 kilómetros de la carretera internacional a Mendoza (Argentina) desde el poblado de Río Blanco, y a unos 50 kilómetros de la ciudad de Los Andes, Provincia de Aconcagua

Dado que la Mina se encuentra en plena cordillera, desde inicios las operaciones industriales de la División han implicado un desafío de ingeniería a la naturaleza. Por ello, el complejo de la mina y la planta concentradora son subterráneos, cuyas instalaciones y equipos fueron construidos en grandes cavernas para funcionar inclusive durante el invierno; agregándose años más tarde la mina a rajo abierto. Además está integrado por el edificio de Lagunitas, centro de operaciones de la Unidad Caminos y Nieve; el campamento Saladillo, y una canaleta de relaves de 89 kilómetros hasta el tranque Ovejería, constituyendo más de 6000 hectáreas de propiedad minera.

Según las coordenadas, Andina se localiza en la latitud 33° 8' correspondiendo geográficamente al valle de Aconcagua que se encuentra entre las provincias de San Felipe y Aconcagua. Esta última tiene por capital la ciudad de Los Andes. Como provincia limita al norte y al oeste con la provincia de San Felipe, al sur con la provincia de Chacabuco (Región Metropolitana), y al este con la línea fronteriza dada por la Cordillera de los Andes.

Por lo general, caen unos 15 a 20 metros de nieve al año y la temperatura baja a -12°. Durante frentes de mal tiempo se ocasionan graves aludes en el invierno. También se produce “Viento Blanco”, hay hielo y frío.

En la figura 1-1 se muestra una fotografía digital obtenida desde el programa Google Earth, para observar la extensión de la mina y su estructura de explotación a rajo abierto. En ésta fotografía, se pueden apreciar, a grandes rasgos, la forma y estructura de los caminos y bancos de la mina. Para tener una medición aproximada de la mina, se debe utilizar una herramienta del programa, obteniéndose las dimensiones de 1,5 – 2 km de largo y 1 – 1,5 km de ancho.



Figura 1-1: Mapa satelital Mina a Rajo Codelco Andina – Fuente, Google Earth.

En la Figura 1-1 sólo se muestra un mapa satelital de la mina sin indicar lugares o puntos relevantes dentro de ella. Para conocer algunos de los puntos relevantes dentro de la mina, se presenta la figura 1-2.

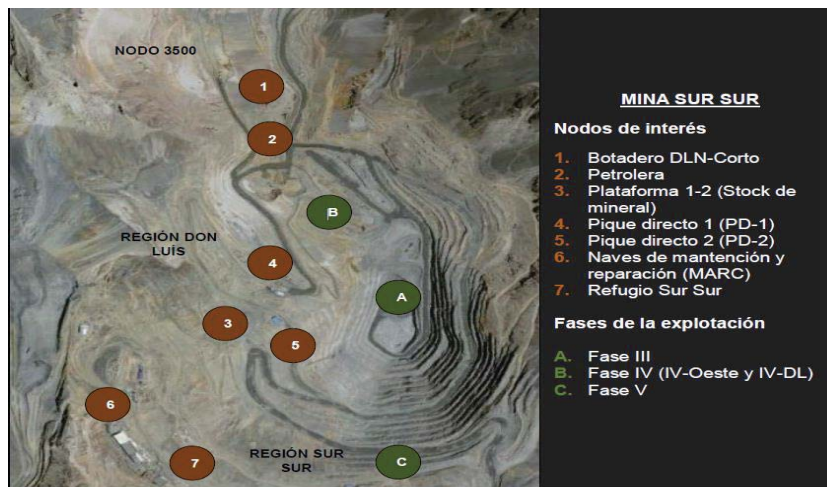


Figura 1-2: Puntos principales Mina a Rajo Andina– Fuente, Codelco Chile.

1.3 Procesos

A modo de ejemplo, se muestra un diagrama de procesos general de todas las operaciones de la Mina Codelco Andina (Ver Figura 1-3). En donde se unifican o combinan los procesos de minería subterránea y minería a rajo abierto.

1 Antecedentes generales

En la Minera Codelco – División Andina se fabrican principalmente 2 productos o materias primas, los cuales corresponden a Concentrado de cobre y Concentrado de Molibdeno.

Considerando que la faena Minera está ubicada en la cordillera de Los Andes y pensando en las paralizaciones debidas al crudo invierno y a las bajas temperaturas, la planificación del Rajo está prevista en 325 días, programando un movimiento de 58 kilo toneladas por día (ktpd), para generar stock que alimente la planta durante las paralizaciones.

Minera Andina al 2015 cuenta con reservas totales (Reservas Probadas más Reservas Probables) de 986 Mega toneladas [Mt] con una ley de 0,75 % y cobre fino de 7,4 [Mt]. Produciendo anualmente al año 2015, la cantidad de 224.264 toneladas métricas de fino (tmf) de concentrado de cobre y 5717 [tmf] de concentrado de molibdeno.

En la esquina superior izquierda de la Figura 1-3, se muestra un diagrama de procesos con los abastecimientos de mineral por parte de la mina a rajo y en la esquina superior derecha de ésta se observa el abastecimiento de mineral por parte de la mina subterránea. El depósito de mineral, es realizado mediante los camiones CAEX en los piques directos (Pique directo 1 y pique directo 2) hacia la primera etapa de procesos ubicada en la planta subterránea. En Don Luis se encuentra el chancado primario, el cual descarga por el sistema de transporte de mineral a través de correas hacia la planta SAG y a la concentradora. Esta última consiste en 3 grandes sistemas de procesos: Una planta de chancado secundario terciario, una planta de molienda unitaria y una planta de flotación con remolienda de concentrado y espesamiento de relaves. La planta de chancado secundario-terciario, básicamente consiste en un sistema de 3 chancadores de 1000 [HP], un chancador secundario y chancadores terciarios que reducen considerablemente el tamaño del mineral. La planta de molienda unitaria, se trata de una instalación cuyo equipo principal es un molino de bolas de 18.000 [HP], 25 pies de diámetro y 37 pies de largo.

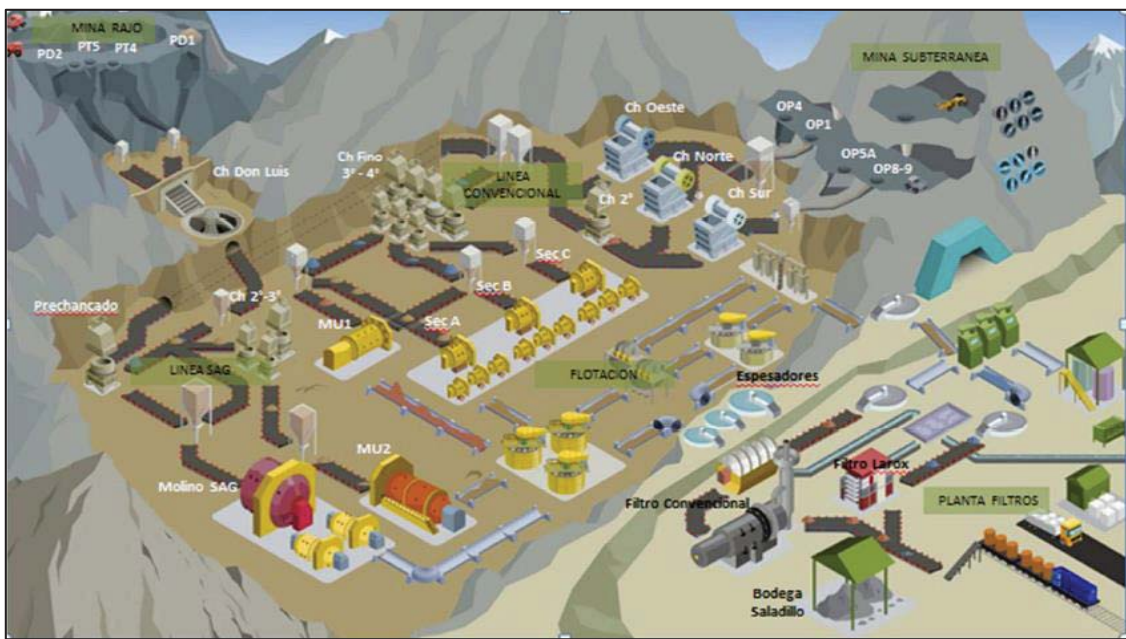


Figura 1-3: Diagrama de procesos de Minera Andina – Fuente, Codelco Chile

El producto de la molienda se envía a las plantas de flotación, que consiste en 8 celdas de flotación primaria con capacidad de 130 [m³] cada una. Existe además un circuito de remolienda de concentrado primario, constituido por 2 molinos de torre de 1250 [HP]. Con esto se logra hacer un circuito de remolienda centralizada de los concentrados provenientes de las plantas de flotación.

El requerimiento de agua se satisface con el espesador de relaves de alta densidad, que permite obtener un porcentaje en peso de sólido cercano al 60%. Los relaves son espesados en 3 espesadores, los cuales son transportados por un sistema de canaleta de 85 [Km] de largo hacia el embalse Ovejería. En el tramo de este trayecto, se encuentran ubicadas piscinas impermeables con objeto de ante algún derrame de relaves no produzcan impacto ambiental negativo.

Para el transporte desde el concentrador a la planta de Molibdeno, están los estanques de almacenamiento, cuya descarga alimenta la planta de molibdeno. Finalmente el molibdeno es cargado en camiones para ser llevado a su proceso final fuera de las instalaciones de Andina.

Por último el concentrado de cobre es transportado hacia su proceso final de embarque o a la refinería de Ventanas.

En la Mina a Rajo Abierto se desarrollan principalmente cuatro procesos relevantes, los cuales son mostrados por la Figura 1-4, en orden de prioridad.

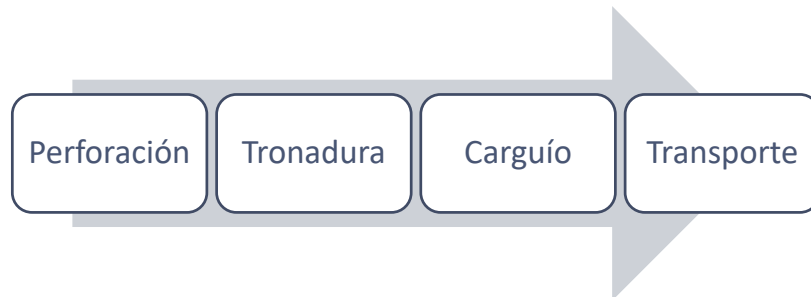


Figura 1-4: Diagrama de procesos realizados en la Mina a Rajo - Fuente, elaboración Propia.

El producto principal de este proceso es la entrega de mineral para ser procesado en la planta concentradora. Luego de la etapa de transporte el mineral es depositado en los llamados Piques directos (PD1 y PD2), los cuales consisten en ductos ubicados en la mina, cuya ubicación puede ser apreciada en la figura 1-2. Luego, el mineral cae por acción de la fuerza de gravedad hasta la planta de beneficio, en donde continúa el proceso hasta obtenerse el concentrado de cobre y molibdeno.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las etapas que componen el proceso en la Mina a Rajo

1.3.1 Perforación

Las perforaciones son realizadas en los bancos, las cuales deben estar a distancias regulares entre sí, generalmente entre 8 y 12 [m] (Lo que constituye una malla de perforación). La idea es que la

perforación atraviese toda la altura del banco para que, al introducirse los explosivos, la detonación permita fragmentar la roca.

Para realizar las perforaciones, se utilizan perforadoras eléctricas de gran tamaño, las cuales en el caso de minera andina corresponden a las siguientes: Perforadora Pit Viper 351, Perforadora DMM3, Perforadora MD6540, Perforadora ROC L-8. Estas perforadoras están equipadas con barrenos de carburo tungsteno de 12 ¼ [in] de diámetro, los que permiten perforar agujeros de 15 [m] de longitud en sólo 20 [min].

1.3.2 Tronadura

En cada agujero realizado en la etapa de perforación, se cargan los explosivos junto a un detonador eléctrico, que se acciona de manera remota. Se establece una secuencia de detonación de los distintos agujeros, de manera que la roca sea fragmentada en etapas, iniciando en la cara expuesta del banco hacia adentro. Además, deben existir pequeñas diferencias de tiempo entre cada detonación del orden de los deci-segundos.

Lo que se pretende obtener con las explosiones secuenciales desfasadas es una roca con un diámetro no mayor al metro, que permita ser cargada con facilidad por las palas eléctricas o hidráulicas (Pala P&H o Pala PC 5500) cuya capacidad por balde es de aproximadamente 100[ton] y transportada por los camiones de extracción (Camiones KOMATSU 930E y Camiones CAT 795 F AC) cuya capacidad es de aproximadamente 300 [ton]. Posteriormente, estos camiones alimentan los piques directos (PD1 y PD2) mediante ductos hasta el chancador primario, en donde se inicia el proceso de reducción de tamaño en un sistema en línea hasta llegar a la planta de tratamiento.

1.3.3 Carguío

El material tronado es cargado en los camiones CAEX (Camión de Extracción, descritos anteriormente) que tienen una capacidad en peso de aproximadamente 300 [ton] mediante las palas eléctricas P&H o cargadores frontales (L-1850 o L-1400).

Como se mencionó anteriormente, las palas eléctricas tienen una capacidad por balde de aproximadamente 100 [ton] de material. Estas palas son capaces de realizar los siguientes movimientos:

- Propel : Hace referencia al avance y retroceso de la Máquina
- Swing : Corresponde al giro que puede realizar con respecto a su base
- Crowd : Corresponde a la fuerza de empuje que puede realizar la pala hacia adelante para cargar el mineral en el balde.
- Hoist : Complementaria a la función anterior. Una vez que la pala penetra en el material se necesita la Fuerza de levante que lleva este nombre.

Una pala necesita un frente de carguío de por lo menos 65 [m] y en teoría debe cargar camiones que se van colocando alternadamente a cada lado de ella, lo cual no siempre es posible de realizar en la práctica.

1.3.4 Transporte

Acá es donde juegan un papel fundamental los CAEX debido a que son los encargados de transportar el mineral desde el banco de explotación hasta los PD1 o PD2. Es de esencial importancia que los camiones estén disponibles la mayor cantidad del tiempo planificado, debido a que si se generan fallas imprevistas, la producción tiende a caer y no se cumplen los planes de producción. Como se mencionaba anteriormente, los camiones tienen una capacidad en peso de 300 [ton] que, si bien es cierto, nunca se tiene la precisión adecuada por parte del operador para cargar exactamente esa cantidad de material. Estos camiones no solamente transportan el material de buena ley hacia los Piques Directos, también deben transportar el material estéril (Material sin contenido de cobre) a los botaderos o el material con baja ley de cobre a los botaderos especiales, en los cuales se procesará el material de una forma distinta para otros fines.

El proceso de la minería es mucho más extenso, pero para no hacer engorrosa la explicación, sólo se presentan los procesos más relevantes para tener una idea global del proceso. Por otro lado, se mencionaron 2 equipos que tienen gran relevancia en el ámbito eléctrico, los cuales son: Las Palas eléctricas que son alimentadas en 7,2[kV] y las perforadoras que también son alimentadas en el mismo nivel de tensión. El hecho de mencionar estos equipos, abre la puerta para explicar cómo llega la energía a estos dispositivos y entrar a los Sistemas eléctricos de potencia en la Mina, los cuales se describen en el siguiente capítulo.

1.4 Maquinarias utilizadas en la Mina Rajo

En la figura 1-5, se muestra la perforadora PIT VIPER y el generador eléctrico VATIOTRON. La primera, se encarga de realizar cortes de bancos, mientras que el generador, es utilizado en el transporte de las palas eléctricas alimentadas en 7,2 [kV].



Figura 1-5: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.

En la figura 1-6, se muestra una pala eléctrica de cable, alimentada en 7,2 [kV]. Luego, se muestra un camión de extracción, el cual se carga mediante la pala de cable.



Figura 1-6: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.

Las Máquinas mostradas en la figura 1-7, corresponden a una motoniveladora, que permite emparejar el camino de nieve y un cargador frontal, utilizado para cargar los camiones de extracción.



Figura 1-6: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina.

Finalmente, en la figura 1-7, se muestra una perforadora de rocas y un Wheeldozer. La primera, utilizada para disminuir el tamaño de rocas grandes y el segundo para despejar o realizar caminos.



Perforadora DMM3



Wheeldozer WD 600-3

Figura 1-7: Máquinas Mina Rajo Andina – Fuente, Codelco Andina

Aquellos equipos, que no aparecen en las imágenes, pero utilizados de igual forma en las faenas mineras de Andina, se mencionan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Equipos existentes en la Mina a Rajo Andina

Equipos Existente en Mina a Rajo Andina		
Camiones KOMATSU 930 E	Perforadora MD6540	Wheeldozer 834K
Camiones CAT 795 F AC	Perforadora ROC L-8	Wheeldozer 854K
PALA PC 5500	Tractores D375A	Moto 24M
PALA P&H	Tractores D475A	Cargador WD 500-3
Cargador frontal L-1850	Motoniveladoras 825	Excavadora PC300LC-7 EO
Cargador frontal L-1400	Wheeldozer WD 600-3	Excavadora PC600LC-7 EO
Perforadora PIT VIPER 351	Wheeldozer WD 900-3	Camión RegaHD785A-7 WT
Perforadora DMM3	Tractores D11T	Camión Regador 777 GWT

1.5 Problemática

Actualmente los sistemas de monitoreo, control y supervisión se encuentran fuera de servicio. Al no existir una comunicación, de manera remota, el procedimiento necesario para obtener un reporte, medición, o tendencia de alguna variable relevante en el tiempo, consiste en lo siguiente:

El personal, debidamente autorizado, debe movilizarse en un vehículo de tracción 4x4 hasta el lugar en donde se presenta la falla; conectarse a través de un computador vía puerto serial al relé respectivo; finalmente debe descargar el reporte de falla o lo necesario para realizar el informe y finalmente volver a la oficina. Durante éste trayecto se incurre en riesgos, tales como: Los riesgos relativos a las condiciones climáticas y del terreno, el tránsito constante de maquinaria de gran envergadura, el ingreso y conexión al relé de una celda de media tensión y la pérdida de tiempo del recurso humano utilizado para realizar esta labor.

1.6 Alcances de la Memoria

Dentro de los temas que se pretende abordar en la memoria, se encuentran: La estandarización de las todas las pantallas del Sistema SCADA de Andina y la creación de las pantallas (Esquemas eléctricos) que servirán para supervisar y monitorear el Rajo. Junto a ello, se pretende revisar que cada elemento se encuentre correctamente enlazado con sus respectivos TAG, en el árbol de instancias jerárquico del IMM, donde se realizan todas las modificaciones del Software.

La creación o reparación de enlaces de comunicaciones escapa del alcance de la memoria. Debido a que no se tiene autorización para intervenir dispositivos y generar comunicaciones a nivel de la capa física (conexionado de cables, conectores y Switch). Mediante una empresa externa, se pretende reparar los enlaces rotos y efectuar aquellos que sean necesarios, de manera que se habilite el sistema SCADA para la visualización de medidas y generación de gráficas con datos históricos. En caso contrario solamente se considera el diseño y estandarización de pantallas.

1.7 Objetivo General

Proponer e implementar mejoras al Sistema SCADA de los SEP de la Mina a Rajo Andina a nivel de software y conexión con RTU de EM1 y EM2.

1.8 Objetivos Particulares

- Mejoramiento y estandarización de diseño de las pantallas actuales del sistema SCADA.
- Creación de las pantallas correspondientes a las instalaciones de potencia de la Mina Rajo.
- Propuesta de conexión física para los dispositivos de Mina Rajo.
- Visualización de gráficas Históricas de Tensión, Corriente, Potencia Activa y Reactiva.

1.9 Propuesta de Trabajo

La propuesta de trabajo consistirá en plantear de manera aproximada los puntos más relevantes, que se pretenden solucionar, de manera cronológica. El tiempo utilizado en cada tarea dependerá de la dificultad que ésta pueda presentar y de factores como: Disponibilidad de personal o herramientas, tiempos necesarios para reparación por parte de empresas externas, condiciones climáticas, entre otros. En la figura 1-8, se muestra un esquema básico de trabajo, en orden cronológico, con los puntos relevantes a tratar.



Figura 1-8: Esquema básico de trabajo – Fuente, elaboración propia.

1.10 Conclusiones

En el ámbito, de la ubicación geográfica de la Mina Rajo Andina y de las grandes adversidades climáticas que se presentan, se logra comprender el gran riesgo al que se ve expuesto el personal, para obtener algún reporte de falla o medición en un determinado punto del SEP.

Se dejan claros los puntos posibles de abordar, ya que existen protocolos al interior de la empresa, que limitan a los estudiantes memoristas, a realizar trabajos netamente de investigación y propuesta.

Queda claro que, el objetivo principal de esta memoria depende del apoyo de una empresa externa. La cual debe reparar los enlaces físicos de comunicación y además crear aquellos enlaces que sean necesarios, habilitando la sala de operación del 4° piso de la Mina Rajo Andina, para que se proceda al trabajo en el software Spectrum Power5 de estandarización y creación de pantallas.

2 Loop Eléctrico Mina Rajo

2.1 Introducción

Se denomina Loop Eléctrico al sistema que abastece a la Mina a Rajo Andina en 33 [kV], con una extensión aproximada de 32 [km]. El sistema consta de 3 niveles de tensión relevantes, los cuales son: 7,2 [kV], 13,2 [kV] y 33[kV], además de los niveles en baja tensión iguales o inferiores a 1 [kV].

En el presente capítulo se muestra el diagrama unilineal de la Mina a Rajo Andina, explicando aquellos componentes e instalaciones de mayor relevancia, además de las cargas o consumos a los que se debe abastecer.

2.2 Topografía del Loop Eléctrico

En cuanto a la descripción del sistema eléctrico de potencia de la Mina a Rajo Andina, no se pretende entrar en detalles minuciosos. Solo se muestran las partes más relevantes en cuanto a los equipos que se relacionan con el sistema SCADA. Estos equipos se encuentran ubicados en su mayoría en las estaciones de maniobra (EM), subestaciones eléctricas móviles (SEM) y en las estaciones de control.

En la figura 2-1 se muestra un Mapa con la topografía general de la Mina, Se enmarcan en color negro los puntos más importantes que componen el Loop Eléctrico. En primer lugar están las EM (Estaciones de maniobra), las cuales son alimentadas en 33[Kv] desde el interruptor de potencia 52 de la Sub-Estación cordillera. Las estaciones de maniobra EM1 y EM2 están compuestas de interruptores de potencia 52E, comandados mediante los relés General Electric F60 Multilin. Estos últimos, revisten importancia para la configuración del sistema SCADA, ya que, son los dispositivos de campo que permiten actuar sobre el sistema eléctrico de potencia.

Siguiendo la trayectoria del circuito eléctrico, aguas abajo de las EM, se encuentra un interruptor de potencia comandado por un relé de protección RET-543 de ABB. Éste alimenta un transformador, de potencia aparente nominal de 8 [MVA], que cumple la función de transformador reductor, pasando del nivel de tensión de alimentación en 33 [Kv] a 7,2 [kV]. Desde el transformador se alimenta otro interruptor de potencia, esta vez comandado por el relé REF-543 de ABB. Con este nivel de tensión son alimentadas las unidades móviles denominadas CDM (Centro de Distribución Móvil)

En los centros de distribución móviles, se encuentran interruptores de potencia, comandados por relés GE F60 Multilin. Estos, corresponden a dispositivos de campo, desde la terminología de un sistema SCADA. Desde los centros de distribución móvil, se alimentan las 2 palas eléctricas P&H, de una potencia nominal aproximada de 4,5 [MVA] y las perforadoras eléctricas PIT VIPER 351, de una potencia aproximada de 1,5[MVA]. Cada CDM tiene la capacidad de alimentar una Pala y una Perforadora a la vez, pero no tiene la capacidad de alimentar 2 palas a la vez debido a la potencia nominal para la cual fue diseñado el CDM de 5849 [KVA]. En Ambos CDM se cuenta con un alimentador de reserva en caso de falla de alguno de los otros dos. La Figura 2-2 muestra un diagrama unilineal simplificado del Loop eléctrico de la MRA, en el cuál se esquematizan las partes del SEP, de interés para el tema de investigación, que comprende las ramas desde las estaciones de maniobra EM hasta los CDM.

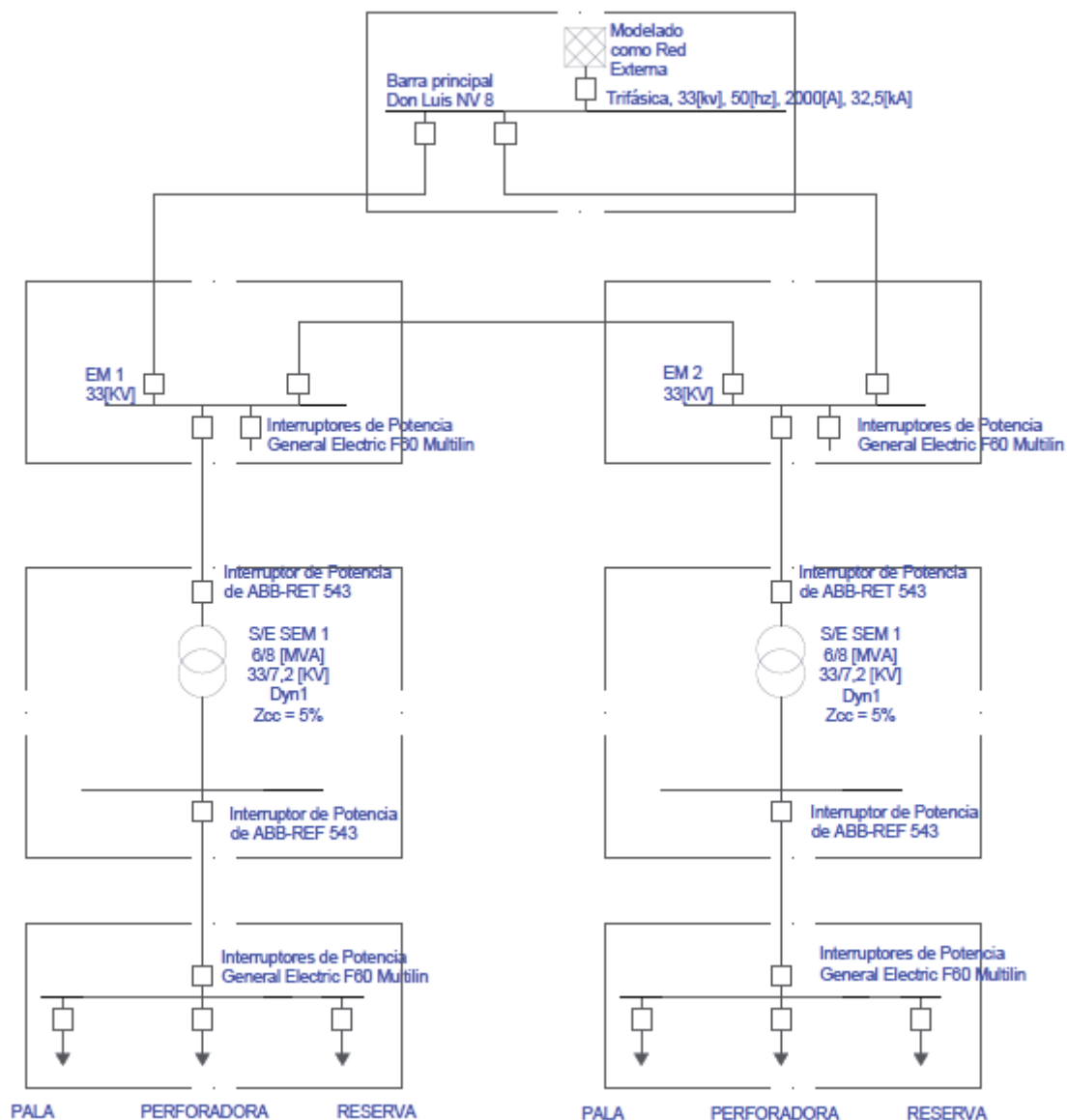


Figura 2-2: Diagrama unilineal simplificado del Loop Eléctrico-Fuente, elaboración propia.

2.3 Descripción de Componentes SEP MRA

Actualmente el sistema eléctrico de potencia de la MRA no corresponde a un Loop eléctrico, sino más bien presenta una configuración radial. Debido a que el sistema no presenta una configuración de anillo. Entre los componentes y equipos de mayor relevancia dentro del SEP se pueden mencionar: Las estaciones de maniobra (EM1 y EM2), las sub-estaciones eléctricas móviles (SEM1 y SEM2), los centros de distribución móviles (CDM1 y CDM2), las palas eléctricas P&H (701 y 702) y las perforadoras eléctricas PIT VIPER 351 (641 y 642).

2.3.1 Estaciones de maniobra (EM1 y EM2)

Las estaciones de maniobra, están alimentadas en 33[kV], desde la barra principal ubicada en la sala eléctrica Don Luis Nivel 8, en la mina subterránea. Entre ambas estaciones de maniobra, existe una interconexión normalmente abierta, denominada Tramo 2, que cumple la función de respaldo, en caso de que se pierda la alimentación directa en 33[kV], a alguna de las dos estaciones de maniobra. Estas dos estaciones de maniobra, están ubicadas en el segundo nivel de las salas eléctricas respectivas, que albergan a éstas junto a las SEM. Básicamente comprenden los instrumentos de protección y el transformador de 8[MVA]. La estación de maniobra, es una SWITCHGEAR de 5 celdas, en donde se ubican los interruptores de potencia y sus respectivos relés de protección.

La estaciones de maniobra, EM1 y EM2, junto a los componentes descritos anteriormente. Se pueden apreciar en la Figura 2-3.

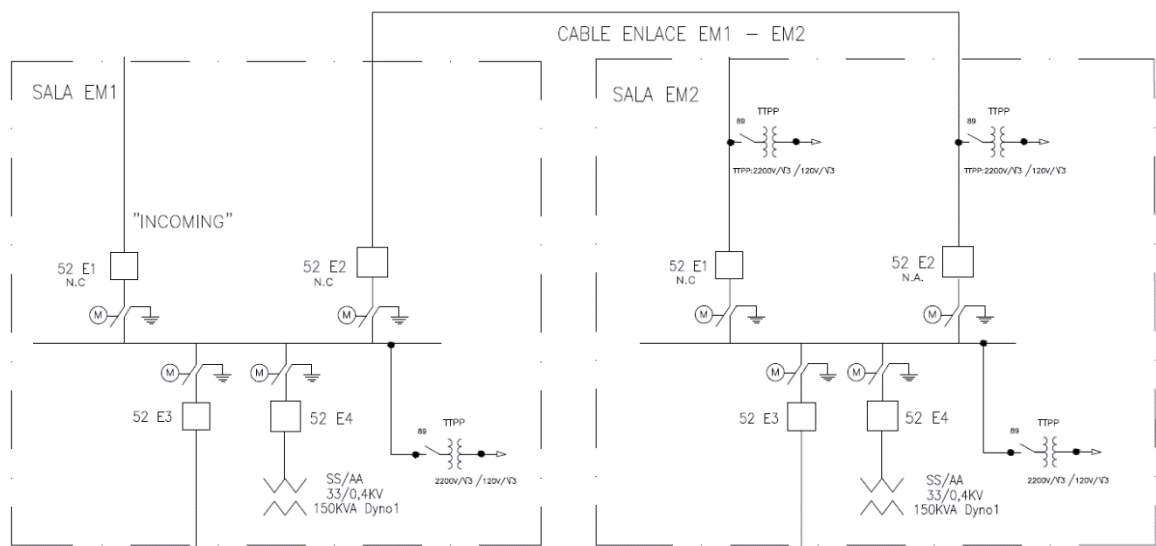


Figura 2-3: Estaciones de maniobra, extracto del plano original-Fuente, Codelco Andina

2.3.2 Sub-Estaciones Eléctricas Móviles (EM1 y EM2)

El término móvil, se debe a que, la superficie donde se encuentra montado el transformador de la S/E posee ruedas y puede ser anclado a un vehículo mecánico para su movimiento. Los

transformadores tienen una potencia aparente nominal de 8 [MVA], con ventilación forzada, y refrigerados en aceite. Poseen además, cambiadores de TAP de 4 niveles (en aumento y reducción). Trabaja como transformador reductor alimentado en 33[KV] y entregando 7,2 [KV] a los centros de distribución móviles. Claramente la relación de tensión en un transformador es inversa y si se reduce de ese nivel de tensión, la corriente aumentará considerablemente en el lado secundario. Por este fenómeno es que entre las SEM y los CDM se utiliza doble circuito de cable minero tipo SHD –GCP, clase de aislación 15[kV]. En la figura 2-4 se muestra un extracto del plano original de las Sub-estaciones eléctricas móviles.

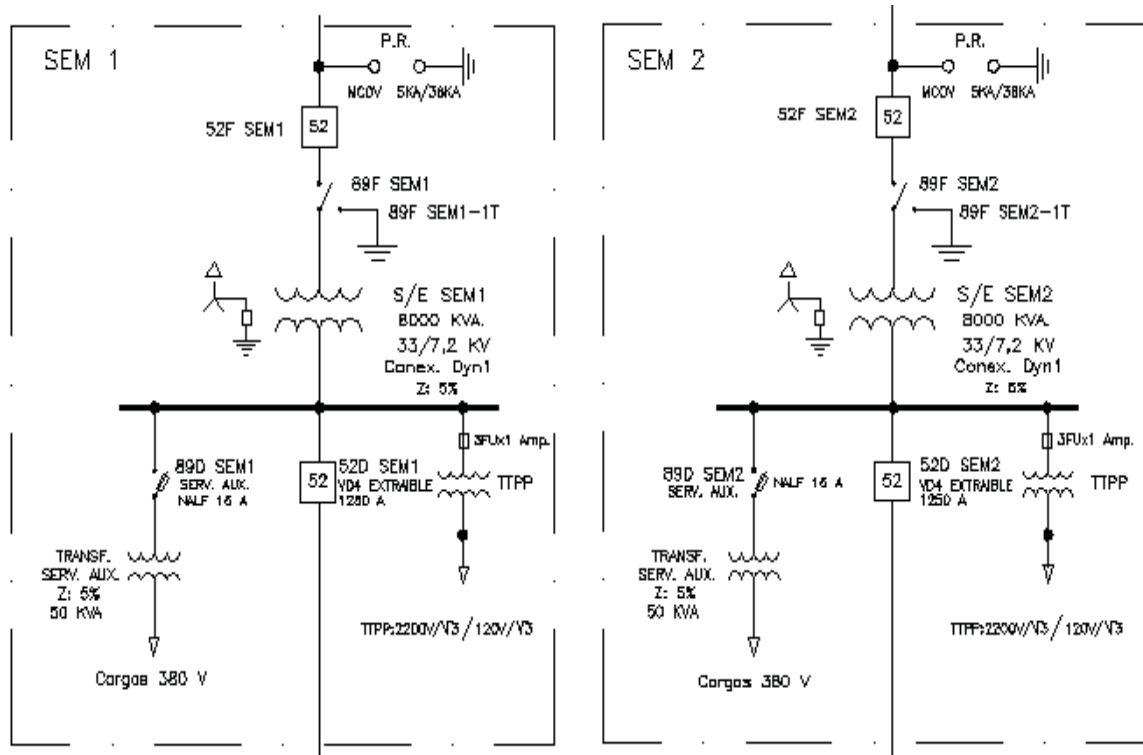


Figura 2-4: Subestaciones eléctricas móviles SEM1 y SEM2-Fuente: CODELCO Andina

2.3.3 Centros de distribución móviles (CDM1 y CDM2)

Los centros de distribución móviles, son estructuras metálicas de tipo contenedor, montadas sobre una plataforma con ruedas que permite su movimiento mediante el acople a algún vehículo mecánico. Al interior, se ubican las celdas de media tensión, que albergan a los interruptores de potencia comandados por los relés de protección GE F60 Multilin. Éstos se encargan de alimentar las cargas de la mina, palas y perforadoras eléctricas.

En la figura 2-5 se muestra un diagrama unilineal de uno de los centros de distribución móvil, correspondiente a la última actualización de planos de la Mina Rajo Andina. Cabe destacar que ambos presentan idéntica estructura, debido a ello no se incluyen ambos, las diferencias que existen son mínimas y se deben a cambios realizados recientemente. Estos cambios no están presentes en los planos eléctricos, puesto que no han sido actualizados en el último tiempo.

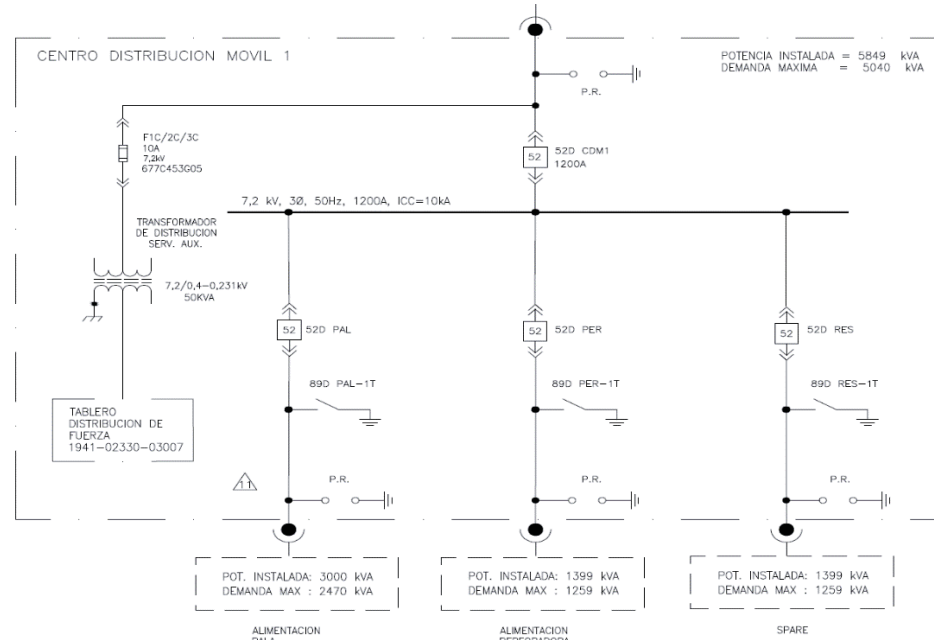


Figura 2-5: Centro de distribución móvil CDM1-Fuente, Codelco Andina

2.3.4 Tipos de cable y niveles de tensión

En el Loop eléctrico existen básicamente 3 niveles de tensión considerables, los cuales son: 33[kV], 13,2[kV], 7,2[kV] y tensiones inferiores a 1[kV] para el resto de consumos. En cuanto a los tipos de cable existentes, se pueden mostrar los siguientes agrupados por secciones, como se muestra en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Tipos de cables mineros existentes en el Loop.

Tramo	Cable	Área Conductor	Distancia Tramo	Clase Aislación
S/E Don Luis Nivel 8- EM1	EMZEU-G	500 MCM	2600 [m]	35 [kV]
SEM1 – CDM1	Amercable	500 MCM	500 [m]	15 [kV]
CDM1-CARGAS	SHD-GC-CP	4/0 AWG	1800 [m]	8 [kV]
S/E Don Luis Nivel 8- EM2	EMZEU-G	500 MCM	3600 [m]	35 [kV]
Tramo 2	EMZEU-G	500 MCM	1000 [m]	35 [kV]
SEM2 – CDM2	Amercable	500 MCM	800 [m]	15 [kV]
CDM2-CARGAS	SHD-GC-CP	4/0 AWG	1800 [m]	8 [kV]

Por otra parte, para efectuar las conexiones entre los cables que alimentan de los CDM y las cargas, existen unos trineos metálicos que portan la caja de conexión. En la figura 2-6 se muestra uno de ellos.



Figura 2-6: Trineo de conexión de cable minero a cargas – Fuente, Elaboración Propia.

2.3.5 Cargas

Entre las cargas existentes en la MRA están las palas de cable y las perforadoras. Sin duda la carga que genera mayor perturbación en el sistema es la Pala eléctrica P&H. Por un lado está su alto consumo de potencia 4,5[MVA] y por otro lado el gran contenido armónico que introduce al sistema de distribución, al tratarse de una carga no lineal. Su transformador principal es alimentado en corriente alterna, el cual alimenta un convertidor AC-DC, que posee un freno Chopper que se encarga de disipar la energía en la etapa regenerativa. El convertidor AC-DC alimenta los 8 motores de corriente continua que mueven la máquina y al transformador auxiliar, que suministra la energía al sistema de control. En la figura 2-7 se muestra la Pala Eléctrica XPC 4100 P&H.



Figura 2-7: Pala eléctrica XPC 4100 P&H – Fuente, Catálogo P&H.

La otra carga relevante en el SEP MRA es la perforadora PIT VIPER 351 de Atlas COPCO, esta máquina tiene una tecnología muy avanzada. Entre las características físicas se tiene que: Pesa aproximadamente 190 toneladas, se desplaza mediante orugas, tiene dos tubos adicionales de 35 pies, con los cuales se logra una profundidad de perforación de 135 pies. La persona encargada de la operación de la máquina utiliza un control remoto tipo joystick, lo que permite una mejor visión y comodidad en la operación.

En cuanto a las características constructivas de esta máquina, se tiene que, el sistema de perforación es impulsado a través de un motor de inducción de 1400 [HP]. La tensión de alimentación de la perforadora es de 6,9 [kV] \pm 5%. En la figura 2-8 se muestra una imagen de la perforadora.



Figura 2-8: Perforadora PIT VIPER 351 de ATLAS COPCO – Fuente, Codelco Andina.

2.4 Conclusiones

En este capítulo se logra tener un conocimiento general del Sistema Eléctrico de Potencia en la MRA. Se mencionaron las abreviaturas y conceptos relevantes que son de utilización diaria en el ámbito laboral al interior de la división. Además se mencionan los diferentes equipos eléctricos que conforman el Loop, niveles de tensión con los que se está trabajando en las distintas instalaciones y la función que desempeñan cada cual.

3 Redes y Comunicaciones

3.1 Introducción

Una red de computadores es un conjunto interconectado de dispositivos y computadoras entre sí, pudiendo comunicarse, compartir datos y recursos, independiente de la localización física en que se encuentren. Se conectan por cable: fibra óptica, cable de par trenzado, cable coaxial, etc. Pero si la red abarca una región extensa, significaría un alto costo, en estos casos las conexiones pueden realizarse a través de líneas telefónicas, microondas, líneas de fibra óptica o satélites.

La estructura lógica de una comunicación, presenta relevancia, si se necesita configurar una red. Debido a ello se pretende entender los conceptos más relevantes en el ámbito de comunicación.

3.2 Redes de computadoras

Las redes de computadoras proporcionan una rápida y conveniente forma de compartir y transferir archivos. Sin una red, se necesita de unidades de almacenamiento (Pendrives, discos duros portátiles, memorias SD...), lo cual es un proceso lento, que requiere de la disponibilidad de ambos usuarios.

Otra de las ventajas que proporcionan las redes de computadores es la posibilidad de compartir recursos tales como impresoras o scanner. Se pueden realizar respaldos en varias máquinas para tener una mayor confiabilidad, los usuarios pueden trabajar en un mismo documento en forma simultánea y, además los usuarios pueden consultar y actualizar una misma base de datos de forma simultánea.

3.3 Tipos de redes

Las redes de computadores se puede clasificar de varias formas, pero ello depende básicamente de la extensión que éstas poseen, del área geográfica que ocupan de manera física.

3.3.1 HAN

Es una red de hogar (Home Área Network) Típicamente se interconectan varios computadores, una impresora, algún scanner, y un router. El enlace físico es realizado generalmente a través de cable de par trenzado o radiofrecuencia de corto alcance [7].

3.3.2 LAN

Las redes de área local (Local Area Network) son generalmente redes de propiedad privada que se encuentran en un solo edificio o un sector de pocos kilómetros de longitud. Estas redes son utilizadas para conectar computadoras personales y estaciones de trabajo en oficinas de alguna empresa y fábricas con el objetivo de compartir recursos (por ejemplo, impresoras) e intercambiar información. Las redes de área local son diferentes de otras redes en 3 aspectos fundamentales: 1) tamaño, 2) tecnología de transmisión y 3) topología. El enlace de este tipo de redes se realiza generalmente mediante cable par trenzado, fibra óptica o radiofrecuencia de corto alcance. Las LAN tradicionales tienen una velocidad de 10 a 100 Mbps, poseen un bajo retardo (del orden de los microsegundos) y cometen muy pocos errores, mientras que las LAN nuevas alcanzan velocidades de hasta 10 Gbps [7].

3.3.3 CAN

La red de campus universitario (Campus Area Network). Se refiere a una red que típicamente interconecta varios edificios, en una extensión superficial de algunos kilómetros cuadrados. El enlace es realizado generalmente mediante cable coaxial, par trenzado, fibra óptica o radiofrecuencia.

3.3.4 MAN

La red de área metropolitana (Metropolitan Area Network) abarca una ciudad. El ejemplo más conocido de una red MAN es la red de televisión por cable disponible en muchas ciudades. Este sistema creció a partir de los primeros sistemas de antena comunitaria en áreas donde la recepción de la televisión al aire era pobre. En dichos sistemas, se colocaba una antena grande en la cima de una colina y se canalizaba a las casas de los suscriptores. El enlace de este tipo de red se realiza mediante cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico, radiofrecuencia o rayos láser [6].

3.3.5 WAN

La red de área amplia (Wide Area Network), abarca una gran área geográfica, generalmente un país o un continente. Es una red de computadoras que une varias redes locales, aunque sus miembros no estén todos en una misma ubicación física. Muchas WAN son construidas por organizaciones o empresas para uso privado, otras son instaladas por proveedores de internet (ISP) para proveer conexión a sus clientes.

3.4 Arquitectura de Redes

Con el fin de simplificar el diseño, la mayoría de las redes es organizada en capas o niveles. El número de capas, así como su respectivo nombre, contenido y función de cada una de ellas difieren de red en red. El propósito de cada capa es ofrecer ciertos servicios a las capas superiores, a las cuales no se les muestran los detalles de cómo se implementan los servicios.

Este concepto recibe nombres como: ocultamiento de información, tipos de datos abstractos, encapsulamiento de datos y programación orientada a objetos, etc. Cada pieza particular de software (o hardware) proporciona un servicio a su capa superior, pero no muestra los detalles de su estado interno ni sus algoritmos.

La capa n de una máquina (Host) conversa con la capa n de otra máquina. Las reglas y convenciones o idioma utilizados en esta conversación es lo que se conoce como protocolo de capa n. Básicamente el protocolo consiste en un acuerdo entre las partes de la manera y forma en que se van a comunicar. En la figura 3-1 se muestra una red de 5 capas, en donde se comunican dos máquinas (Host 1 y Host 2) [7].

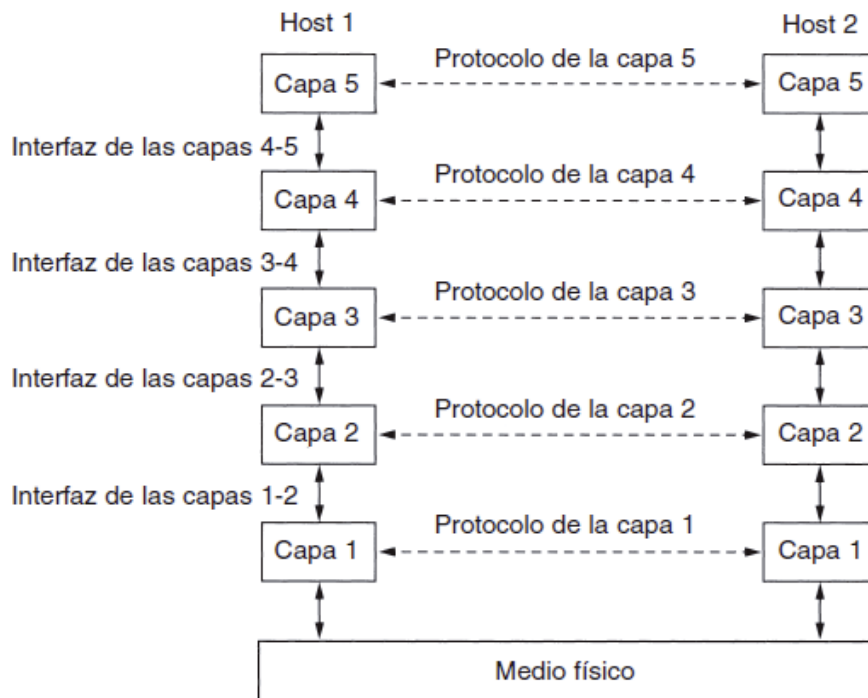


Figura 3-1: Capas protocolos e interfaces – Fuente, [7].

Se debe aclarar que la comunicación no fluye directamente entre las capas del mismo nivel jerárquico entre distintas máquinas. Para que se realice la transferencia de la información desde la capa n-ésima de una máquina a la cama n-ésima de otra capa, cada capa debe pasar los datos e información a la capa inmediatamente inferior, hasta llegar a la capa física a través de la cual ocurre la comunicación real.

Entre las capas existe una interfaz, la cual define qué operaciones y servicios primitivos le presta la capa inferior a la capa superior. El diseñador es el que se encarga de definir cuantas capas quiere incorporar en la red y su función respectiva, además de definir interfaces limpias entre capas.

Como ejemplo de un proceso de comunicación entre los Host de la figura 3-2, un proceso de aplicación que se ejecuta en la capa 5 produce un mensaje M, y lo pasa a la capa 4 para su transmisión.

La capa 4 pone un encabezado al frente del mensaje para ser identificado y pasa el resultado a la capa 3. El encabezado incluye información de control, como números de secuencia, para que la capa 4 de la máquina de destino entregue los mensajes en el orden correcto en caso de que las capas inferiores no mantengan la secuencia. En algunas capas los encabezados pueden contener tamaños, medidas y otros campos de control.

En algunas redes no existen límites para el tamaño de mensajes transmitidos en el protocolo de la capa 4, pero siempre hay un límite impuesto por la capa 3. Debido a ello a la capa 3 no le queda más opción que dividir los mensajes que llegan en unidades más pequeñas (Paquetes) colocándole a cada paquete un encabezado, en este ejemplo M se divide en M1 y en M2.

La capa 3, se encarga de elegir el camino que siguen los paquetes, dependiendo de la distancia y tráfico, posteriormente, pasa los paquetes a la capa 2. Ésta capa, además de agregar un encabezado a cada paquete, agrega también un bit de finalización de la trama y pasa la unidad resultante a la capa 1. En esta capa, se realiza la transmisión física hacia la máquina receptora, en donde, el mensaje asciende de capa en capa, perdiendo los encabezados conforme avanza. Ninguno de los encabezados, agregados por las capas inferiores a la capa n, llega a la capa n. En la figura 3-2 se muestra un esquema de lo descrito.

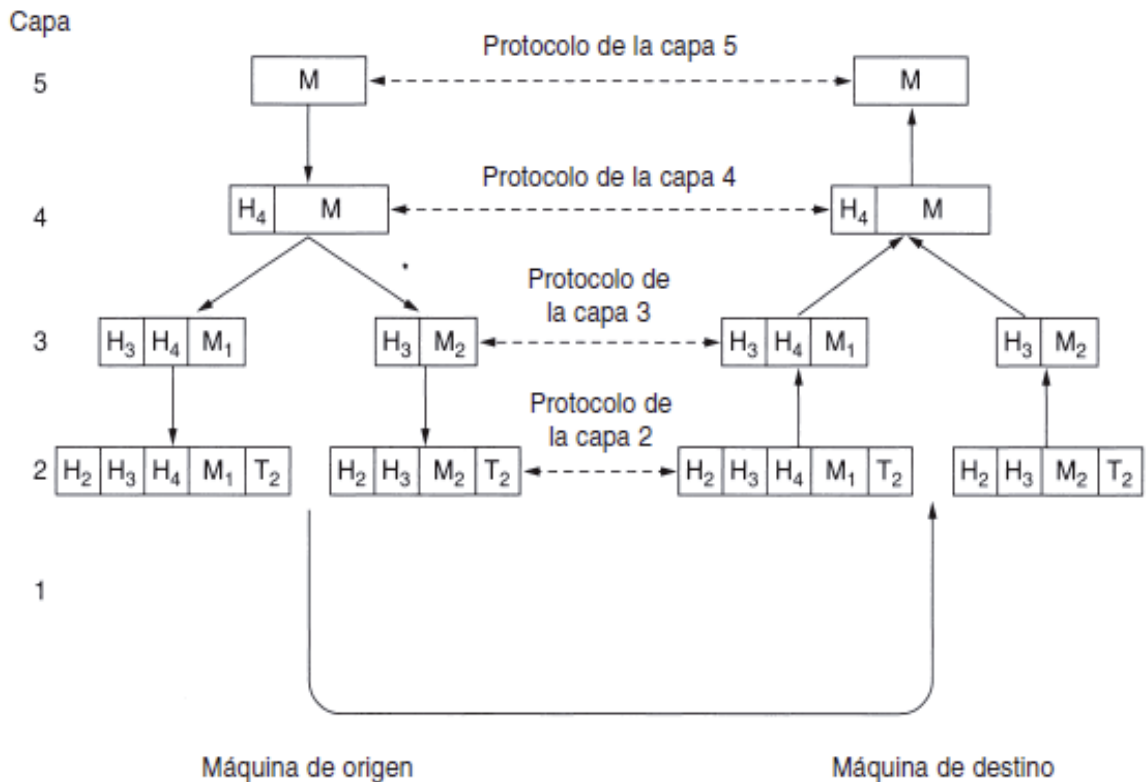


Figura 3-2: Ejemplo del flujo de información virtual – Fuente, [7].

Debido a que existen variadas formas de diseñar una red y dependiendo del número de capas que se utilicen, además de los diferentes protocolos utilizados en la comunicación, es necesario establecer un estándar, que permita, generar comunicación entre los diferentes dispositivos que

componen una red y debido a ello es que se procede a la confección de modelos de comunicación estándar.

3.5 Modelo de Referencia OSI

El modelo OSI (Open System Interconnection) desarrollado por la Organización Internacional de Normas (ISO). El modelo de referencia OSI divide la red en 7 capas o niveles como se muestra en la figura 3-3. Este número de capa permite que las funciones de distinta naturaleza puedan ser realizadas por capas diferentes y al no ser una cantidad de capas exageradamente grande, hace que el sistema no sea demasiado complejo. Cada una de estas capas es realizada por un hardware o software del sistema [5].

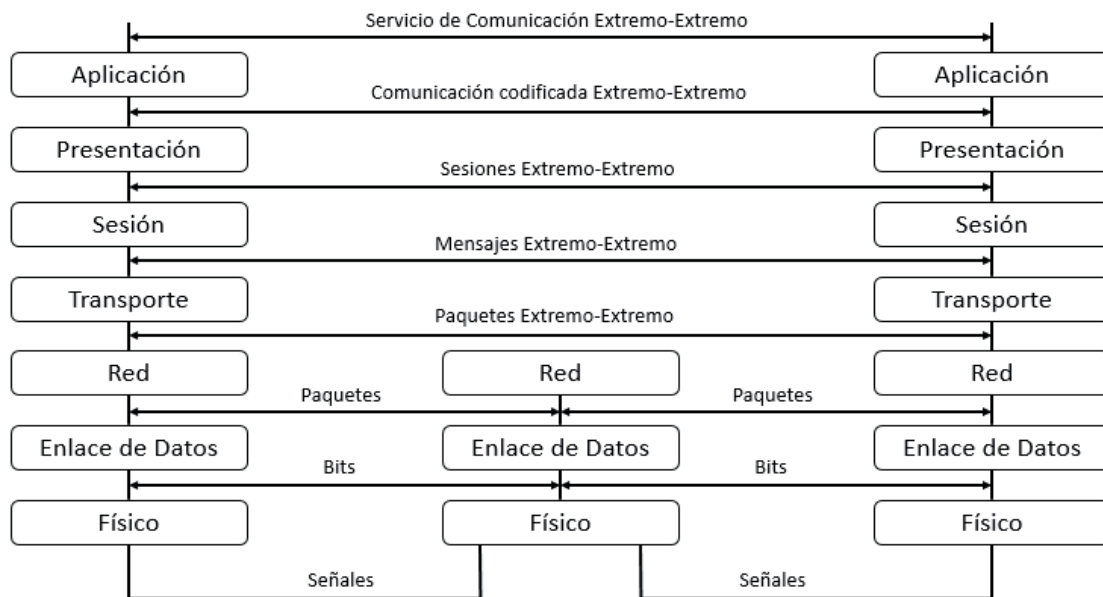


Figura 3-3: Modelo de referencia OSI – Fuente, elaboración propia.

3.5.1 Capa Física

La capa física, está constituida exclusivamente por Hardware y define el medio de comunicación (Cables, conectores, fibra óptica, radiofrecuencia, etc.). El medio físico permite la transmisión de datos en forma de señales. Un bit enviado con un determinado valor (0 o 1 Lógico) debe ser reconocido correctamente en el extremo receptor.

3.5.2 Capa de Enlace

Tiene como objetivo proporcionar servicio al nivel de red, estableciendo los medios necesarios para una comunicación fiable y eficiente entre dos máquinas conectadas en red a través de un enlace físico.

Genera la trama (secuencia de bits al principio y al fin de cada paquete de datos, utilizada para la estructuración del envío de información) y además se encarga de sincronizar su envío. Esta capa

utiliza múltiples medios para el control de errores, tales como CRC (Códigos Cíclicos Redundantes) y bits de paridad. A modo de ejemplo PPP corresponde a un protocolo de este nivel.

A su vez, esta capa se puede dividir en dos sub-niveles:

- **Control lógico de enlaces (LLC):** Encargado de definir la forma en que se transmiten los datos al medio físico.
- **Control de acceso al medio (MAC):** Gestiona la utilización del medio físico cuando varios equipos pretenden su utilización simultánea.

3.5.3 Capa de Red

Su función es proporcionar la ruta más adecuada, estática o dinámica, para la comunicación y el envío de datos entre el origen y el destino, pero no se preocupa de los errores o de la pérdida de paquetes. A pesar de que el origen y el destino se encuentren en redes de topología distinta, no es impedimento para la operación de esta capa.

Divide los segmentos del nivel de transporte en paquetes más complejos, y les asigna las direcciones lógicas de las máquinas que se están comunicando, pues así puede encaminar la información a través de los dispositivos intermedios o routers. Posteriormente ensamblara los paquetes en la máquina de destino.

Esta capa puede dividirse en Transporte (Encargado de los datos que se transmitirán) y Comunicación (Intercambia información de conectividad específica en la red). Los ejemplos de protocolos más populares de protocolos utilizados en este nivel serían IP y X.25 [7].

3.5.4 Capa de Transporte

Esta capa es la encargada de controlar el flujo de datos entre las máquinas que establecen la comunicación. Esta capa puede acceder a mensajes de gran longitud provenientes de la capa superior y dividirlos en unidades de menor tamaño (paquetes) antes de pasarlos a la capa inferior, de manera de poder compartir la red entre muchos enlaces simultáneos. Además se asegura de que los mensajes sean entregados sin errores, en la secuencia correcta, sin pérdidas ni duplicaciones y es la encargada de detener momentáneamente al equipo transmisor si el equipo receptor no tiene memoria libre suficiente para aceptar más información. Este nivel actúa como una especie de puente entre los tres niveles inferiores (totalmente orientados a las comunicaciones) y los tres niveles superiores (totalmente orientados al procesamiento). A modo de ejemplo del tipo de protocolo utilizado en esta capa serían SPX, NCP y TCP [8].

3.5.5 Capa de sesión

Este nivel proporciona los medios necesarios para que dos máquinas que se están comunicando por red organicen y sincronicen el diálogo, y puedan intercambiar datos. Maneja checkpoints o puntos de control en la secuencia de datos, para poder reestablecer la sesión en caso de corte de la comunicación, sin necesidad de volver a enviar todos los paquetes de dicha sesión.

Tanto esta capa, como la capa de presentación son muy poco utilizadas a nivel práctico (el protocolo TCP/IP por ejemplo no hace uso de ellos).

3.5.6 Capa de Presentación

Establece el contexto sintáctico del dialogo, asegurando que los datos que envió el nivel de aplicación de una máquina pueda ser entendida por el nivel de aplicación de otra. En otras palabras se ocupa de los aspectos de representación de la información, como por ejemplo de la codificación de los datos (traducción de código ASCII a EBCDIC u otros), de su posible comprensión y encriptación. Al igual que el nivel de sesión, es muy poco utilizado por protocolos reales.

3.5.7 Capa de Aplicación

Este nivel interactúa con el nivel de presentación, y muestra la interfaz que utiliza el usuario (navegadores, transferencia de ficheros, clientes de correo electrónico, visualización de páginas web y otras aplicaciones de alto nivel con las cuales interactúa directamente el usuario), ofreciéndole acceso general a la red. Los protocolos típicos que se utilizan en este nivel son POP, HTTP y SMTP, entre otros.

El modelo OSI es un estándar, pero estrictamente no sería una arquitectura de red, debido a que no especifica los servicios y protocolos que debe utilizar cada capa, solo hace referencia a la función de cada capa. Las redes reales no utilizan literalmente el modelo OSI, solo lo usan como una referencia. Por ejemplo, en el protocolo TCP/IP (4 capas) utilizado en internet, la capa de aplicación corresponde a los niveles de Aplicación, Presentación y Sesión.

Cada capa del modelo OSI se encarga de añadir un encabezado al mensaje que recibe de la capa inmediatamente superior emisora. En los nodos intermedios del modelo sólo las 3 capas inferiores deben observar la cabecera correspondiente a su nivel si es que el paquete va dirigido a ellos, y si no es así, deben reenviarlo hacia el receptor. En cambio, las 4 capas superiores aparentan haber recibido la información directamente de su nivel equivalente. Por ello los niveles superiores se denominan protocolos de extremo a extremo.

3.6 El protocolo TCP/IP

Este modelo fue desarrollado y demostrado por primera vez en 1972 por el departamento de defensa de los estados unidos, también está formado por capas, pero a diferencia del modelo estándar OSI de 7 capas, este protocolo las resume en tan solo 4 capas.

En el modelo TCP/IP las dos capas inferiores (capa1 y capa2) se unen en una capa denominada Capa de acceso a la red o simplemente capa de red (Capa 1). La segunda capa se relaciona con la capa de red del modelo de referencia OSI, pero en este protocolo cambia de nombre a Capa Internet (Capa 2). La tercera capa del modelo TCP/IP lleva el mismo nombre que la capa del modelo de referencia OSI (Capa de transporte), la diferencia es que en el protocolo TCP/IP

corresponde a la Capa 3. Finalmente las capas 5, 6 y 7 del modelo de referencia OSI son equivalentes a la capa 4 (Capa de Aplicación) del modelo TCP/IP [11].

Los estándares IEEE 802, definidos por el comité del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, son los estándares más conocidos en la actualidad. Su función es permitir que la tecnología de diferentes fabricantes, se pueda integrar entre sí, asegurando la compatibilidad entre tecnologías. Este estándar divide la Capa 2 del modelo OSI (Capa de enlace de datos) en dos subniveles, la de control de enlace lógico (LLC) y la de control de acceso al medio (MAC) [12].

El Sub-nivel de Control de Acceso al Medio, está encargado de la gestión de acceso al medio, delimitando las tramas, comprobando sus errores y reconociendo sus direcciones. Los estándares 802.3, 802.4, 802.5, y 802.12 definen estándares para el subnivel MAC y para la Capa 1 (Capa Física del Modelo OSI). La Figura 3-4 muestra una tabla resumen que compara los modelos OSI y TCP/IP y a los estándares 802, donde se indican además sus unidades de datos de protocolo (PDU).

Estándar IEEE 802	Modelo OSI	PDU	Modelo TCP/IP
	Capa 7: Aplicación	Datos	Aplicación
	Capa 6: Presentación	Datos	
	Capa 5: Sesión	Datos	
	Capa 4: Transporte	Segmentos	Transporte
	Capa 3: Red	Paquetes	Internet
Control Lógico de Enlace (LLC) → 802	Capa 2: Enlace de datos	Tramas	Acceso a la Red
Control de acceso al medio (MAC) → 802.3, 802.5 Y 802.12			
	Capa 1: Física	Bits	

Figura 3-4: Modelos OSI, TCP/IP y Estándares 802-Fuente, <http://es.ccm.net>.

3.6.1 Capa de Acceso a la Red

Esta capa se encuentra en el nivel más bajo dentro de la jerarquía del protocolo TCP/IP. En esta capa se define como encapsular un datagrama IP en una trama que pueda ser transmitida por la red, siendo en una inmensa mayoría las redes LAN una trama Ethernet.

Otra función importante de esta capa es la de asociar las direcciones lógicas IP a direcciones físicas de los dispositivos adaptadores de red (NIC). Por ejemplo la dirección IP 192.168.1.5 de un ordenador se asocia a la dirección Ethernet 00-0C-6E-2B-49-65. La primera es elegida por el usuario (e, incluso, un mismo ordenador puede trabajar con direcciones IP diferentes). Sin

embargo la segunda no puede cambiarse e identifica inequívocamente al adaptador NIC dentro de la red Ethernet.

Dentro de la capa de acceso a la red opera el protocolo ARP (Address Resolution Protocol), que se encarga precisamente de asociar direcciones IP con direcciones físicas Ethernet. El estándar RFC 826 describe su funcionamiento.

Existe también el estándar RFC 894 para la transmisión de datagramas IP sobre redes Ethernet. Especifica cómo se encapsulan datagramas del protocolo IP para que puedan transmitirse en una red Ethernet.

3.6.2 Capa de Internet

Su principal función es encaminar los paquetes desde el origen al destino, sin verificar si existen errores o pérdida de paquetes. Esta capa es la que se encarga de transformar los nombres de dominio (DNS) en números IP, y buscar las rutas factibles a través de la red al Host de destino. Las rutas pueden estar basadas en tablas estáticas o encaminarse dinámicamente en forma diferente para cada paquete. Esta capa debe además evitar la congestión por exceso de paquetes en alguna de las ramas de la subred. En internet, esta capa define la estructura de direcciones y rutas para conectar las máquinas.

En esta capa de red es utilizado el protocolo IP. Existe la versión IPv4 (la más común usada en internet) y la versión IPv6 (usada en redes privadas o de forma experimental).

El datagrama es la unidad básica de datos en la capa de red del protocolo TCP/IP, y su estructura se muestra en la figura 3-5. Estos datagramas son de longitud variable (decenas de miles de bytes).

0	4	8	16	19	24	31
VER	HLEN	Tipo de Inicio		Longitud		
ID			Etiqueta	Desplazamiento de Etiqueta		
TTL		Protocolo	Cabecera de Comprobación			
Dirección IP Origen						
Dirección Ip Destino						
Opciones IP					Aislamiento	
Datos						

Figura 3-5: Formato Datagrama IP – Fuente, elaboración propia.

- **VER:** Este campo indica la versión de IP de la estación que originó el mensaje. Pudiendo ser IPV4 o IPV6. Permitiendo la coexistencia de diferentes versiones en una misma red.

- **HLEN:** Tiene la finalidad de indicar al receptor la longitud de la cabecera, con el fin de que la CPU sepa dónde empieza el campo de datos.
- **Tipo de Servicio:** Corresponde a un código que indica al router cómo se debe manejar el paquete en términos de nivel de servicio (fiabilidad, procedencia, retraso, etc.)
- **Longitud:** Indica el número total de bytes que contiene el paquete.
- **ID:** Las etiquetas y el desplazamiento de etiqueta son los encargados de indicar al receptor cómo debe ensamblar un datagrama fragmentado.
- **TTL:** Corresponde a un contador que decrementa cada vez que un paquete pasa por un nodo. Cuando llega a cero, el paquete se desecha, evitando que los paquetes perdidos deambulen eternamente en las redes generando congestión.
- **Protocolo:** El protocolo de transporte (TCP, UDP, etc.) que se debe utilizar para manejar el paquete.
- **Cabecera de comprobación:** Es la encargada de asegurar la integridad del mensaje.
- **Dirección IP de Origen:** Corresponde a la dirección IP que originó el mensaje y tiene un tamaño de 32 Bit.
- **Dirección IP de destino:** Corresponde a la dirección IP del equipo receptor y tiene un tamaño de 32 Bit.
- **Opciones IP:** Es utilizada para comprobar la red y otros fines especiales.
- **Aislamiento:** Contiene bits de relleno para que la CPU pueda encontrar la primera posición del campo de datos.
- **Datos:** Corresponde a la información efectiva que se está enviando.

3.6.3 Capa de Transporte

En esta capa se encuentran definidos el protocolo TCP y UDP (User Datagram Protocol). TCP envía los datos de un extremo a otro de la conexión con la posibilidad de detectar errores y corregirlos. UDP, por el contrario, reduce al máximo la cantidad de información incluida en la cabecera de cada datagrama, ganando con ello rapidez a costa de sacrificar la fiabilidad en la transmisión de datos. La figura 3-6 muestra el formato de un mensaje UDP.

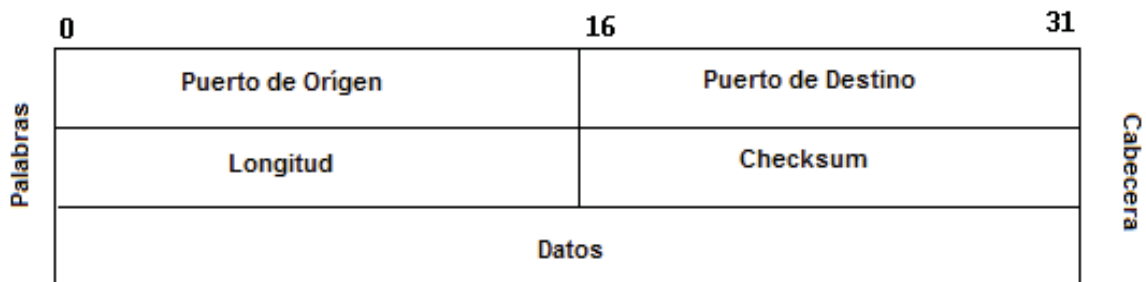


Figura 3-6: Representación del formato de mensaje UDP – Fuente, elaboración propia.

Hay que tener claro que sólo se puede utilizar 1 protocolo de transporte para enviar un mensaje. El protocolo de transporte usado depende de la aplicación. Generalmente los diseñadores de software de red usan UDP cuando puede, ya que genera menos sobrecarga en el tráfico que TCP.

UDP se utiliza por ejemplo en la transmisión de audio y video en vivo, ya que si se pierden o dañan paquetes, no tiene sentido solicitar su retransmisión, debido a que el momento adecuado para reproducirlos ya pasó, y el daño producido a la información es generalmente tolerable

Por otra parte TCP se utiliza en la transferencia de archivos (protocolo FTP), visualización de páginas web (protocolo HTTP) y otros procesos similares, ya que en estos casos no se deben ignorar paquetes defectuosos, la pérdida de alguno de ellos o errores en la secuencia. En la figura 3-7 se muestra el formato de mensajes TCP, que es muy diferente a UDP, es un protocolo orientado a la conexión y el formato de datos que maneja es muy distinto al de los otros datagramas.

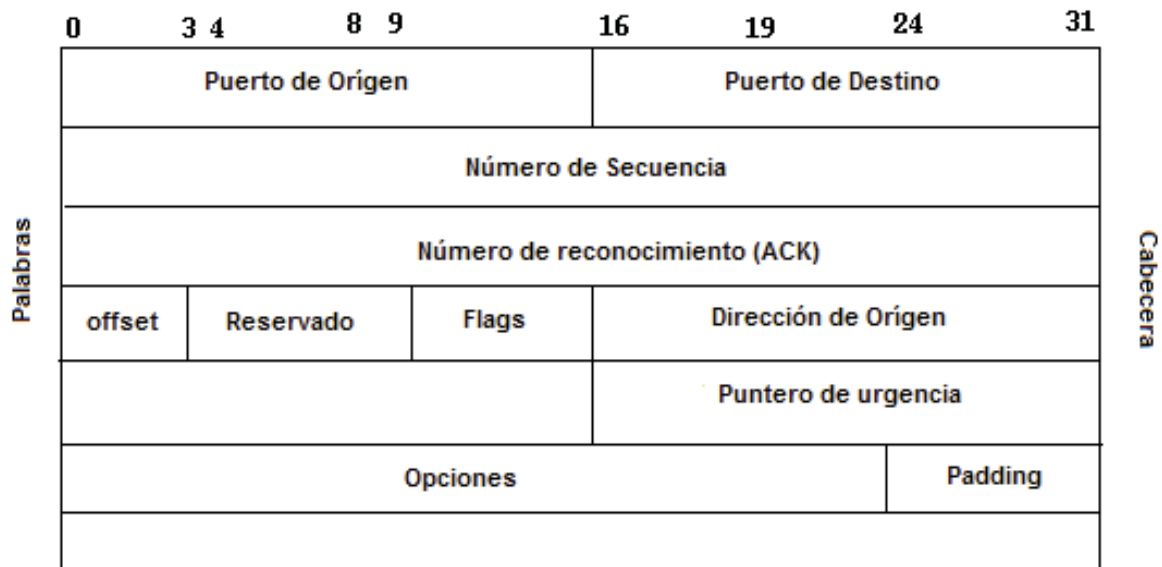


Figura 3-7: Campos de cabecera para un segmento TCP – Fuente, [13].

El protocolo TCP necesita establecer una conexión entre los equipos situados en ambos extremos de la misma. Antes de comenzar la transferencia de datos TCP efectúa una negociación entre los dos equipos basada en el intercambio de tres segmentos de datos. Precisamente por esta razón se le conoce como negociación de 3 vías [13].

El Host A envía al Host B un segmento de sincronización (SYN) que contiene un identificador numérico. Cuando el Host B recibe esta información sabe que el Host A quiere iniciar una comunicación y además conoce el inicio de la transmisión de datos [13].

En el segundo paso el Host B responde al Host A con un segmento de confirmación (ACK) acompañado del identificador que él utilizará en la conexión [13].

El proceso finaliza cuando el Host A recibe esta confirmación y responde con otra, la cuál va acompañada de los primeros datos. En la figura 3-8, se puede apreciar la comunicación en 3 pasos, descrita en los párrafos anteriores.

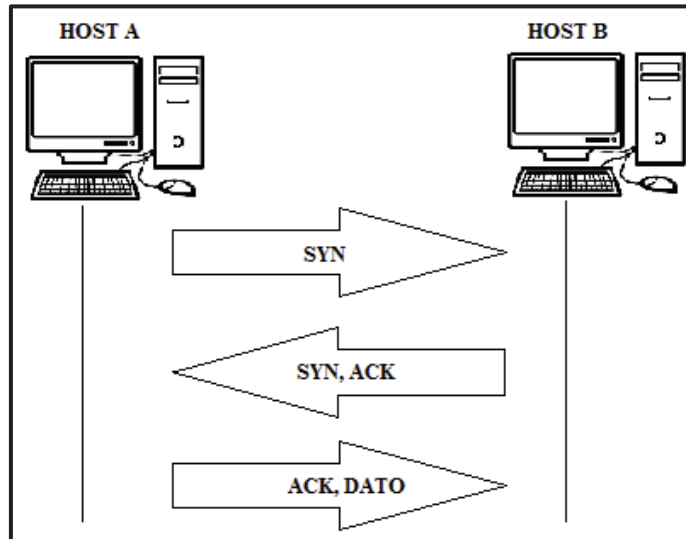


Figura 3-8: Establecimiento de una comunicación TCP – Fuente, elaboración propia.

La capa de transporte es la encargada de hacer llegar estos datos a las aplicaciones que los requieren en las capas superiores. Por este motivo cada aplicación se asocia a un número de 16 bits llamado número de puerto. Tanto TCP como UDP hacen que la primera palabra de sus cabeceras contenga el puerto de origen y destino de los datos que se transmiten. Esta operación se conoce como multiplexación.

3.6.4 Capa de aplicación

Corresponde a la capa de mayor orden jerárquico dentro del protocolo TCP/IP, e incluye las aplicaciones y procesos con los que intercambia datos la capa de transporte. Esta capa contiene protocolos que soportan servicios de conexión remota, correo electrónico y transferencia de archivos. Dentro de los más conocidos podemos mencionar:

- **Telnet** (Network Terminal Protocol): Es un protocolo que permite establecer conexiones con terminales remotos, que permite que un usuario ingrese a una máquina distante y trabaje en ella, ejecutando programas, manipulando los archivos de su cuenta, etc.
- **FTP** (File Transfer Protocol): Es un protocolo orientado a la conexión que ofrece un mecanismo para copiar archivos de una máquina a otra en forma eficiente y fiable.
- **SMTP** (Simple Mail Transfer Protocol): Protocolo de correo electrónico. Utiliza el protocolo POP (Post Office Protocol) para almacenar mensajes en los servidores de correo electrónico.
- **HTTP** (Hypertext Transfer Protocol): Es un estándar de Internet que permite la transmisión de gran variedad de archivos de texto, gráficos, sonidos e imágenes. Se encarga de regular el proceso en que los navegadores solicitan información a los servidores web.
- **DNA** (Domain Name Service): Tiene como principal función convertir los nombres de dispositivos y nodos de red (URL) en direcciones IP. Por ejemplo, el nombre `www.codelco.cl`, se convierte en la dirección `198.45.24.91`.

3.7 Direccionamiento IP

Todo dispositivo conectado a la red que funcione bajo el protocolo de comunicación TCP/IP es identificado mediante una dirección de 32 bits, la cual ofrece 2^{32} (4.294.967.296) posibilidades.

Con la finalidad de facilitar el manejo de las direcciones IP, los 32 bits se dividen en cuatro grupos de 8 bits (También llamado octeto o Bytes) separados cada uno por puntos y cada uno de estos bytes se traduce en su equivalente decimal. Resultando de cada conversión un número comprendido entre 0 y 255.

Las URL (Universal Resource Locator) hace que la navegación por internet sea más sencilla, pero los Routers y los Switch que dirigen el tráfico en internet sólo reconocen direcciones IP. Para solucionar este problema existen los traductores denominados Servidores DNS (Domain Name Servers), el cual recibe la URL desde el equipo que está solicitando una página web y entrega al equipo una dirección web con la cual puede acceder al Router solicitando la página deseada [13].

3.7.1 Clases de direcciones IP

Las direcciones IP proporcionan datos: el número de red y el número de host. Los primeros números de la dirección IP indican a los Routers cuál es la red a la que pertenece el equipo, y los últimos números indican la dirección del equipo dentro de la red.

Los sistemas de red se pueden direccionar de 3 formas:

- **Unicast:** Se utiliza cuando los paquetes enviados por un Host tienen como destino la dirección de un único Host.
- **Multicast:** Se utiliza cuando los paquetes deben ser enviados a un conjunto de Host, de manera simultánea.
- **Broadcast:** Se utiliza cuando existe la posibilidad de enviar datos a todos los sistemas que forman parte de una red. Este tipo de direccionamiento depende de las capacidades físicas de los dispositivos conectados a la red.

Las direcciones IP tienen un prefijo, el que indica la cantidad de bits designados para indicar la red y el número de bits que corresponden a los Host. La cantidad de bits de este prefijo lo establecen los bits de la máscara.

Los bits iguales a cero en la máscara indican posiciones de bits correspondientes al número de equipo, y los que valen 1, posiciones de bits correspondientes al número de la red y al de la subred según sea el caso.

En la Figura 3-9 se tiene una dirección IP arbitraria a modo de ejemplo 194.18.28.104 tiene asociada la máscara por defecto 255.255.255.0, que corresponde a señalar que 24 bits corresponden a la dirección de red y 8 bits a la dirección de los Host. Aplicando la máscara de red (es decir realizando la operación lógica AND entre ambas), resulta que la dirección de la red es 194.18.28.0 y la dirección del host es 0.0.0.104.

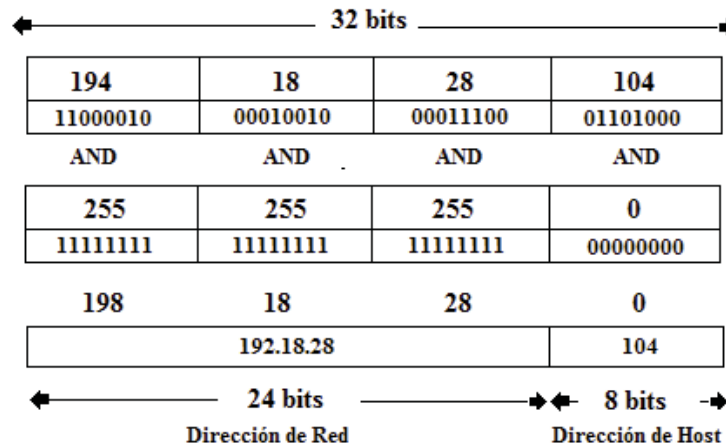


Figura 3-9: Solución de direcciones de Red y Host – Fuente, elaboración propia.

Aunque existen cinco, son 3 las principales clases de direcciones IP: A, B y C. Las otras 2 son de uso especializado. En la tabla 3-1 se muestran las 3 clases más comunes.

Tabla 3-1: Las tres clases de direcciones IP más comunes.

Clase	Rango Primer Octeto	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4	Cantidad de Redes	Cantidad de Host
A	1-126	RED	EQUIPO	EQUIPO	EQUIPO	128	16.777.214
	Ejemplo	112	0	0	0		
B	128-191	RED	RED	EQUIPO	EQUIPO	16.384	65.534
	Ejemplo	150	130	0	0		
C	192-223	RED	RED	RED	EQUIPO	2.097.152	254
	Ejemplo	200	90	190	0		

- **Clase A:** En teoría el primer octeto en decimal debe ser menor a 128, la máscara de red por defecto es de 8 bits (255.0.0.0). Teniendo como excepción a esta regla en la red 127.0.0.0 reservada por completo para la dirección especial 127.0.0.1. Ésta dirección es utilizada para reenvío o lazo cerrado (loopback) y sirve para que un host compruebe si su NIC (Network Interface Card) funciona correctamente en el protocolo IP.
- **Clase B:** El primer octeto en decimal debe estar comprendido entre 129 y 191, como se indica en la tabla 3-1. La máscara por defecto tendrá un prefijo de 16 bits (255.255.0.0).
- **Clase C:** El primer octeto debe estar comprendido entre 192 y 223 por defecto tiene un prefijo de 24 bits (255.255.255.0)
- **Clase D:** El primer octeto en decimal va desde 224 a 239, que corresponde a direcciones IP Multicast y la máscara por defecto tendrá una longitud de 32 bits (255.255.255.255).
- **Clase E:** va desde 240 a 255 las direcciones IP son de uso experimental. No se asignan a ningún sistema o Red en concreto.

la subred 1. Los de otras subredes ignoran este tráfico de datos y se concentran en el propio. Esto se traduce en un mejor aprovechamiento del ancho de banda de la red.

Red	194.18.28.0
Subred 0	11000010.00010010.00011100.0000000 194 . 18 . 28 . 0
Subred 1	11000010.00010010.00011100.01000000 194 . 18 . 28 . 64
Subred 2	11000010.00010010.00011100.10000000 194 . 18 . 28 . 128
Subred 3	11000010.00010010.00011100.11000000 194 . 18 . 28 . 192

Figura 3-11: Bits utilizados por las subredes, Red de clase C – Fuente, elaboración propia

3.8 Redes Privadas

Las redes privadas tienen la peculiaridad que no pueden usarse más allá de los límites impuestos por la red institucional. En palabras más sencillas una dirección IP privada no puede navegar por internet, debido a que los Routers no lo permiten.

Existen 3 bloques de direcciones IP privadas:

1. 10.0.0.0 hasta 10.255.255.255
2. 172.16.0.0 hasta 172.31.255.255
3. 192.168.0.0 hasta 192.168.255.255

Estas IP privadas tienen la finalidad de permitir un gran número de direcciones IP a los equipos dentro de una organización sin que estos entren en conflicto con otras organizaciones. Para poder navegar en internet teniendo direcciones IP privadas se utiliza NAT (Network Address Translation). NAT es básicamente la traducción de IP privadas, realizada mediante un firewall, en direcciones públicas de uso temporal [13].

Para aumentar el número de equipos que pueden conectarse simultáneamente a internet, existe una alternativa más sofisticada, denominada PAT(Port Address Translation) o NAPT(Network Address Port Translation), la cual traduce el número IP y además cambia el número de puerta, permitiendo que varios equipos usen simultáneamente el mismo número IP.

3.9 Cables y conectores

Al comparar, las características más relevantes de los cables utilizados en la interconexión de redes y Sistemas SCADA, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Resumen de los cables utilizados para interconexión de sistemas SCADA.

	UTP	STP	Coaxial	Fibra óptica
Tecnología				
Ampliamente Probada	SI	SI	SI	SI
Ancho de banda	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Hasta 1 [MHz]	SI	SI	SI	SI
Hasta 10 [MHz]	SI	SI	SI	SI
Hasta 20 [MHz]	SI	SI	SI	SI
Hasta 100 [MHz]	SI	SI	SI	SI
Canales video	NO	NO	SI	SI
Canal Full Duplex	SI	SI	SI	SI
Distancias	100 [m]	100 [m]	500	2 km (Multi.)
Medias	65 [MHz]	67 [MHz]	(Ethernet)	100 [km] (Mono)
Inmunidad Electromagnética	Limitada	Media	Media	Alta
Seguridad	Baja	Baja	Media	Alta
Costo	Bajo	Medio	Medio	Alto

Sin duda la alternativa que presenta mayores ventajas corresponde a la fibra óptica Monomodo, pero paralelamente el costo de este tipo de cable es bastante elevado.

3.10 Conclusiones

Se consigue entender de manera general, los conceptos sobre redes, y cuáles son sus funciones y clasificaciones dentro del enorme mundo que es internet. Se abarcan los tipos de redes y sus características, destacando las redes más utilizadas a nivel de empresas.

Se comprende a cabalidad la creación de subredes y las ventajas que presentan a nivel de redes en cuanto al aumento del ancho de banda.

Se obtiene un conocimiento sobre comunicaciones, a nivel global, para que se puedan comprender los sistemas SCADA, en los cuales es muy utilizado el protocolo TCP/IP.

4 Sistemas SCADA

4.1 Introducción

El término SCADA es el acrónimo de “Supervisory Control And Data Acquisition”, que en español se traduce como: Control Supervisado y Adquisición de Datos. Se refiere a la combinación de telemetría (Tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema) y un operador humano, que puede intervenir la operación y reconocer condiciones de alarma.

La frontera existente entre el sistema SCADA y un sistema de control remoto es bastante difusa. Hay variedad de opinión entre expertos en la materia. Mientras algunos expertos consideran que los sistemas SCADA se acotan a sistemas, normalmente abarcando una amplia extensión geográfica, que controlan procesos críticos y cuya indisponibilidad puede suponer un gran impacto, otros consideran que la definición de SCADA se aplica a cualquier sistema de monitorización y/o control en tiempo real, pudiendo englobar esta denominación ICS (Industrial Control System, sistemas de control industrial), los DCS (Distributed Control System, sistemas de control distribuido) o sistemas basados directamente sobre PLC's (Programmable Logic Controllers, controladores lógicos programables).

4.2 Sistemas SCADA

Un sistema SCADA es a rasgos generales un conjunto de equipos y dispositivos que permiten realizar una monitorización y control centralizado de un conjunto de actuadores finales de forma remota. Almacenando la información relativa a dicho proceso en un servidor histórico, sincronizando la información enviada y transmitida mediante antenas y servidores en tiempo real y además permitiendo la automatización de ciertas tareas. El proceso de monitorización y recolección de datos suele ser crítico, ya sea para la sociedad, por ejemplo la generación eléctrica, o para la propia empresa, por ejemplo su propia producción, aunque también puede tratarse de un proceso rutinario o accesorio como el funcionamiento de escaleras mecánicas o del sistema de ventilación [1].

Un sistema SCADA consiste en la supervisión control y adquisición de datos en tiempo real. Básicamente el sistema SCADA queda dividido en 3 bloques principales:

- Software de adquisición de datos (SCADA)
- Sistemas de adquisición y mando (Sensores y Actuadores)
- Sistemas de interconexión (Comunicaciones)

En la figura 4-1 se muestra un esquema de flujo que ilustra las principales funciones de un sistema SCADA.

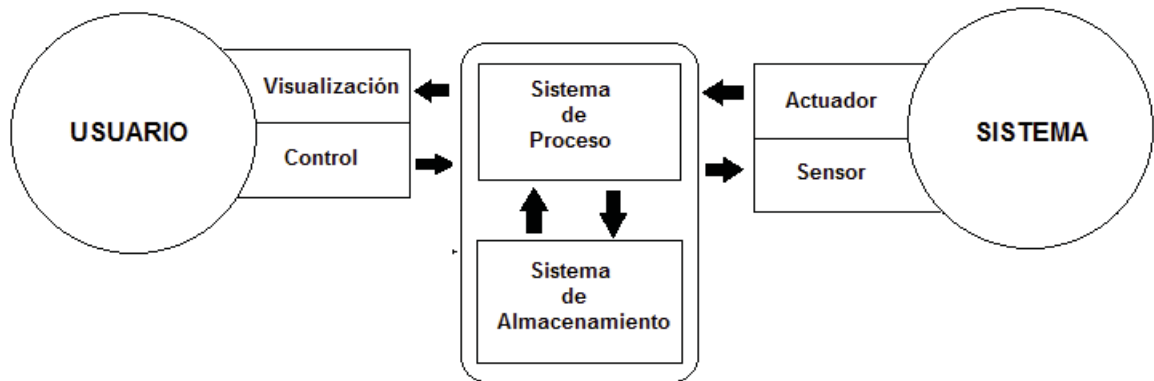


Figura 4-1: Estructura básica de un sistema de supervisión y mando – Fuente, [1].

Mediante las herramientas de visualización y control, el usuario tiene acceso al sistema de control de proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata del servidor). La comunicación entre estos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicación corporativas.

A través de los sensores en el campo, el sistema de proceso capta el estado del sistema y lo informa al usuario a través de las herramientas HMI. Dependiendo de lo que el usuario decide ejecutar y de las acciones programadas, el sistema de proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del sistema a través de los elementos actuadores [1].

Para transmitir los datos entre el sistema de proceso y los sensores actuadores se utilizan buses de campo y comunicaciones inalámbricas.

Mediante el software del sistema SCADA, el mundo de las máquinas se integra a la red empresarial, pasando a formar parte de los elementos que permitirán crear estrategias de control y tomar decisiones con una mayor base o respaldo.

4.3 Estructura y componentes de un sistema SCADA

Los sistemas SCADA son variados en cuanto a las tecnologías que utilizan, pero todos ellos se basan en una topología similar. En la figura 4-2 se muestra la típica estructura de un sistema SCADA tradicional.

La primera gran división de un sistema SCADA se puede acotar a la ubicación geográfica de sus componentes. Los cuales son:

- **Centros de control:** Son aquellas instalaciones físicas donde están ubicados los principales componentes del sistema SCADA y desde donde se monitoriza todo el proceso automatizado. Estos centros de control por lo regular cuentan con una alta protección física y lógica., debido a la criticidad de sus activos. Además, en algunos casos suelen existir varios para asegurar su redundancia, normalmente en ubicaciones geográficas dispersas. En esta sección caben por ejemplo: servidor SCADA (Contiene la funcionalidad relativa a la monitorización y gestión de los componentes del sistema), servidores históricos (Almacena la información que es recolectada desde los sensores que forman parte del sistema SCADA, con revisión periódica para no colapsar el servidor), HMI (Human Machine Interface, que corresponde a las interfaces gráficas que le permiten a los operadores actuar sobre el sistema), dispositivos de comunicación (Para las comunicaciones con las posiciones de campo, otros centros de control u otras redes).
- **Comunicaciones de campo:** Debido a la típica centralización de los sistemas SCADA, las comunicaciones son un componente fundamental e indispensable entre estos centros y los dispositivos de campo. Estas comunicaciones por lo general abarcan grandes distancias, y las tecnologías utilizadas para este fin son bastante variadas, a modo de ejemplo, se pueden mencionar algunas tales como: Red telefónica conmutada, conexiones vía satélite o radio (Wimax), Redes WAN, GPRS, etc.

Por el contrario aquellos sistemas SCADA de ámbito reducido, por ejemplo el encargado de controlar una planta envasadora de bebidas, las comunicaciones pueden ser limitadas a una red LAN, o conexiones inalámbricas, que existen entre los servidores centrales y los dispositivos finales [1].

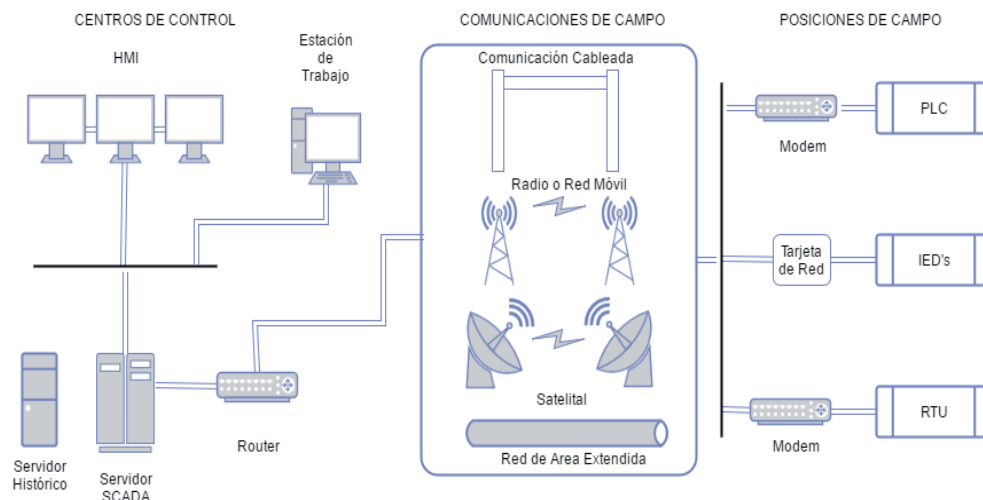


Figura 4-2: Estructura de los Sistemas SCADA – Fuente, elaboración propia.

Profundizando un poco, los componentes esenciales de un sistema SCADA y su descripción, se presentan a continuación, obtenidos de [4]:

- **Operador:** Es la persona que está constantemente monitoreando el sistema y alerta de forma remota a la operación del proceso en la planta y ejecuta funciones de control supervisor.

- **HMI (Human Machine Interface):** Es la aplicación o software mediante el cual el operador puede interactuar con el sistema. Provee información simplificada del sistema controlado, variables de control y gráficos de tiempo y tendencias históricas del comportamiento de una determinada variable.
- **MTU (Master Terminal Unit):** Corresponde a la unidad central en una arquitectura maestro esclavo. La MTU presenta los datos al operador a través del software HMI, reúne la información de las unidades remotas, y transmite las señales de control a los sitios distantes.
El flujo de datos entre las MTU y las unidades remotas es discontinuo, de baja velocidad y alta latencia. Esto hace que los métodos de control sean por lo general realizados en lazo abierto.
- **RTU (Remote Terminal Unit):** Corresponde al esclavo en una arquitectura Maestro/Esclavo. Envía señales de control a los actuadores y recibe señales de los sensores. Adicionalmente, recolecta la información de estos dispositivos y transmite los datos a la MTU. Existen además los IED's y PLC los cuales pueden prescindir de estas RTU, o bien, ser utilizados como una de ellos. La velocidad de transmisión entre un RTU y los dispositivos sensores actuadores es alta, lo que hace posible la implementación de control en lazo cerrado.

4.4 Software de un sistema SCADA

Por lo general todos los componentes de software presentes en un sistema SCADA se encuentran en la MTU. Existen 3 plataformas de software que se describen a continuación, obtenidos de [1]:

- **Sistema Operativo:** El software que actúa de interfaz entre el hardware y los demás softwares de la MTU. Coordina y gestiona los recursos de hardware para que se ejecuten las aplicaciones. El sistema operativo debe presentar características de estabilidad y confiabilidad que aseguren el mejor desempeño y cumplimiento de los requerimientos funcionales de la plataforma.
- **Software Principal:** Conocido comúnmente como “Core del SCADA”, corresponde a un paquete de software estándar que es configurado para cada sistema en particular. En general, este software es desarrollado por fabricantes para comunicarse con sus propios dispositivos de control, y utilizan protocolos de comunicación propietarios que no son compatibles con los desarrollos de otras compañías. Esto obliga la utilización de dispositivos y software de un solo fabricante que no son compatibles con los desarrollados por otros fabricantes. Sin embargo, el desarrollo de sistemas “Core SCADA” de código abierto capaces de interoperar con dispositivos de distintos fabricantes, han ganado popularidad. La capacidad de implementar protocolos de comunicación estándares y propietarios, permite utilizar equipos de diferentes fabricantes en la misma implementación.

El software principal se caracteriza por implementar las siguientes cinco tareas, cuya funcionalidad se detalla a continuación:

Todos los dispositivos que se encuentran enmarcados en rojo corresponden a RTU's de diferentes marcas (Entre ellas, Siemens y Telvent) que se encuentran sin comunicación o nunca han funcionado. Solamente aquellas que se indican en verde corresponden a las que están con adecuada comunicación y funcionando actualmente.

Como se puede apreciar en la figura los protocolos de comunicación que se utilizan corresponde a los 3 mencionados anteriormente en la introducción (Diseñados especialmente para Sistemas SCADA Eléctricos). Además cada RTU tiene asignado una dirección IP, lo que nos indica que se utiliza como base el protocolo TCP/IP.

Los Switch corresponden en su mayoría a RSG2100, los cuales operan hasta el nivel de la capa 3 del modelo de referencia OSI.

Las RTU que corresponden a la Mina a Rajo Andina son del modelo SICAM AK ACP 1703 de Siemens.

La Figura 4-4, muestra que el sistema SCADA está compuesto por una red de proceso en donde se conectan todos los dispositivos de campo, como por ejemplo, RTU's, IED's, Switch. Por otra parte está la red corporativa que, gracias a un cortafuego y un servidor web, permite que la red privada de Codelco Andina pueda conectarse a Internet Mediante NAT y además conectarse a la red de proceso de manera remota, siempre y cuando se encuentre en una conexión de la red corporativa de Codelco Andina.

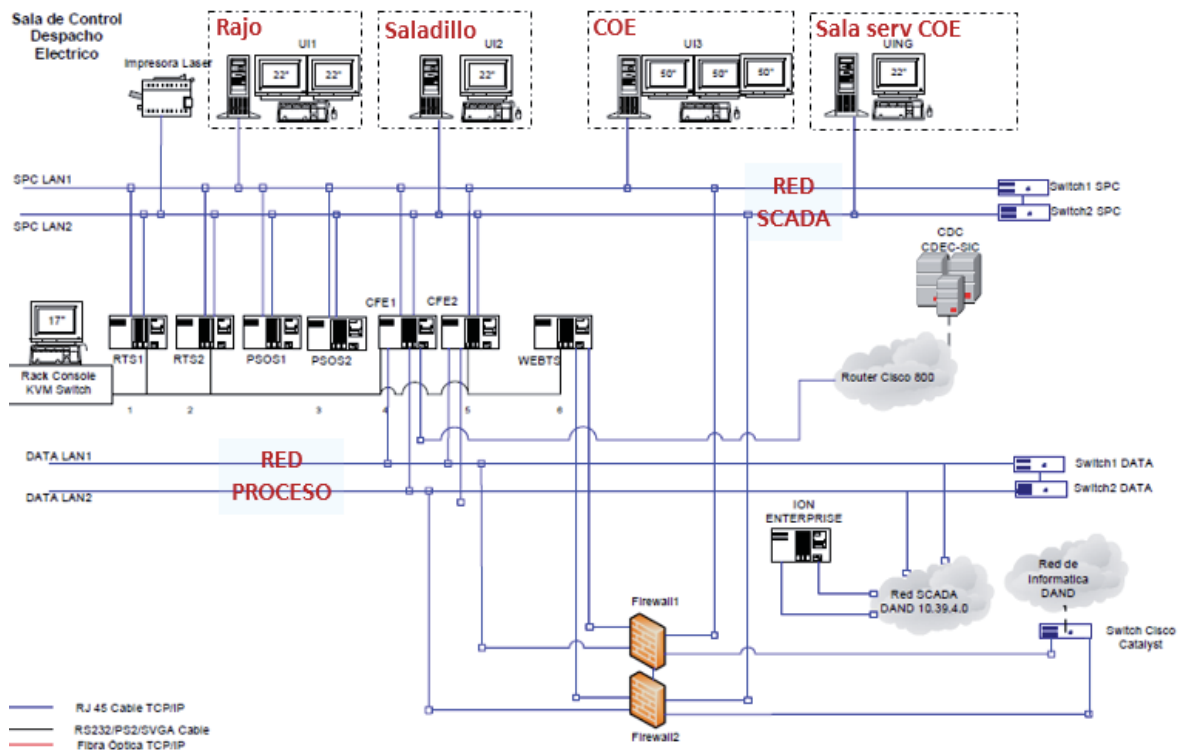


Figura 4-4: Diagrama de conexiones del sistema SCADA general – Fuente, Codelco Andina.

Los servidores históricos (PSOS1 y PSOS 2), servidores de tiempo real (RTS1 y RTS2) y servidores de comunicación con el CDEC-SIC (CFE1 y CFE2) que se comunican mediante protocolo ICCP con el CDEC, se encuentran en una configuración redundante, esto quiere decir que, si alguno de los dos servidores llegara a fallar, automáticamente el otro brinda respaldo mientras es reparado. Pero en el caso del servidor web no se presenta esta configuración, debido a que solo existe uno.

La consola, que se encuentra ubicada en el rack de la estación maestra, tiene como objetivo revisar periódicamente los usuarios conectados a la red de proceso y además verificar las capacidades de los discos duros de los servidores históricos. Estos servidores históricos deben ser borrados de manera periódica a fin de garantizar el constante almacenamiento de datos nuevos.

4.6 Estaciones de Maniobra EM1 y EM2

Las estaciones de maniobra que existen al interior de la Mina son de idéntica construcción y configuración, por lo que basta analizar los esquemas de una de ellas (Figura 4-5) para ver cuáles son los aspectos más relevantes de mencionar.

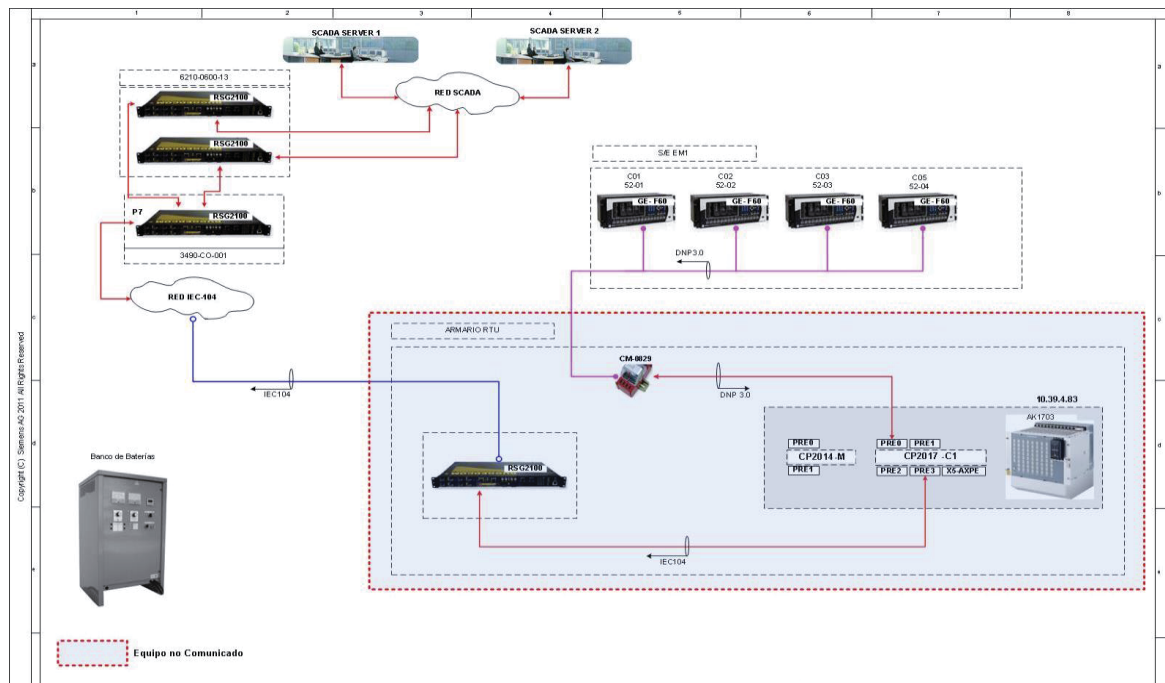


Figura 4-5: Estructura del Sistema SCADA de la estación de maniobra – Fuente, Codelco Andina..

Los relés que comandan los interruptores de potencia de la estación de maniobra 1 Corresponden a F60 Multilin de General eléctrico (con puertos seriales de conexión RS485 y RS232) y puerto RJ45. La conexión utilizada es denominada Daisy Chain (Cadena Margarita, sucesión de enlaces, tal que un dispositivo A es conectado a un dispositivo B, el mismo dispositivo B a un dispositivo C, este dispositivo C a un dispositivo D, y así sucesivamente..

El dispositivo que se aprecia entre los relés F60 y la RTU es un conversor de medios. Cumple la función de pasar de un determinado tipo de cable a otro tipo de cable, manteniendo el mismo

protocolo de comunicación. Se tiende a confundir el tipo de cable con el protocolo de comunicación que se está utilizando.

Dado que el alcance de la memoria se enfoca en poder visualizar variables eléctricas de las estaciones de maniobra EM1 y EM2 desde la estación del 4° piso, no se profundizará en las otras áreas de la Mina.

4.7 Conclusiones

En este capítulo se describe en forma simplificada los principales componentes de un sistema SCADA. Adquiriendo, un conocimiento general de los elementos que lo componen y de las tecnologías existentes para su interconexión.

Cabe destacar que existen numerosos fabricantes de dispositivos, los cuales se encargan de crear sus propios sistemas de comunicación, incluyendo sus respectivos protocolos de comunicación por capa. Esto dificulta enormemente la interconexión utilizando dispositivos de diferentes fabricantes. Este es uno de los principales motivos por los cuales aparecen los protocolos estándar del Modelo de referencia OSI y el modelo de referencia TCP/IP. Los fabricantes, no desarrollan sus productos idénticamente con estos tipos de protocolos, pero si los utilizan como base.

Se analizaron los principales diagramas de conexión del sistema SCADA general y de las Estaciones de Maniobra de la Mina Rajo. Donde se mostraron los principales puntos de fallas.

5 Propuesta e Implementación

5.1 Introducción

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos luego del estudio de los manuales del programa Spectrum Power5 y la intervención del mismo software ingresando a la estación de ingeniería con usuario y contraseña de administrador. Solo de esta forma es posible ingresar al IMM y hacer modificaciones en los diagramas unilineales o creación de estos mismos en el worldmap. Todo lo referente a la explicación del procedimiento para realizar las intervenciones se explica en detalle en los anexos D y E.

5.2 Estandarización del diseño de pantallas

En primera instancia, la poca homogeneidad en el diseño de las pantallas anteriores, correspondientes a los diagramas unilineales del software Spectrum Power 5, diseñadas por diferentes personas o empresas contratistas. Motiva la propuesta de generar un diseño estándar, aplicado a todas las pantallas del Sistema SCADA.

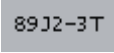
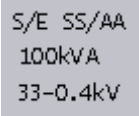
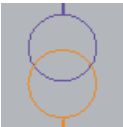

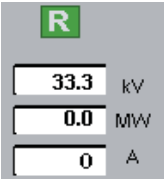


En su momento, la empresa Siemens, no dejó totalmente habilitado el sistema y debido a ello se producen este tipo de incongruencias de diseño y además defectos de comunicación. Actualmente el sistema no se encuentra habilitado más allá de un 40%, debido a que hay muchas salas eléctricas que no están emitiendo información ya sea por desconfiguración o la no existencia de un medio o canal para que se genere la comunicación.

Dentro de las principales modificaciones en las pantallas, se destaca la estandarización de:

- Tipos de letra de Tag's
- Tamaño de los botones de enlace
- Tamaño del identificador de pantalla
- Creación de logo de la institución
- Simetría y uniformidad de los diagramas unilineales

Para generar la estandarización se utilizaron los siguientes tipos de letras colores y dimensiones de los elementos que componen las pantallas del sistema SCADA además de agregar el logo identificador de la empresa CODELCO, mostrados en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Tabla de estandarización de los elementos que componen las pantallas del SCADA.

Elemento	Características Estándar
	<p>Elemento: TAG identificador de interruptor</p> <p>Tipo de letra: Lucida Console</p> <p>Tamaño de letra: 12</p>
	<p>Elemento: TAG identificador de transformador</p> <p>Tipo de letra: Lucida Console</p> <p>Tamaño de letra: 13</p>
	<p>Elemento: Transformador</p> <p>Tipo: Transformador simbología circular</p> <p>Diámetro: 40 [um]</p>
	<p>Elemento: Identificador de Pantalla</p> <p>Código de color: # 00080</p> <p>Tipo de letra: Arial N°18</p> <p>Tamaño: 180 x 30 [um]</p> <p>Botones auxiliares: 45 x 20 [um]</p>
	<p>Elemento: Visualización de valores instantáneos de Tensión, Corriente y potencia en la barra respectiva.</p> <p>Estandarización de visualización de estas 3 medidas para evitar demasiada información en pantalla. Si se quiere otra información se puede obtener de los Históricos.</p>
	<p>Elemento: Botones de enlaces</p> <p>Tipo de letra: Arial N°11</p> <p>Tamaño: 100 – 120 x 40 [um]</p>
	<p>Elemento: Logo de Codelco Andina, ubicado en cada una de las pantallas.</p> <p>Tamaño: 120 x 120 [um]</p>

5.3 Contraste de pantallas

La cantidad de pantallas que fueron modificadas son 23, pero para efectos de no extender innecesariamente el informe se mostrará las más relevantes.

La Sala eléctrica Don Luís Nivel 8, es la alimentación principal de la mina a rajo Andina. La figura 5-1 muestra el diagrama unilineal que existía antes de la modificación de pantallas que se efectuó, claramente se puede apreciar que los TAG (etiqueta, identificador alfanumérico de los dispositivos de campo en el software) de los interruptores, subestaciones y botones están en negrita. Esto dificulta bastante la visualización de estos y además visualmente no es agradable, debido a ello fue pedido la modificación de estos TAG para hacerlos más presentables visual y estéticamente.

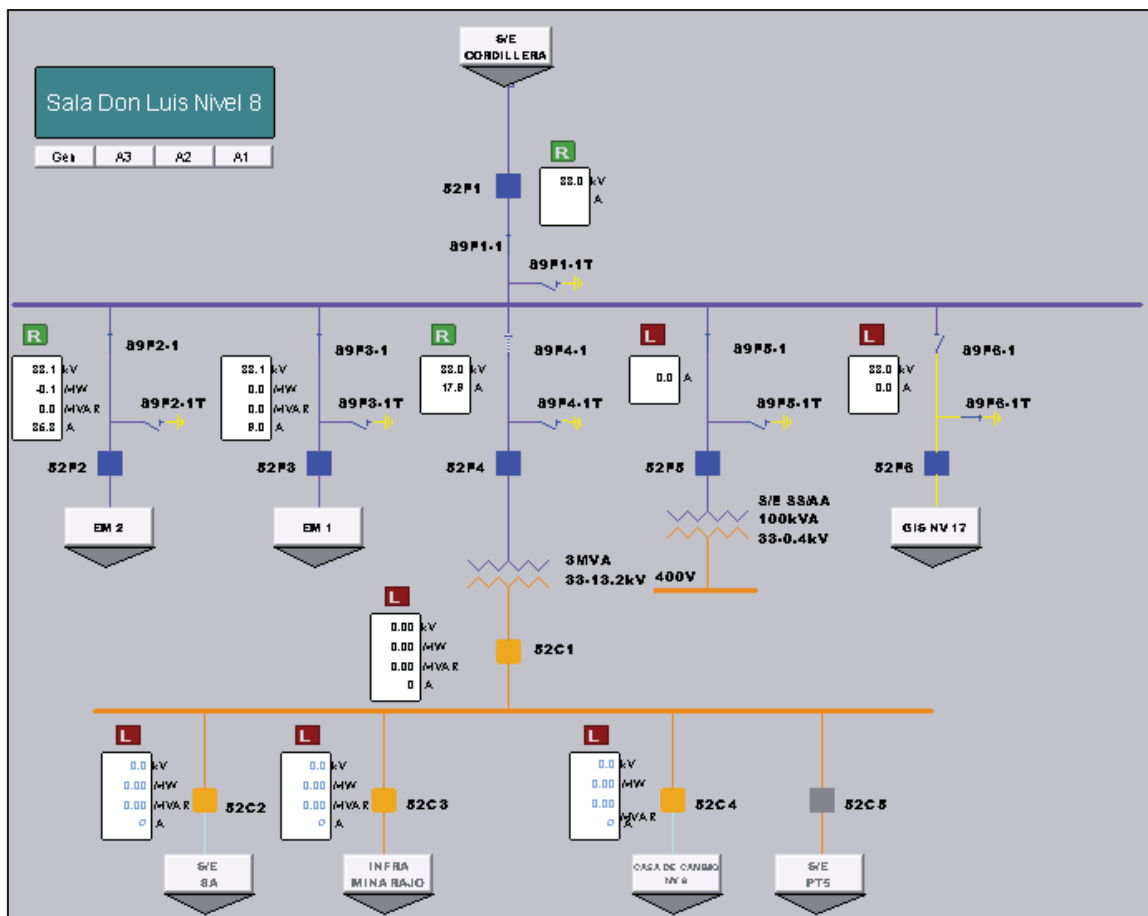


Figura 5-1: Sala eléctrica Don Luís Nivel 8 antes de la edición – Fuente, elaboración propia.

Las sombras debajo de los botones de enlace no cumplen función alguna y debido a ello deben ser removidos para evitar información innecesaria en las pantallas. Conjuntamente con ello se modifica la forma del transformador a circular y las pantallas de visualización de valores de variables se hacen independientes para cada una de ellas.

En general el tipo de estandarización queda descrito en la tabla 5-1 mostrada anteriormente.

5 Propuesta e Implementación

Como se puede apreciar en la figura 5-2, se muestra la pantalla del diagrama unilineal de la sala eléctrica Don Luis nivel 8. Las modificaciones son evidentes y permiten una mayor claridad en la visualización de los TAG de cada uno de los interruptores y subestaciones presentes.

Para cambiar los transformadores, estos deben borrarse y reemplazarse por los nuevos devanados circulares y es necesario volver a enlazarlos al TAG respectivo del árbol de instancias como se explica en el anexo D.

Se crea un logo identificador de los diagramas unilineales, como se puede apreciar en la figura 5-2 en la esquina superior derecha. El logo cumple la función de identificar a que empresa pertenecen los diagramas unilineales.

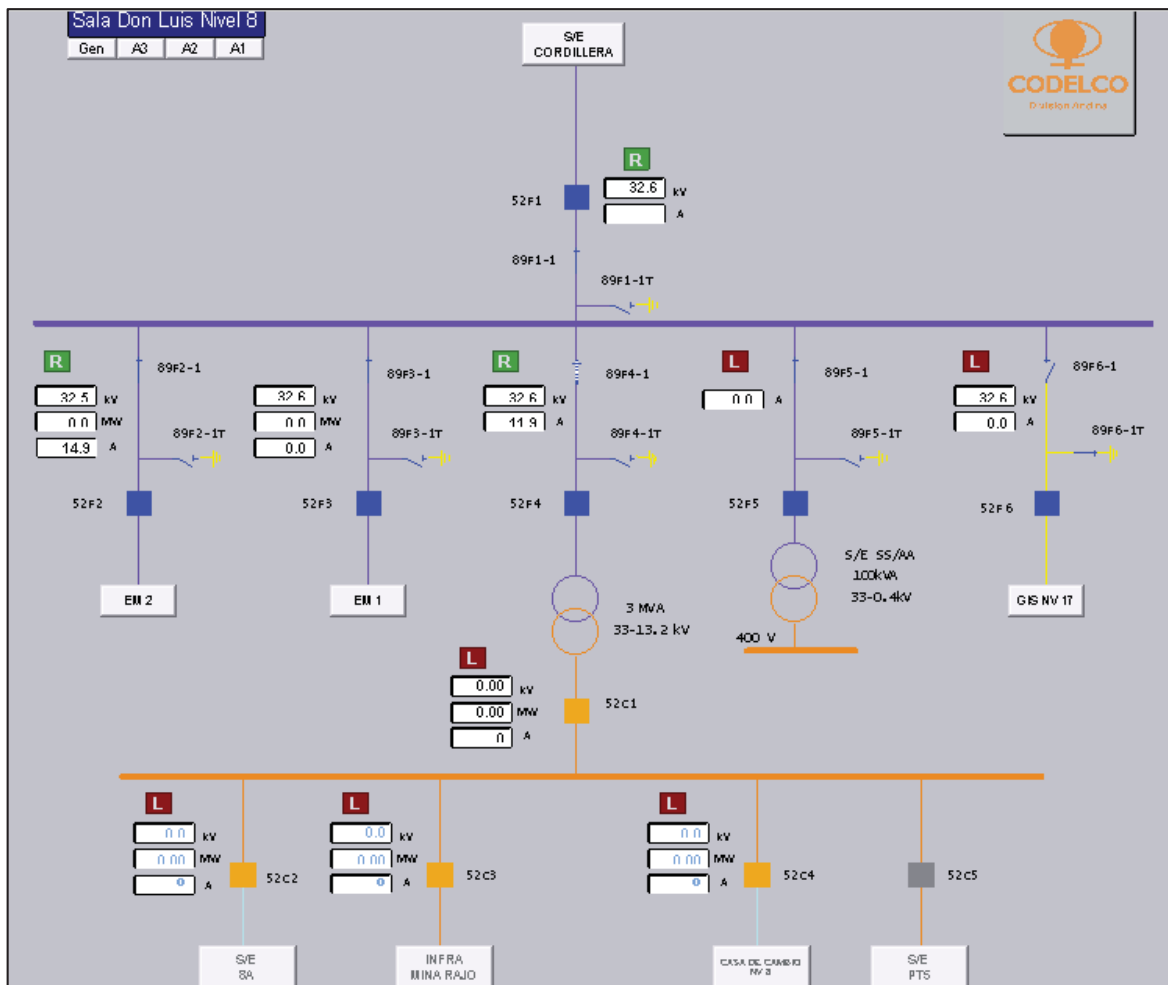


Figura 5-2: Sala eléctrica Don Luis Nivel 8 antes de la edición– Fuente, elaboración propia.

En cuanto al identificador de pantalla se hace proporcional debido a que el anterior tenía dimensiones mayores que lo hacían poco armonioso visualmente.

Las Figuras 5-3 y 5-4, se muestran de forma Horizontal debido al tamaño de la pantalla. Esta pantalla corresponde a la alimentación principal de la Mina.

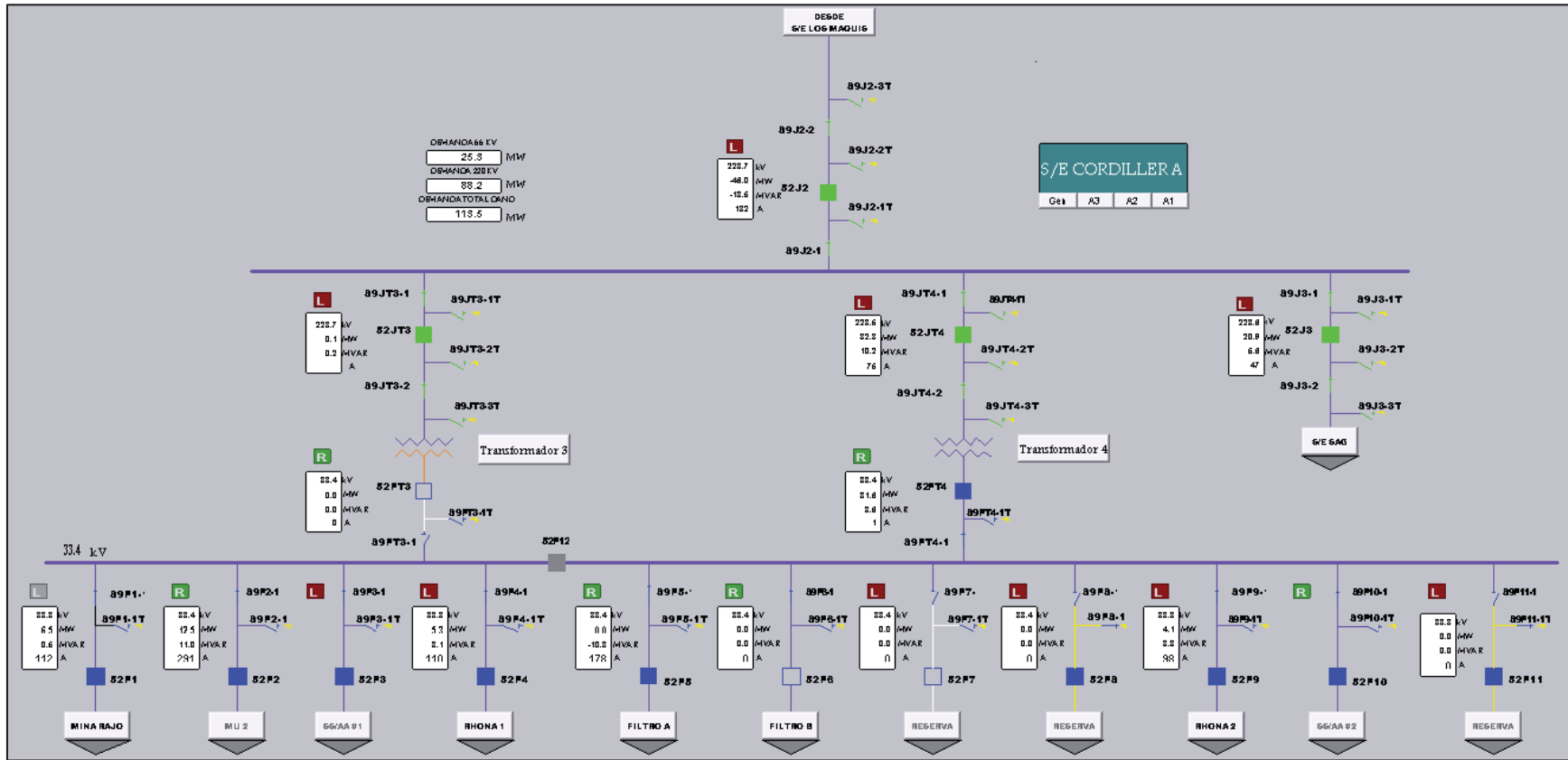


Figura 5-3: Subestación Eléctrica cordillera antes de la modificación- Fuente, elaboración propia.

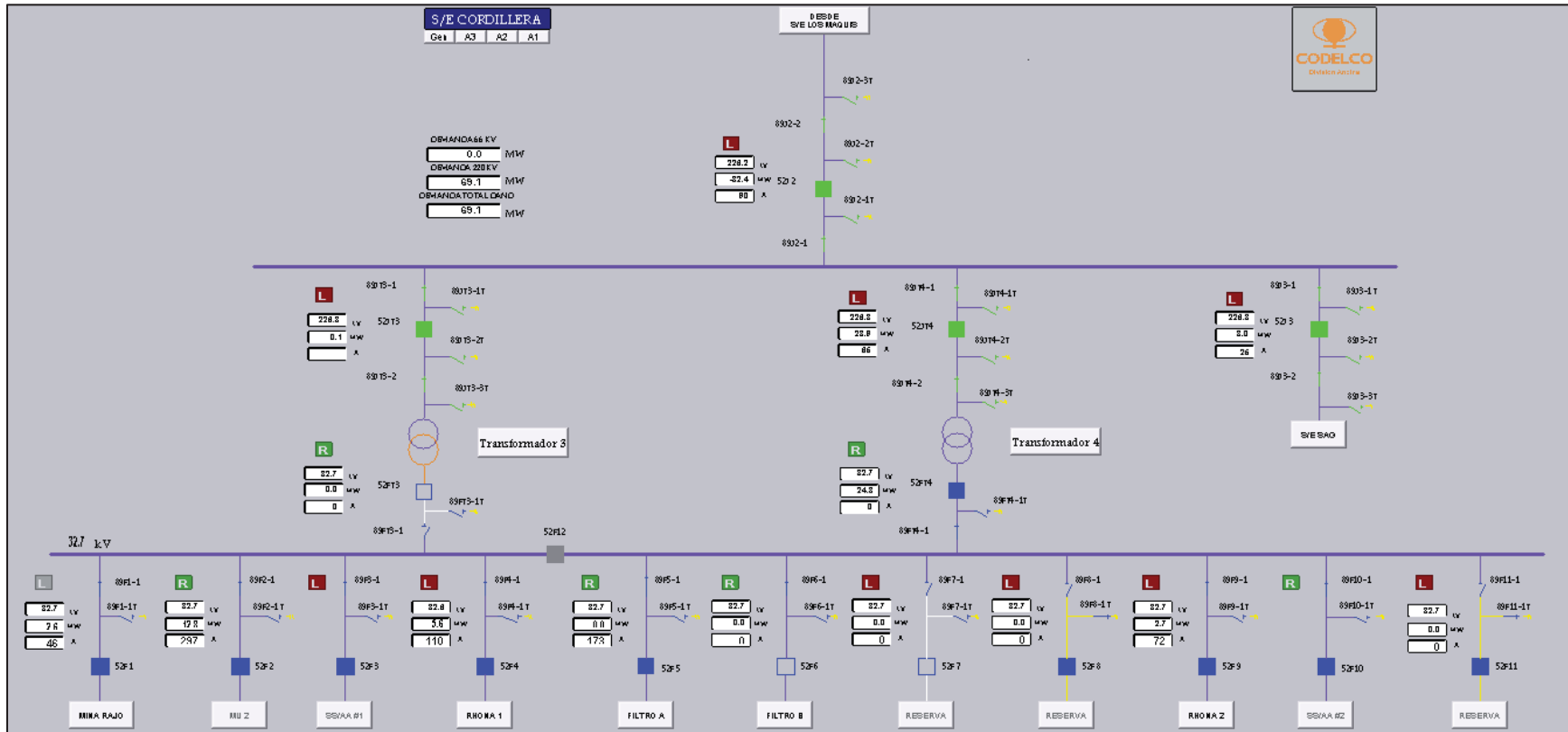


Figura 5-4: Subestación Eléctrica Cordillera después de la modificación- Fuente, elaboración propia.

Las modificaciones son estándar, en la figura 5-5, se muestran las diferencias con respecto al diseño anterior de la figura 5-6.

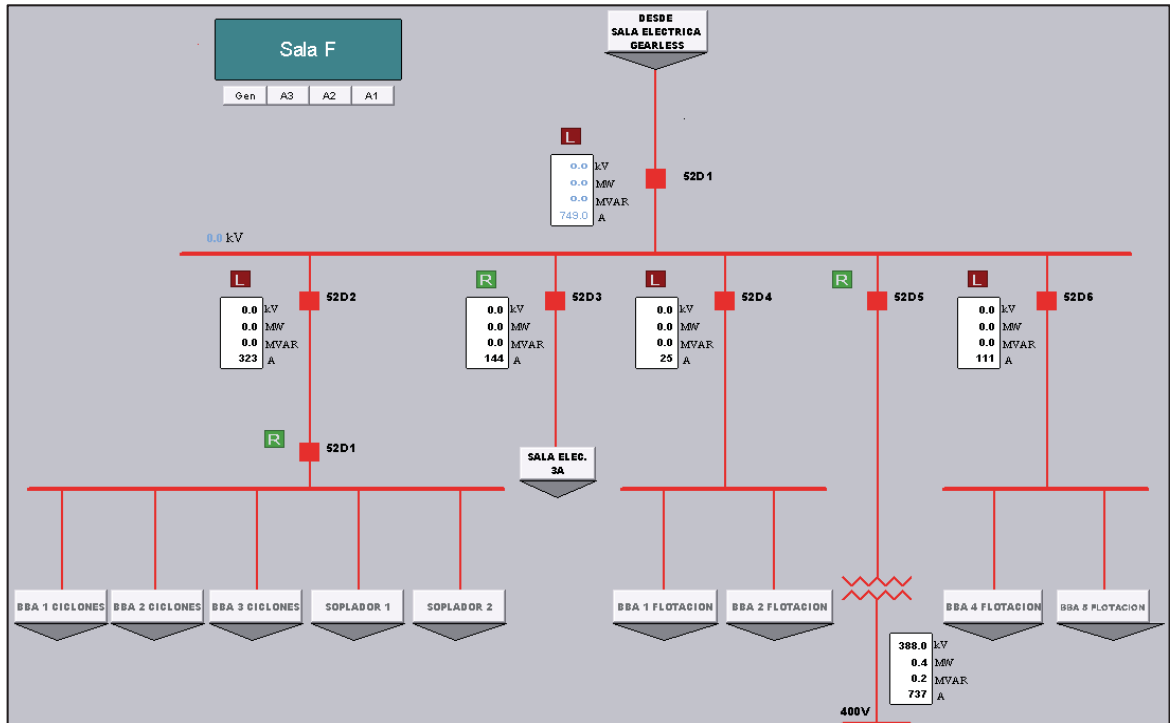


Figura 5-5: Sala Eléctrica F antes de la modificación– Fuente, elaboración propia.

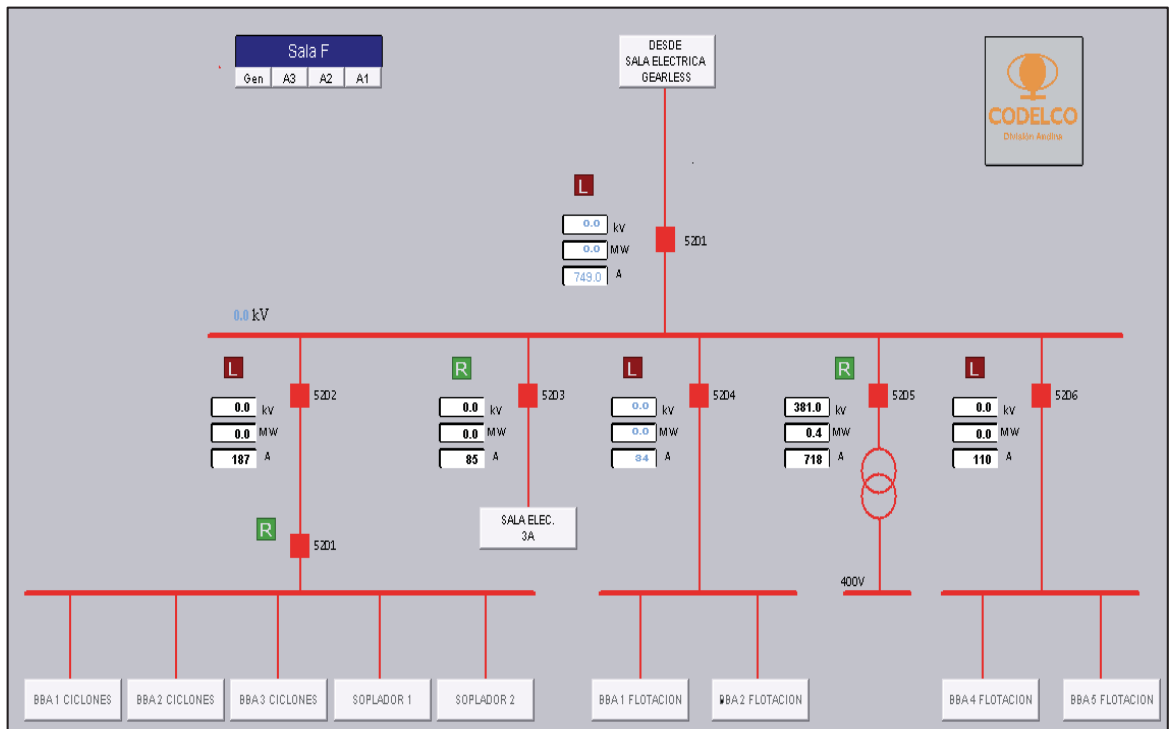


Figura 5-6: Sala Eléctrica F después de la edición– Fuente, elaboración propia.

5 Propuesta e Implementación

La Sala eléctrica SAG presentaba bastantes irregularidades gráficas (Figura 5-7) y de enlace de los elementos con sus respectivos TAG en el árbol de instancias jerárquico, las cuales fueron corregidas (Figura 5-8).

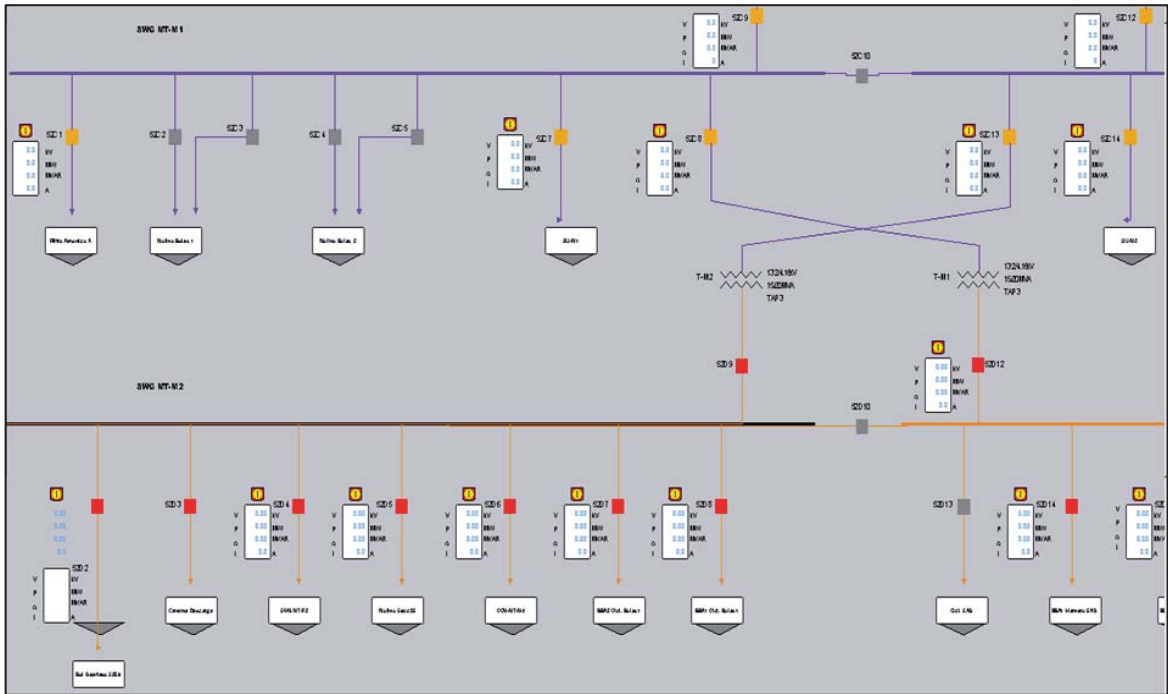


Figura 5-7: Sala Eléctrica SAG antes de la edición– Fuente, elaboración propia.

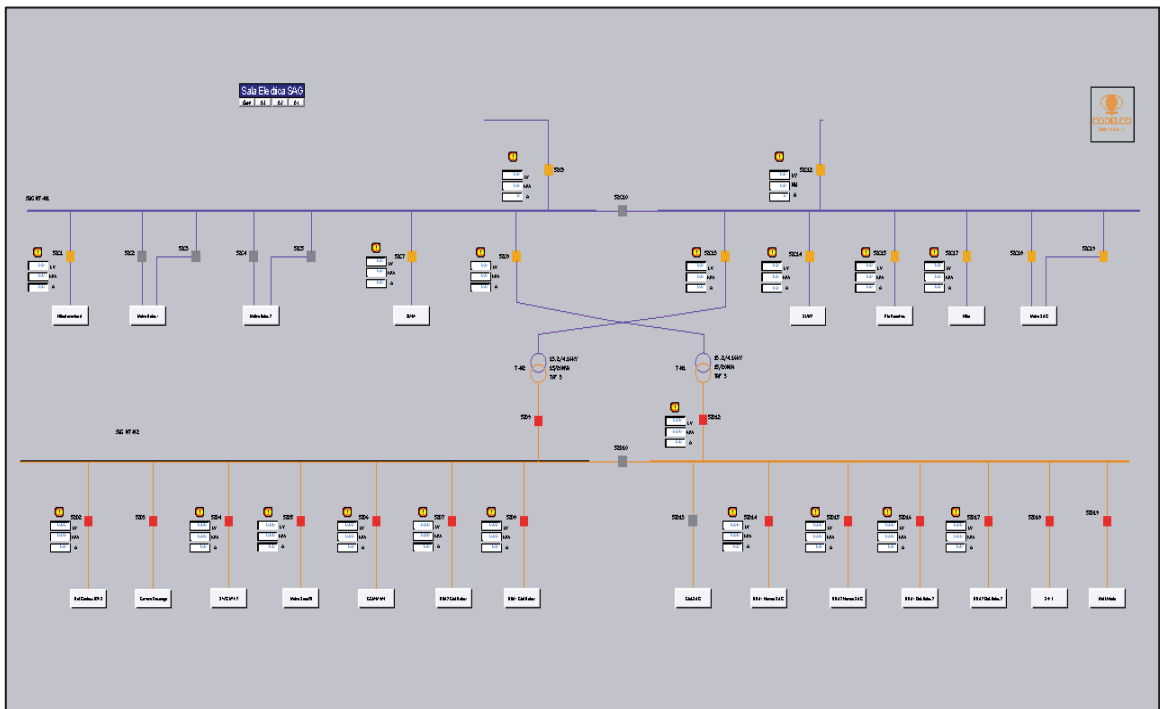


Figura 5-8: Sala Eléctrica SAG después de la edición– Fuente, elaboración propia.

La figura 5-9, muestra las dos estaciones de bombeo de manera simultánea, antes de ser estandarizadas. En la figura 5-10, se muestran luego de haber sido modificadas, se puede observar un todo de mayor formalidad.

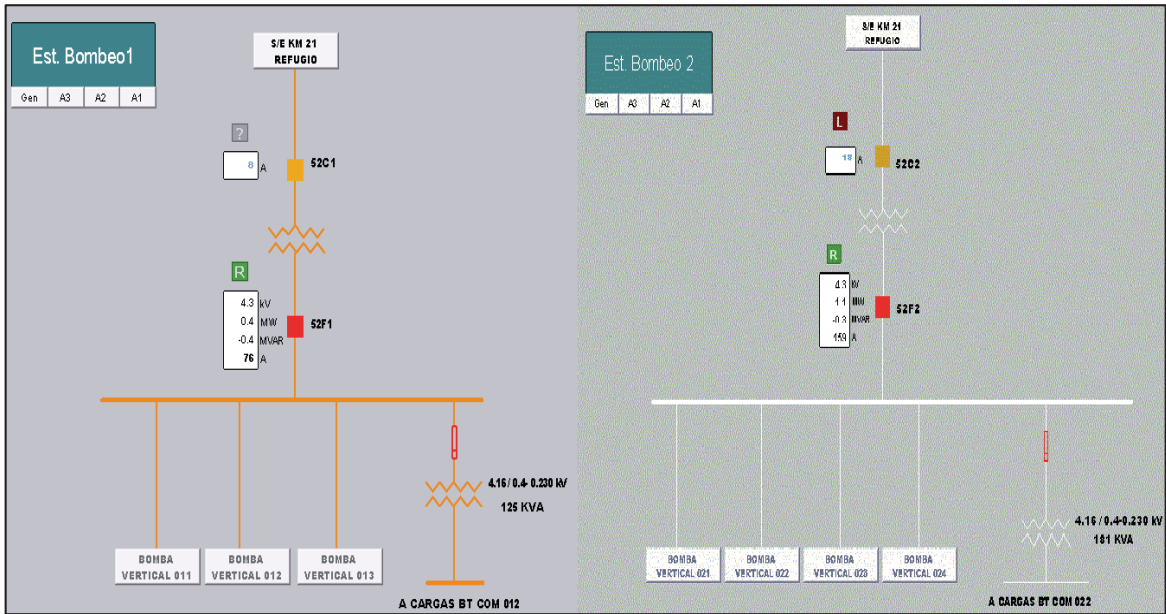


Figura 5-9: Estación de Bombeo 1 y 2 antes de la Modificación– Fuente, elaboración propia.

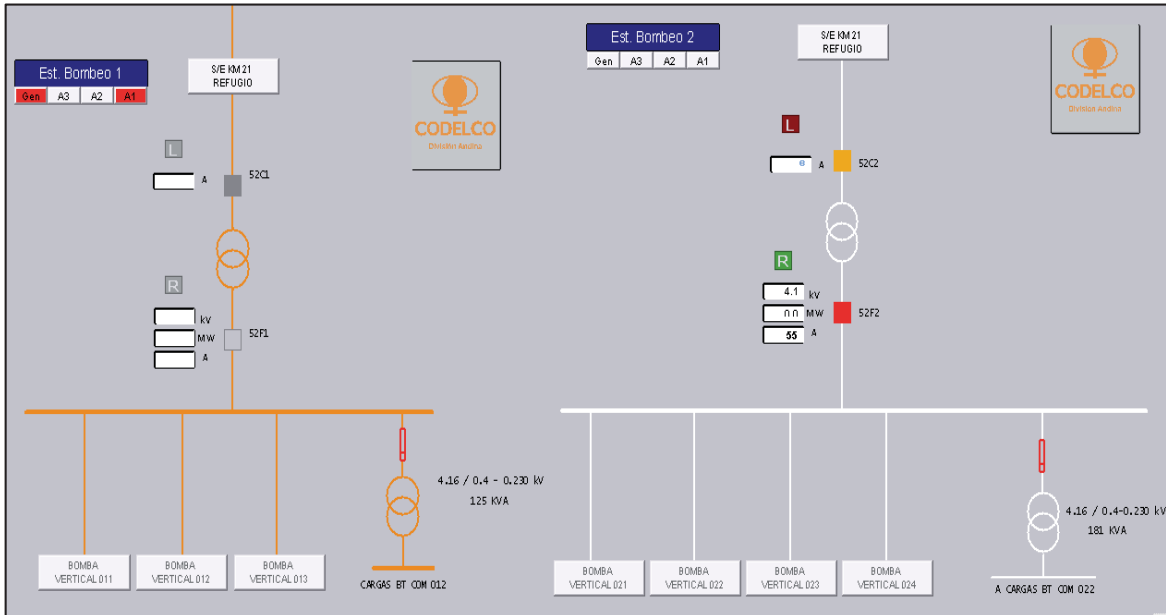


Figura 5-10: Estación de Bombeo 1 y 2 después de la Modificación– Fuente, elaboración propia.

Algunas pantallas se muestran sin comunicación en ocasiones, debido a que el sistema SCADA no se encuentra operativo al 100% en la actualidad y está sujeto a constantes modificaciones por parte de empresas externas.

Como se puede apreciar en la figura 5-11 las sombras que aparecen debajo de los botones de enlace no cumplen ninguna función y contaminan el espacio gráfico.

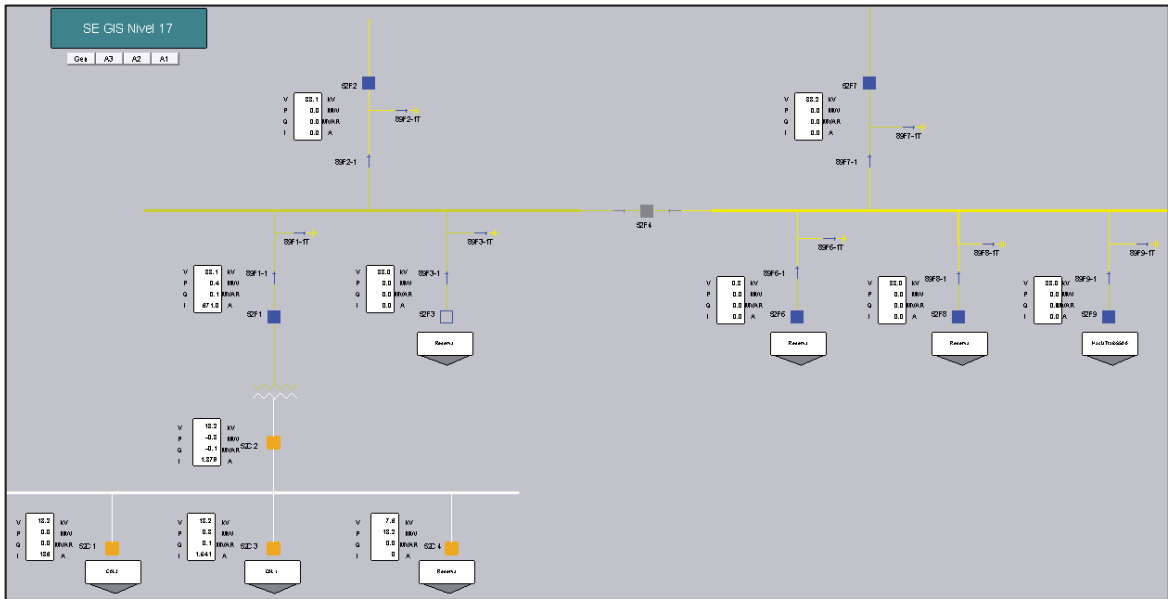


Figura 5-11: Sala GIS Nivel 17 Antes de Modificación– Fuente, elaboración propia.

Por otra parte en cuanto al símbolo de la unidad mostrada en las cajas blancas de mediciones, resultan redundantes debido que para ello se muestran las unidades de cada una de las magnitudes eléctricas. La figura 5-12, muestra las modificaciones efectuadas en la S/E GIS, se observa una pantalla con menos contaminación y mayormente despejada, lo que permite apreciar con claridad los elementos relevantes del sistema.

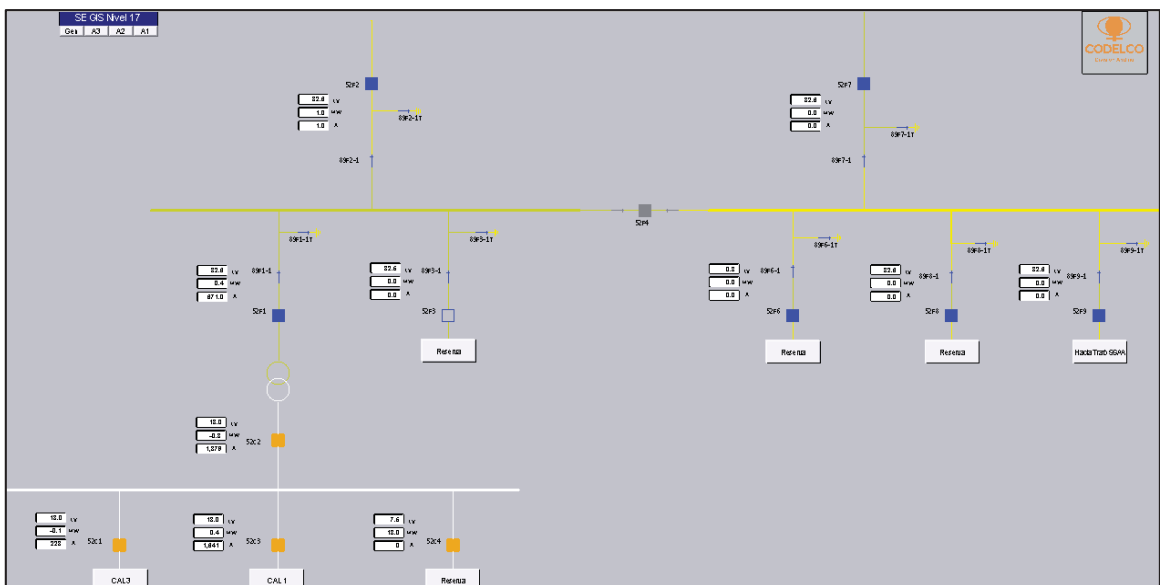


Figura 5-12: Sala GIS Nivel 17 después de Modificación– Fuente, elaboración propia.

Como se puede apreciar en las figuras 5-13 y 5-14 las modificaciones gráficas no afectan el funcionamiento de las pantallas que actualmente están en operación.

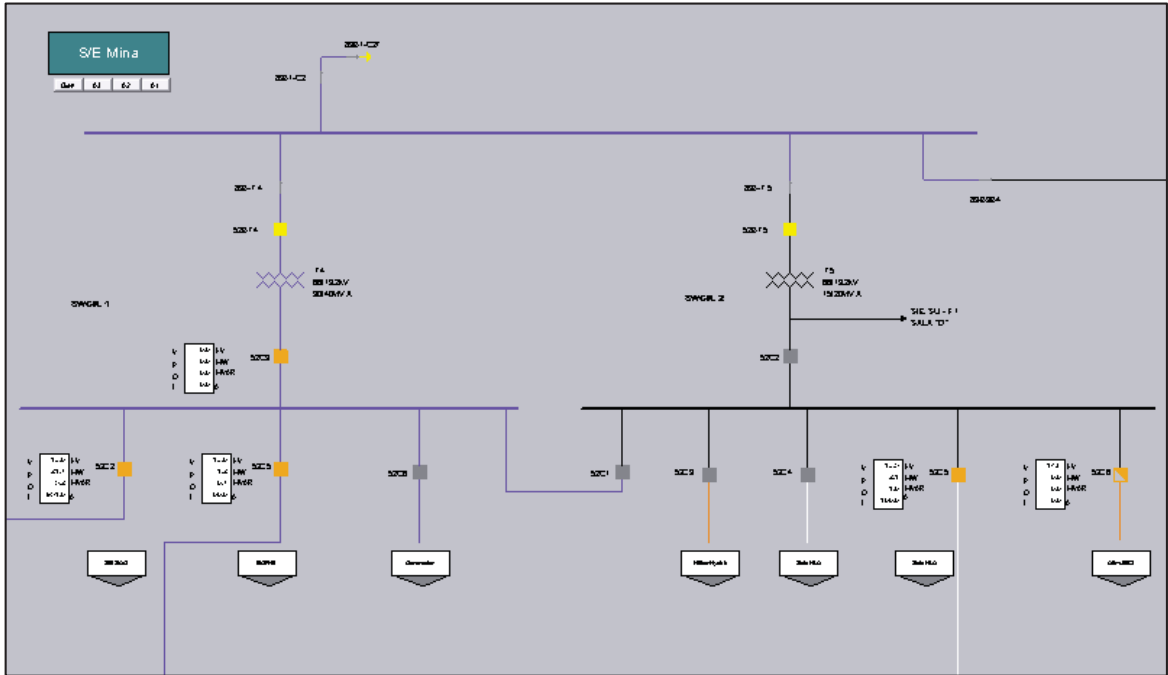


Figura 5-13: Subestación Eléctrica Mina antes de Modificación– Fuente, elaboración propia.

Las pantallas descritas se obtienen con el sistema en funcionamiento, lo cual se puede apreciar al observar las medidas indicadas por los rectángulos de indicación.

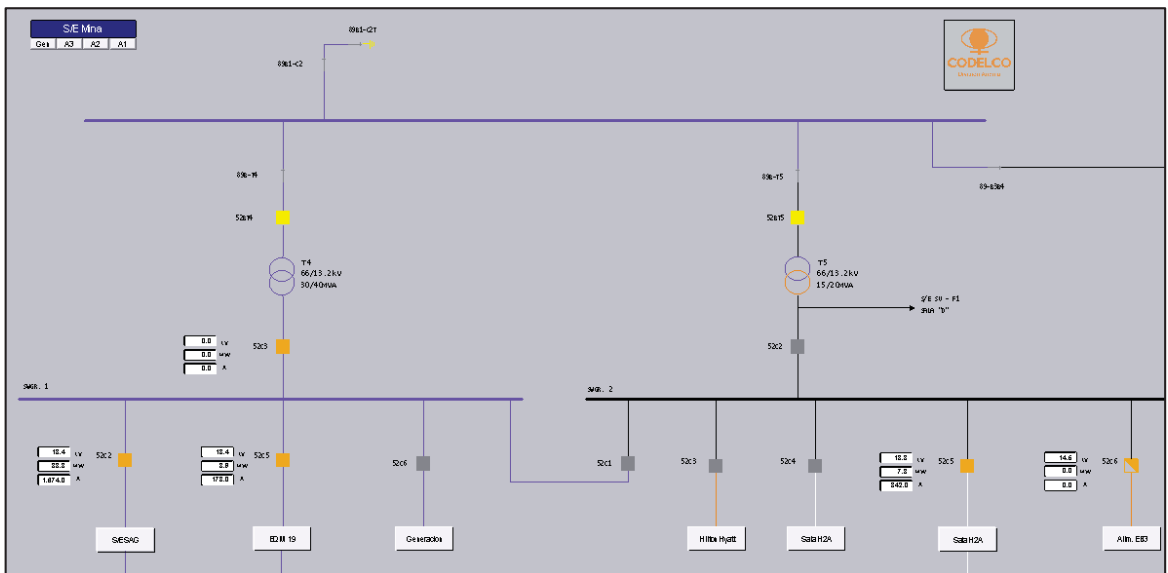


Figura 5-14: Subestación Eléctrica Mina después de la modificación– Fuente, elaboración propia.

Finalmente, a modo de ejemplo, se muestra una última pantalla, figura 5-15 (antes) y figura 5-16 (después), de un total de 23 pantallas modificadas.

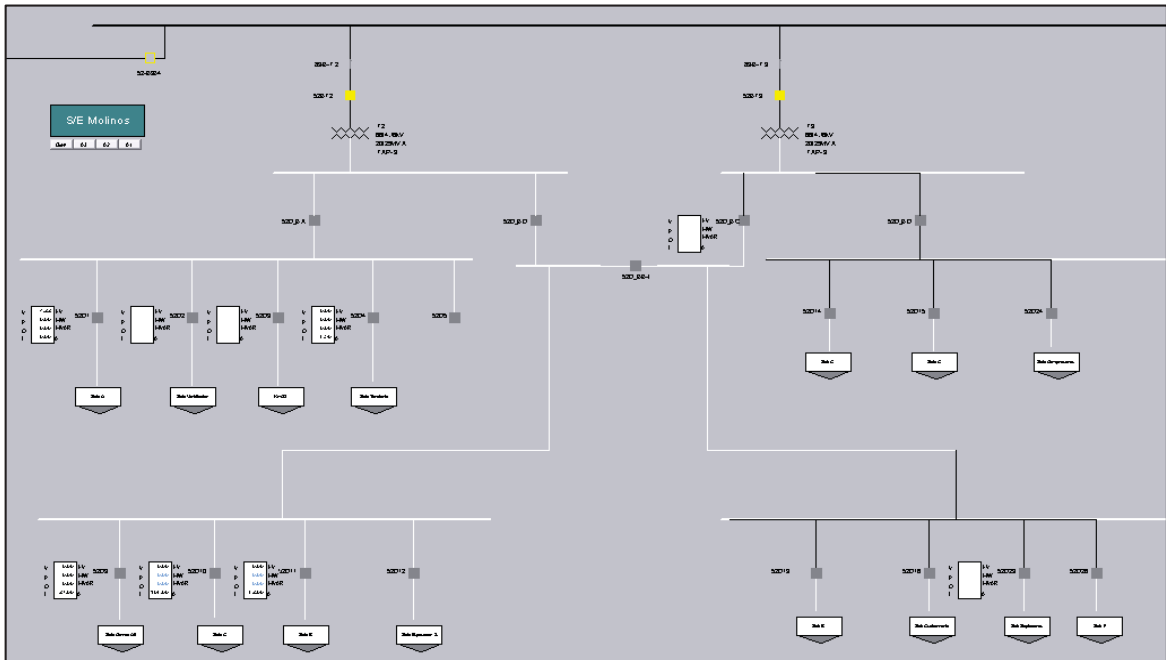


Figura 5-15: Sala Eléctrica Molinos Antes de la Modificación– Fuente, elaboración propia.

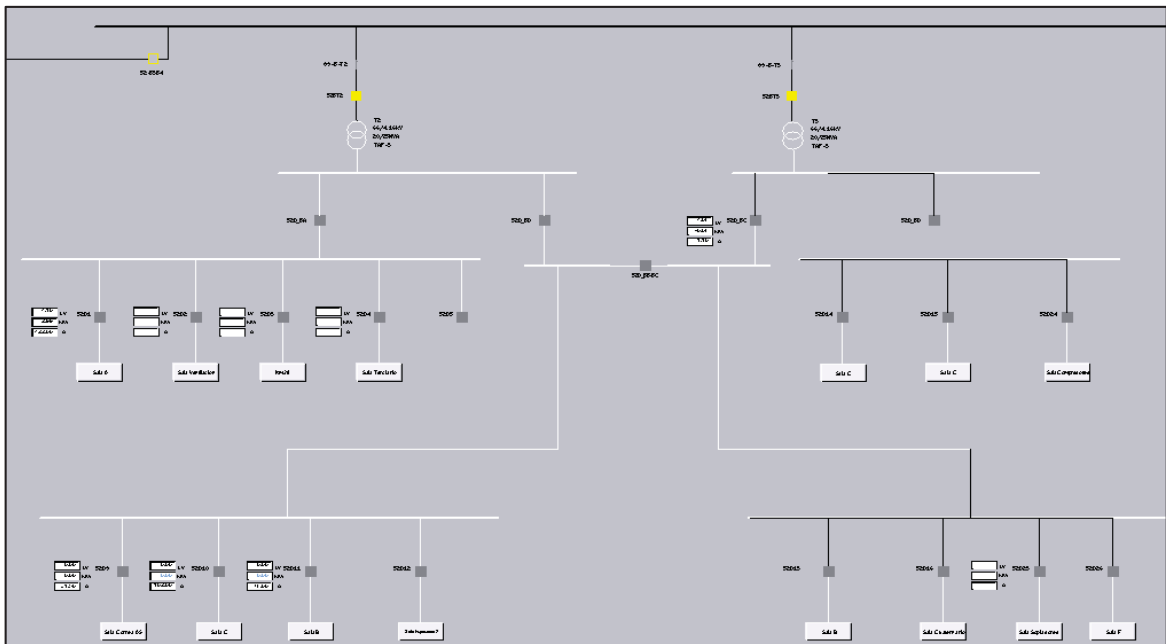


Figura 5-16: Sala Eléctrica Molinos después de la modificación– Fuente, elaboración propia.

En Anexo D, se explica cómo modificar las pantallas, en el editor gráfico del software Spectrum Power 5.

5.4 Creación de las Pantallas Mina Rajo Andina.

En cuanto a la creación de las pantallas de Mina Rajo Andina, se debe seguir el mismo formato existente en las otras pantallas.

Debido a que los TAG de todos los equipos existentes dentro de la mina fue creado por la empresa Siemens al momento de la instalación del sistema, solo faltaba crear los diagramas unilineales en el Worldmap y enlazar cada uno de los elementos que lo componen : Transformador, Líneas. Barras, Relés de protección, botones de enlace, con el árbol de instancias. Como se explica en el anexo 1.

En base a los planos existentes actualizados, de la Mina a Rajo Andina, que aparecen en el capítulo 2, se diseñaron las pantallas que se muestran a continuación.

5.4.1 Pantalla EM1 y SEM1

Como se puede apreciar en la figura 5-17, se muestra el diagrama unilineal creado para la EM1 y SEM1. Debido a que físicamente se encuentran en la misma ubicación se dibujaron ambas en una misma pantalla, y para diferenciar ambas se enmarcó la SEM1 en un rectángulo.

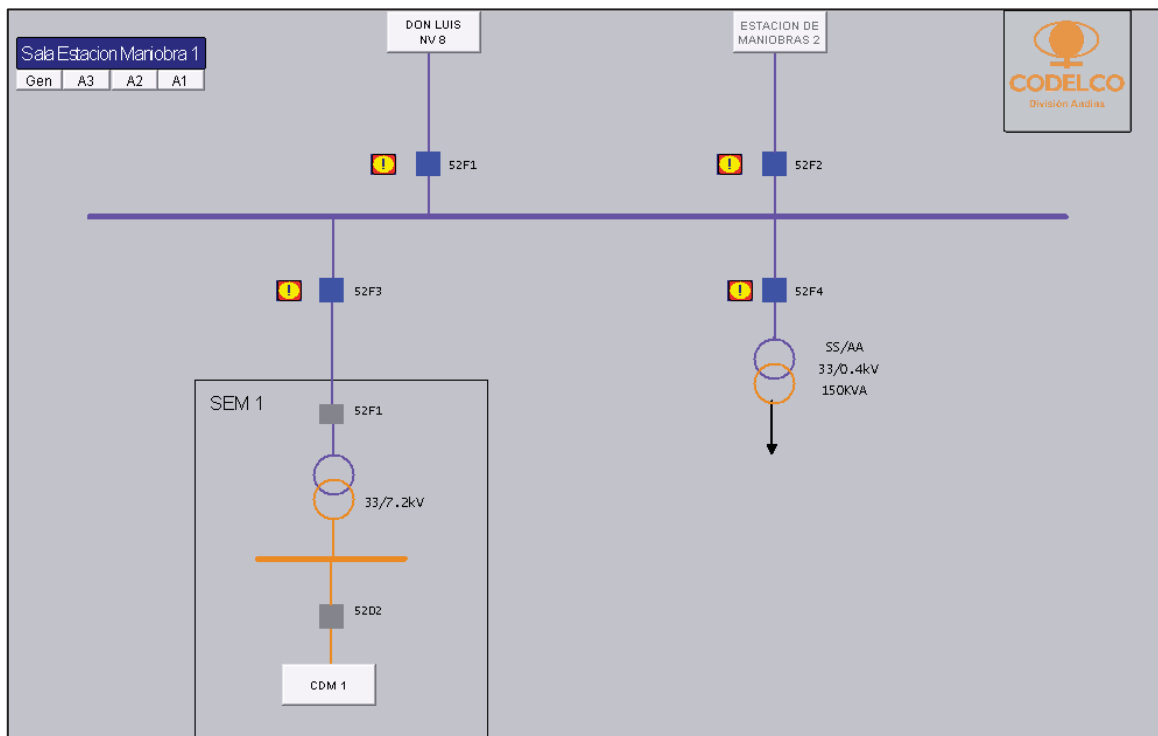


Figura 5-17: Pantalla creada para EM1 y CDM1– Fuente, elaboración propia.

Se puede apreciar la alimentación que proviene de Don Luis Nivel 8 y la interconexión con la Estación de maniobra 2.

5.4.2 Pantallas EM2 y SEM2

Se puede decir que ambas ramas del SEP de la mina Rajo son idénticas, debido a que fueron diseñadas con ese objetivo, para tener una uniformidad en los repuestos o reparaciones que pudiesen ser necesarias. Debido a este motivo que ambas son muy similares en el diseño de pantalla, esto se aprecia claramente en la figura 5-18.

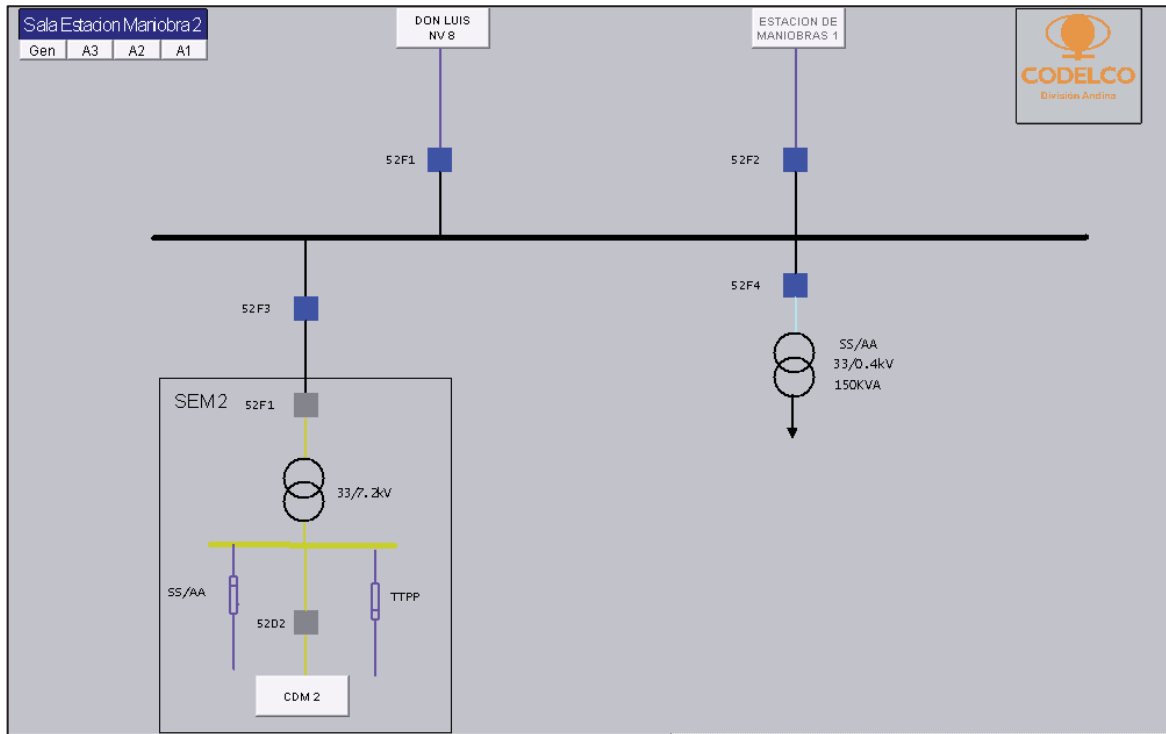


Figura 5-18: Pantalla creada para EM2 y SEM2– Fuente, elaboración propia.

La diferencia de la estación de maniobra 2 con la estación de maniobra 1 es que se adicionó un transformador de servicios auxiliares y un transformador de potencial.

Debido a que aún no se solucionan del todo los problemas de comunicación con la Mina Rajo, es que no aparecen los indicadores de Remoto o Local en los interruptores 52, que corresponden a los relés de protección que comandan los interruptores de potencia que se encuentran en la Estación de Maniobra.

Se generó un enlace inalámbrico que une el cerro extravío con el 4to piso de las naves de Infraestructura, que es donde se encuentra ubicada una central de teléfonos, y muy cercana se encuentra la sala de monitoreo del Rajo. El enlace inalámbrico tiene llegada a un switch de la sala de teléfonos, pero entre esta sala y la sala de monitoreo del SCADA no existe conexión alguna. Para poder conectar el rajo nuevamente a la Red de Proceso se instalará un cable UTP con protocolo IEC-104 entre el Switch de la sala de teléfonos y el Switch SCADA de la red de proceso. De esta manera se tendrá comunicación con la EM1 y la sala de infraestructura.

Luego se pretende crear otro enlace inalámbrico que permita interconectar la EM1 con la EM2 y finalmente dejar comunicado el rajo en su totalidad mediante la red de proceso. De esta forma solo bastará configurar las direcciones IP de cada uno de los dispositivos de campo y de las RTU's, para finalmente enlazar los diagramas creados con los respectivos elementos de campo existentes.

5.4.3 Centros de Distribución Móvil

Los CDM de igual manera fueron diseñados con las mismas características, topología y equipos, como se aprecia en las figuras 5-19 y 5-20.

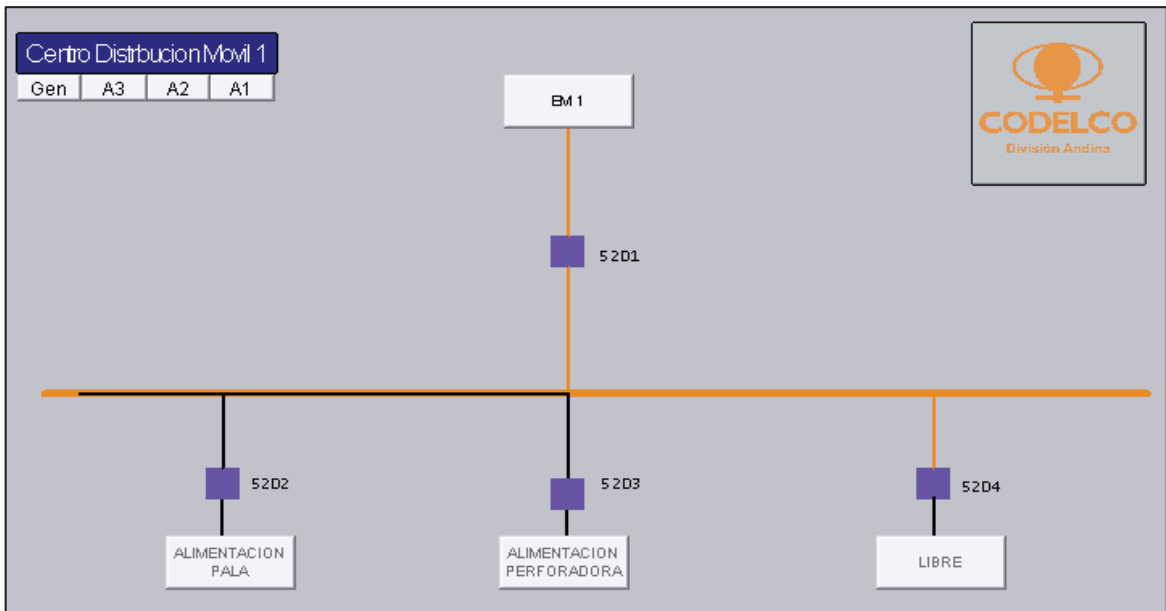


Figura 5-19: Pantalla creada para CDM1– Fuente, elaboración propia.

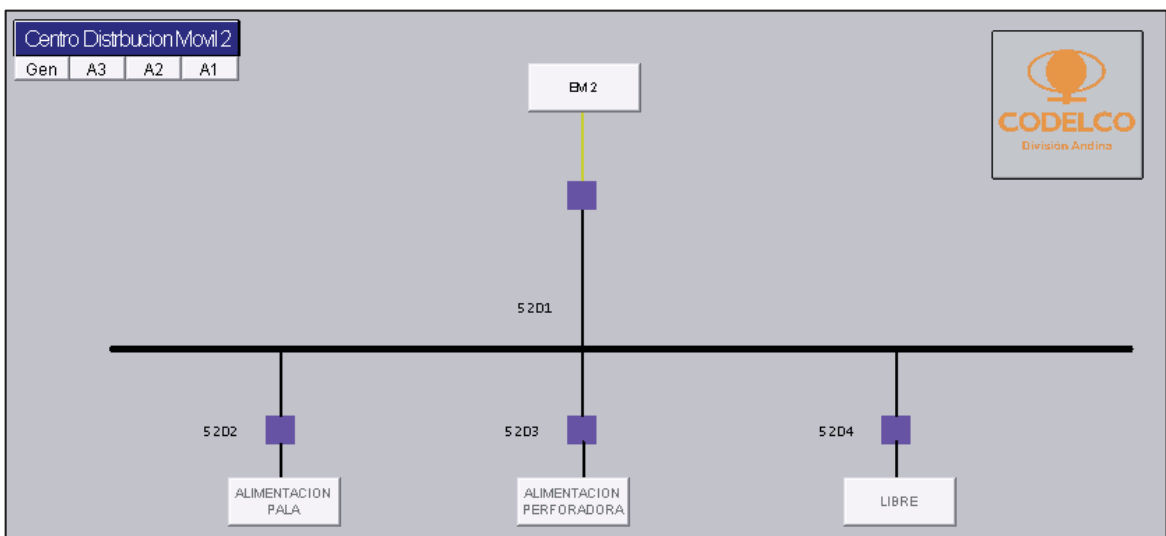


Figura 5-20: Pantalla creada para CDM– Fuente, elaboración propia.

5.5 Configuración de Enlaces Propuestos

Actualmente el enlace que comunica la red SCADA de proceso general con la red de proceso del sistema SCADA de la Mina a Rajo Andina se encuentra cortado. Para ser más específico, la fibra óptica que comunica la red de proceso del SCADA general con la red de proceso del rajo se encuentra cortada. En la figura 5-21 se muestra como se encuentra actualmente la comunicación.

Como se puede apreciar en la figura 5-21 el único enlace que existe de fibra óptica está cortado, por lo tanto es imposible comunicarse con las RTU's existentes en el Rajo. Por ende el primer paso para levantar el sistema es generar un enlace de comunicación entre estos puntos.

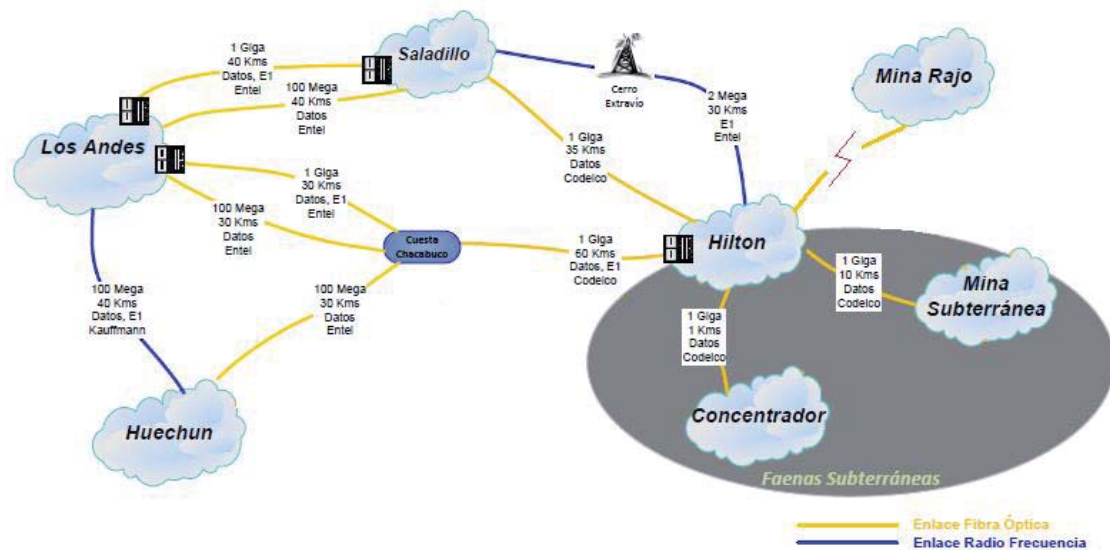


Figura 5-21: Estado Actual de las comunicaciones Minera Andina– Fuente, elaboración propia.

Dentro de las opciones que se proponen para generar un enlace con el rajo que actualmente se encuentra sin comunicación, se encuentran las siguientes alternativas:

- Crear un nuevo tendido de fibra óptica y a futuro realizar termo-fusión a la fibra actualmente cortada. De esta manera se tendría un enlace redundante, el cuál debería ser configurado para que cuando falle uno automáticamente la comunicación prosiga por el otro enlace paralelo.
- Contratar una empresa externa que se especialice en reparar fibra óptica, quedando solamente un enlace para la comunicación.
- Generar un enlace de radiofrecuencia entre el cerro extravío que se puede apreciar en la figura 5-24 y el edificio de mantenimiento de la mina Rajo. De esta forma, quedaría habilitada la comunicación por radiofrecuencia, quedando como tarea pendiente la reparación de la fibra existente. Se tiene además un enlace redundante.

Dentro de estas opciones propuestas la más acertada y que es relativamente sencilla y rápida de instalar es un enlace de radiofrecuencia. Debido a ello se presenta la siguiente alternativa para generar el enlace.

5.6 Antena Radiofrecuencia Radwin 2000

Dentro de las características más relevantes de este tipo de antena, se destacan las siguientes:

- Permite conectar sitios Geográficamente dispersos a distancias de hasta 80 [Km].
- Enlace de alta capacidad, 50 Mbps Full Dúplex.
- Enlace de alta capacidad en ancho de banda del canal de 20 [MHz]
- Hecha para soportar condiciones adversas de aire
- Soporta múltiples frecuencias: 5.8 [GHz], 5.4 [GHz], 5.3 [GHz], 4.9 [GHz] y 2.4 [GHz].
- Alta potencia de transmisión: 25 [dBm]
- Cifrado AES de 128 bits
- (AAR): Tasa adaptativa automática: Mecanismo que dinámicamente adapta la velocidad de interfaz de aire cambiando tanto la señal de modulación como la codificación.
- (ACS): Selección automática de canales: Dinámicamente selecciona el mejor canal disponible en el momento dado.
- (ARQ): Solicitud de repetición automática: Es un control de error en la transmisión de datos
- (FEC): Forward Error Correction: Algoritmos diseñados para las condiciones variables de bandas de frecuencia exentas de licencia, asegurando comunicación exenta de errores.
- Permite cualquier tipo de conexión física Ethernet, incluyendo varias conexiones de fibra.
- Temperatura de funcionamiento_ -35° a 60°.

En la figura 5-22 se pueden apreciar los dispositivos que componen el equipo de radiofrecuencia, dentro de ellos:

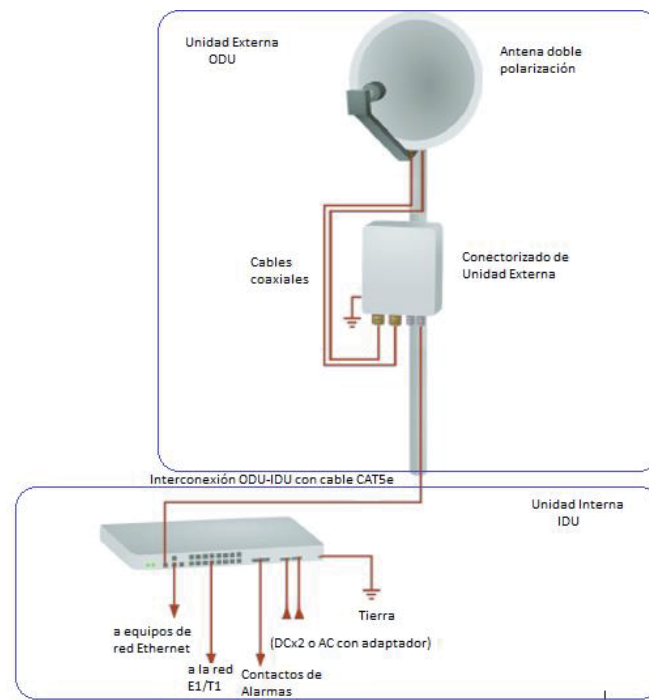


Figura 5-22: Esquema de conexión del equipo de radiofrecuencia Radwin 2000 – Fuente, Fabricante

- ODU: Transceptor de radio del sistema, dispone de una antena integrada además de conectores para una antena externa. Se puede montar en una pared o poste y se conecta a la IDU mediante cable CAT 5e
- IDU: Es la unidad interna del sistema. Tiene los puertos de servicio y proporciona estos servicios hacia la ODU que los transporta por aire, también proporciona potencia a la ODU. Posee puertos T1/E1, puertos Ethernet, alarmas, LED de indicación. Tiene 2 conectores de alimentación CC, un convertidor CA/CA.

5.7 Cálculo estimado del enlace de radiofrecuencia

La distancia existente entre el cerro extravió y la cúspide del edificio de mantención de la mina rajo es de 30 [Km]. En la tabla 5-2, se muestran las ganancias de la antena según la frecuencia del enlace a crear.

Tabla 5-2: Frecuencias de enlace y ganancia de antena.

Frecuencia	5,4 [GHz]	5,4 [GHz]	5,3 [GHz]	4,9 [GHz]	2,4 [GHz]
Ganancia	23 [dBi]	23 [dBi]	23 [dBi]	19 [dBi]	16 [dBi]

La antena tiene una potencia de transmisión de 25 [dBm], pero a ello debe restarse las pérdidas en cada uno de los conectores involucrados en el enlace. Estos conectores tienen pérdidas aproximadas de 0.25 [dB] por conector.

Las fórmulas para el cálculo de los parámetros que se muestran a continuación, se encuentran en el apéndice F.

5.7.1 Pérdidas en el espacio libre (FSL)

La distancia del enlace se mantiene constante, lo que varía son las frecuencias de transmisión.

Tabla 5-3: Pérdidas en el espacio libre variando la frecuencia de transmisión.

Distancia [Km]	Frecuencia [MHz]	FSL [dB]
30	2400	129,6
30	4900	135,8
30	5300	136,5
30	5400	136,6
30	5800	137,3

Como se puede apreciar en la tabla 5-3, las pérdidas FSL aumentan a medida que aumenta la frecuencia de transmisión. La variación de pérdidas entre la menor y mayor frecuencia corresponde a 7,7 [dB], lo cual no deja de ser considerable.

5.7.2 Zona de fresnel

Es el radio del círculo que abarca el frente de onda de la señal transmitida. Para más información consultar el apéndice F.

Tabla 5-4: Radio o zona de Fresnel al variar la frecuencia

Distancia [Km]	Frecuencia [GHz]	Radio [m]
30	2,4	30,61
30	4,9	21,43
30	5,3	20,6
30	5,4	20,41
30	5,8	19,69

Como se puede apreciar en la tabla 5-4 la zona de Fresnel disminuye a medida que aumenta la frecuencia manteniendo la distancia del enlace constante.

5.7.3 Presupuesto de potencia

Algunos valores que se utilizan en el cálculo son estimados en base a valores de catálogos.

25 [dBm]	(Potencia TX)
-3 [dB]	(Cables y conectores)
16 [dBi]	(Ganancia de antena TX)
-120 [dB]	(FSL)
28 [dBi]	(Antena RX)
-3 [dB]	(Cables y conectores)
-75 [dBm]	(Sensibilidad del receptor)

 18 [dB] (Total (margen))

Los cálculos mostrados son para tener una idea del enlace que se instaló en la mina actualmente. Los datos utilizados fueron obtenidos de manuales del mismo equipo.

A.1 Enlace Proyectoado a futuro

El pronóstico de la conexión a futuro indica que se debería reparar la fibra óptica. De esta manera se generaría un enlace redundante hacia la mina rajo, permitiendo que en caso de falla del enlace inalámbrico o del enlace mediante fibra óptica el otro pudiese reemplazarlo. La figura 5-23 muestra un esquema de cómo quedaría la configuración, mediante un enlace inalámbrico de 20 [Mb] y una fibra óptica de 100 [Mb].

Como se puede observar en la figura 5-23 se dispondrá de dos enlaces redundantes. Estos enlaces tienen diferentes ubicaciones, de esta manera la comunicación se hace más robusta ante la falla de alguno de los enlaces.

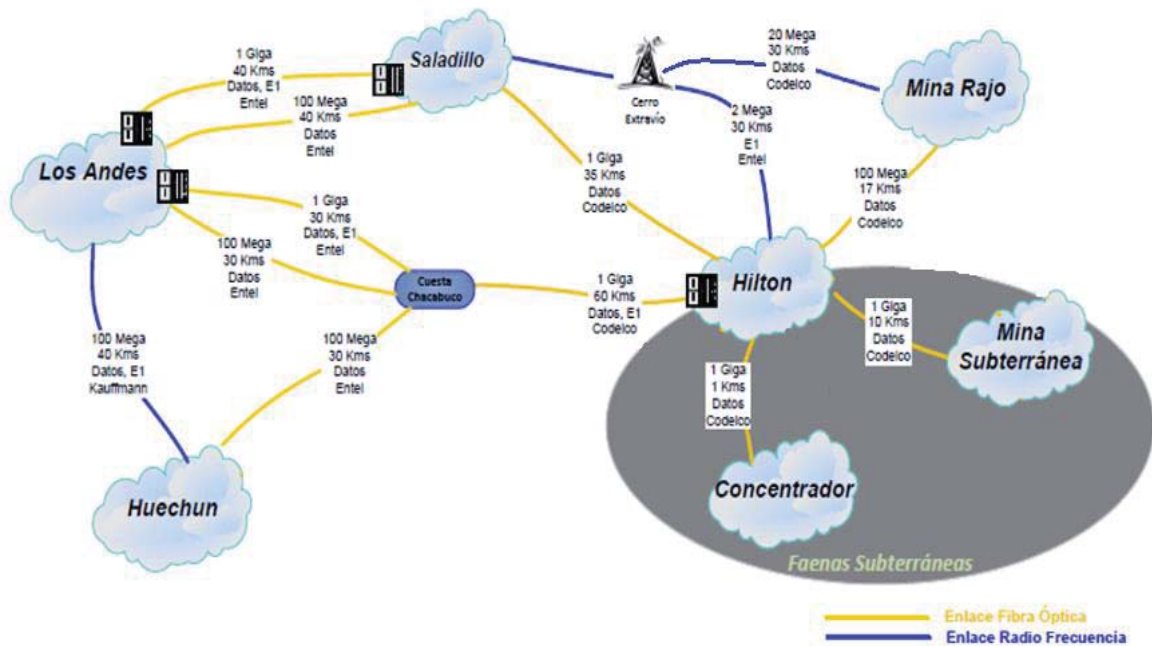


Figura 5-23: Conexión Propuesta a futuro– Fuente, elaboración propia.

En cuanto al conexionado y llegada de los enlaces a la Mina Rajo, la figura 5-24 ilustra las interconexiones mediante fibra óptica en azul y cable UTP en rojo. Cabe destacar que el cableado existente en las estaciones de maniobra y CDM podría verse afectado por interferencia electromagnética provocada por los cables de media tensión existentes al interior de las respectivas salas eléctricas. El cableado utilizado para conectar desde Switch a RTU es cable UTP CAT 5e, bastante vulnerable a interferencia electromagnética. En base a ese supuesto se plantea la posibilidad de reemplazar todo el tipo de cable UTP CAT 5e por cable STP CAT 6.

Los protocolos de comunicación utilizados en la mina Rajo corresponden al IEC-104 y Ethernet.

Actualmente las comunicaciones han quedado habilitadas hasta la EM1 e infraestructura, como se puede apreciar en la figura 5-24. Se debe configurar un enlace del mismo tipo realizado entre el Cerro Etravío y el 4° piso de las naves de Mantenición de la mina Rajo. Este enlace será utilizado para conectar la estación de Maniobra 1 con la Estación de Maniobra 2, en donde la fibra se encuentra cortada, permitiendo de esta forma tener comunicación con todas las salas eléctricas de la Mina Rajo.

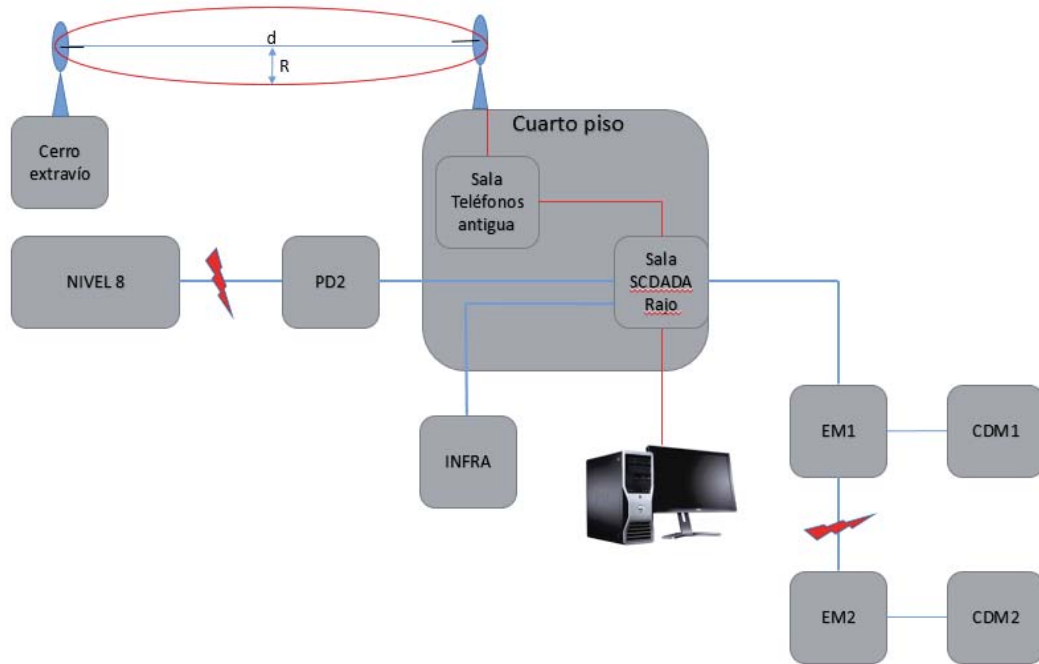


Figura 5-24: Conexionado actual Mina Rajo Andina– Fuente, elaboración propia.

Una vez que se tenga comunicación con todas las RTU's ubicadas en las salas eléctricas de la mina rajo, se debe proceder a configurarlas asignándoles direcciones IP estáticas a cada una de ellas. Para realizar este procedimiento es necesario conectarse a la RTU mediante un cable UTP o STP con conector RJ45 (Protocolo DNP3) desde un computador que tenga instalado el software de la RTU. Además de la asignación de la IP estática se deben configurar todas las entradas y salidas analógicas y digitales con sus respectivos TAG, las cuales deberán aparecer en las bases de datos del sistema SCADA para generar el enlace entre el elemento gráfico en pantalla y el dispositivo real.

Se debe revisar que no existan conflictos de direcciones IP con otros dispositivos o RTU, a fin de que no se generen errores de mediciones en el sistema que pueda ocasionar anomalías relevantes en el funcionamiento de la red de proceso.

5.8 Conexionado interior de estaciones de maniobra

En cuanto al conexionado interior de las estaciones de maniobra, se muestra en la figura 5.25, la estructura que debería tener la EM1, a fin de corroborarla y corregirla de no encontrarse configurada de esta manera.

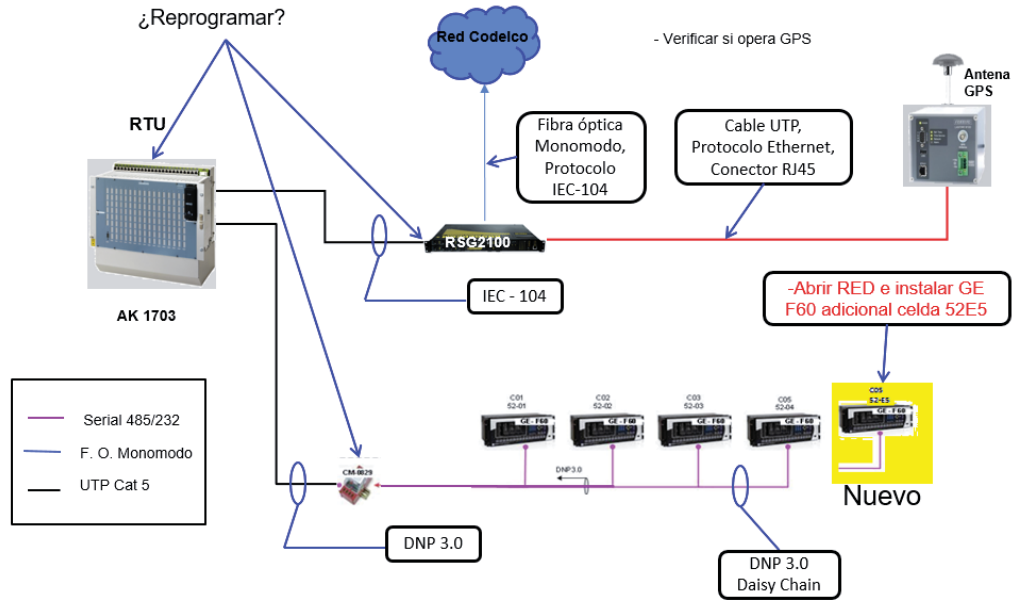


Figura 5-25: Conexión de acotaciones Estaciones de Maniobra– Fuente, elaboración propia.

Primero se debe abrir la red para incorporar el Relé F60 Multilín de GE y posteriormente proceder a la configuración de las direcciones IP, entradas y salidas lógicas y análogas.

5.9 Conexión de los CDM

Como se puede apreciar en la figura 5-26, la estructura de conexión de un CDM, es bastante similar a la de una EM.

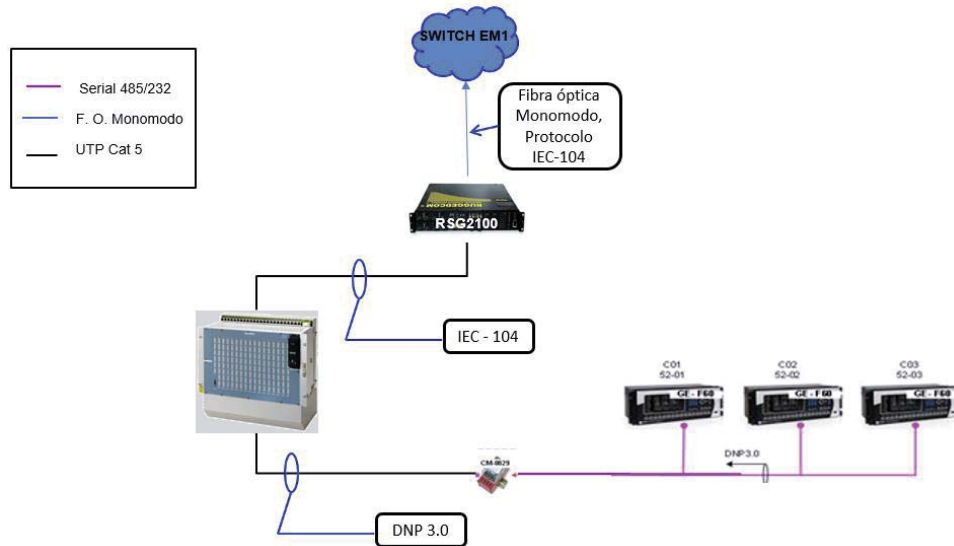


Figura 5-26: Conexión de referencia para CDM– Fuente, elaboración propia.

A continuación se muestra un cuadro resumen de las características del conexionado.

Tabla 5-5: Tabla Resumen Cableado y protocolos Mina Rajo.

Tramo o Dispositivo	Descripción de Conexión
Relés F60 MULTILIN de GE	Dispositivos conectados mediante conexión Daisy Chain, mediante cable serial RS-485. Protocolo DNP 3.0
Convertor de Medios	Utilizado para pasar desde cable Serial RS-485 a cable UTP CAT 5e conservando el protocolo de comunicación DNP 3.0. Utilizado para conectarse a la RTU que no posee puerto RS-485.
RTU a SWITCH	Dispositivos conectados mediante cable UTP CAT 5e, con protocolo de comunicación IEC-104.
SWITCH a exterior	Se utiliza cable de fibra óptica Monomodo, con protocolo de comunicación IEC -104.

La Tabla 5-5 muestra un cuadro resumen de los protocolos de comunicación y del tipo de cableado utilizado en las salas eléctricas ubicadas en el rajo. Todas las salas eléctricas siguen la misma estructura y topología de cableado, solo existen diferencias en la cantidad de elementos y distancias propiamente tal.

5.10 Configuración RTU

Uno de los aspectos relevantes en la configuración de un sistema SCADA es configurar la RTU para indicarle con que protocolos de comunicación le enviarán información los dispositivos de campo y si esta información es análoga o digital. También es necesario indicarle el protocolo de comunicación con el cual deberá comunicarse con la estación maestra. También es necesario asignar las entradas y salidas analógicas y digitales mediante un TAG para indicar a qué tipo de variable corresponden los datos que se están recibiendo y enviando. Dicho de otra forma se debe elaborar un mapa de memoria en donde se indiquen las entradas y salidas de las RTU, junto a un TAG respectivo correspondiente a la planta y el nombre o símbolo de la variable, sea esta análoga o digital. De esta manera se tiene un registro de si existen puertos disponibles y cuáles son los puertos físicos y lógicos que se encuentran ocupados.

Las RTU AK 1703 ACP se basan en un sistema de módulos o ranuras en las cuales se deben insertar las tarjetas de entradas y salidas digitales que se necesiten, se asume que las RTU existentes se encuentran equipadas para los requerimientos necesarios de la empresa en cuanto a entradas y salidas. La tabla 5-6, muestra los TAG a ser asignados a las entradas y salidas análogas o digitales.

Tabla 5-6: Entradas y Salidas RTU (Análogas, digitales).

TAG	Entradas Digitales
EM1_52E2_AC	Interruptor 52E2 Abierto Interruptor 52E2 Cerrado
EM1_52E2_F	Falla Eléctrica (ALARMA)
EM1_52E2_LR	Switch Local/Remoto (STATUS)
EM1_52E2_RF	Relé de Fase Invert.Desbalanceada(46)
EM1_52E2_RSC1	Relé de sobrete Instantánea AC(50)
EM1_52E2_SCN1	Sobrete instantánea del neutro(50N)
EM1_52E2_RSC2	Relé de Sobrecorriente AC(51)
EM1_52E2_SCN2	Sobrecorriente del neutro (51N)
EM1_52E2_RSC3	Relé de sobrecorriente direccional AC(67)
EM1_52E2_SCN3	Sobrete direccional del neutro(67N)
TAG	Salidas Digitales
EM1_52E1_AC	Interruptor 52E2 Abierto Interruptor 52E2 Cerrado
TAG	Entradas Análogas
EM1_52E2_kVARh	Energía Reactiva kVARh
EM1_52E2_kWh	Energía kWh
EM1_52E2_I	Corriente A
EM1_52E2_V	Tensión kV
EM1_52E2_MW	Potencia Activa MW
EM1_52E2_MVAR	Potencia Reactiva MVar

En cuanto a las entradas análogas, que corresponden a las variables que provienen de los dispositivos de campo, correspondientes a Relés F60 MULTILIN de GE, se miden las corrientes de fase y neutro, junto a las tensiones de fase y neutro, a través de transformadores de medida de tensión y corriente, para el acople entre los relés y las barras ubicadas en las celdas de media tensión. De acuerdo a lo anterior se deberían configurar las entradas análogas como se muestra en la tabla 5-7.

Tabla 5-7: Tabla de entradas Análogas de Tensiones y Corrientes.

TAG	Entradas Análogas
EM1_52E2_la	Corriente Fase a [A]
EM1_52E2_lb	Corriente Fase b [A]
EM1_52E2_lc	Corriente Fase c [A]
EM1_52E2_IN	Corriente Neutro [A]
EM1_52E2_Va	Tensión Fase a [kV]
EM1_52E2_Vb	Tensión Fase b [kV]
EM1_52E2_Vc	Tensión Fase c [kV]
EM1_52E2_VN	Tensión Neutro [kV]

Al considerar las tensiones y corrientes de fase y neutro se extiende el número de entradas análogas a 12. Quedando 11 entradas digitales, 2 salidas digitales y 12 entradas análogas.

En cuanto a los comandos que deben ser configurados en la RTU, corresponde a la conexión y desconexión de los interruptores de potencia.

Las variables mostradas en las tablas 5-7 corresponden al interruptor 52-E2, para los otros interruptores solo se debe cambiar el número de interruptor en el TAG.

5.11 Direccionamiento IP estático de las RTU

En la Tabla 5-8, se muestran las direcciones IP que deberían ser asignadas a las RTU de la Mina Rajo.

Tabla 5-8: Tabla de direccionamiento IP.

Equipo	Sala Eléctrica	Dirección IP		Comunicación Industrial		Comandos	Observaciones
Siemens	Don Luis Nivel 8	10.39.4.203	OK	IEC104	OK	Sí.	Paño de 33kv
Siemens	EM1	10.39.4.83	OK	IEC104	OK	Sí	Se probó RTU pero quedo fuera por trabajos
Siemens	EM2	10.39.4.85	NOK	IEC104	NOK	No	Problema con Fibra
Siemens	CDM1	10.39.4.84	NOK	IEC104	NOK	No	Problema con Fibra
Siemens	CDM2	10.39.4.86	NOK	IEC104	NOK	No	Problema con Fibra
Siemens	EQM Infraestructura	10.39.4.82	NOK	IEC104	NOK	No	No se probó, Falta habilitar SWITCH Codelco

Una vez corregidos los problemas de comunicación (corte de fibra u otros) se deben asignar las direcciones IP estáticas, en caso de que se genere un conflicto de dirección IP se deben revisar las asignaciones al resto de dispositivos en la Mina.

Para probar la comunicación entre la estación maestra y las RTU, se debe hacer ingreso al servidor web y posteriormente a la estación de ingeniería, ejecutar el CMD y digitar el comando PING seguido de la dirección IP asignada a la RTU. En caso de que la conexión sea correcta, se deberá apreciar algo como lo que se muestra en la figura 5-27.

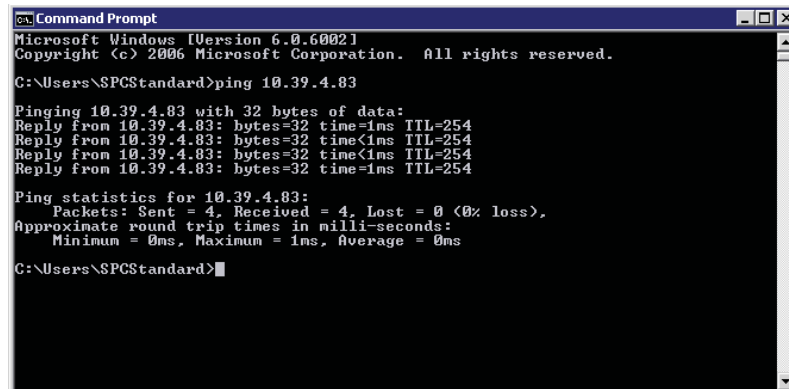


Figura 5-27: Prueba de comunicación desde servidor web con RTU EM1– Fuente, elaboración propia.

En el caso de que la comunicación sea incorrecta o no exista propiamente tal, se deberá apreciar algo como la figura 5-28.

Realizados los procesos anteriormente descritos, el trabajo siguiente es en su totalidad de configuración en el IMM del software Spectrum Power5, en cuanto a revisión de enlaces entre los elementos de los worldmaps y sus respectivos elementos de red, protocolos de comunicación, tiempos de estampado, etc.

```

C:\Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.0.6002]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\SPCStandard>ping 10.39.4.85

Pinging 10.39.4.85 with 32 bytes of data:
Reply from 10.36.79.97: Destination host unreachable.
Reply from 10.36.79.97: Destination host unreachable.
Reply from 10.36.79.97: Destination host unreachable.
Reply from 10.36.79.97: Destination host unreachable.

Ping statistics for 10.39.4.85:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

C:\Users\SPCStandard>

```

Figura 5-28: Prueba de comunicación desde servidor web con RTU EM2– Fuente, elaboración propia.

5.12 Visualización de Gráficas Históricas

Entre las variables eléctricas, necesarias de ser visualizadas, podemos mencionar las siguientes: Corrientes de línea, corrientes de neutro, tensiones de línea, tensiones de fase, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente... Sin duda la corriente es una de las variables más relevantes, por el hecho de que puede producir sobrecargas, o generar la operación de algún interruptor. Interrumpiendo de esta forma, la continuidad operacional de la Mina.

Como se puede apreciar en la figura 5-29, las corrientes son bastante variables. Este comportamiento se debe a la operación de la pala de cable y la perforadora, una perforadora puede elevar su consumo de corriente al encontrarse con roca dura. De la misma forma una pala puede aumentar el consumo de corriente al someterse a sobrecarga.

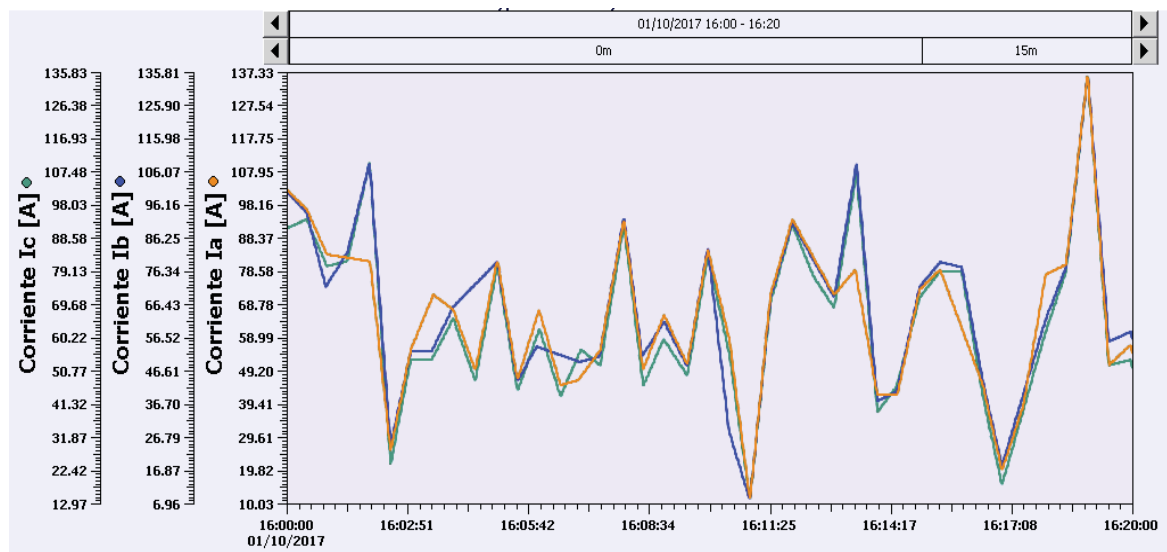


Figura 5-29: Gráfica de corrientes EM1, lado de 33 [Kv] – Fuente, elaboración propia.

El valor de las tensiones de fase, debería ser constante, pero se presentan pequeñas variaciones en torno al valor correspondiente. Esto se puede apreciar en la figura 5-30.

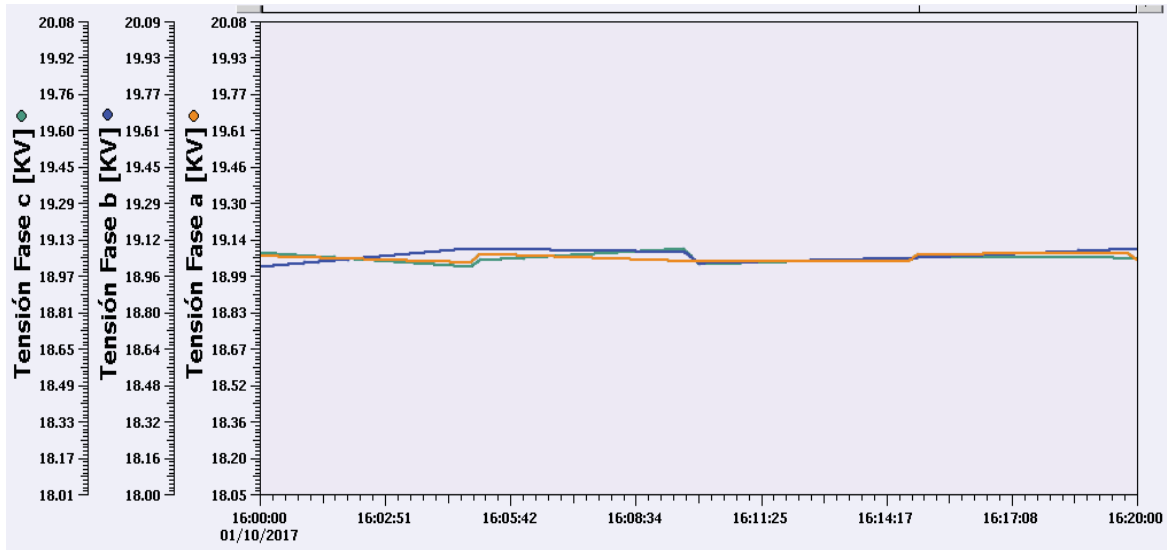


Figura 5-30: Tensiones de fase EM1 lado 33 [KV] – Fuente, elaboración propia.

Las tensiones de línea, se obtienen al multiplicar por raíz de 3 las tensiones de fase, de esta forma se puede corroborar mediante los valores de la figura 5-30, que la figura 5-31, presenta valores en torno a ese resultado.

La tensión nominal efectiva de línea de alimentación de la estación de maniobra 1 es de 33 [KV]. La tensión de fase se obtiene al dividir este valor por raíz de 3, que sería aproximadamente 19,1 [KV]. Al observar las gráficas podemos observar que las curvas tienden a este valor.

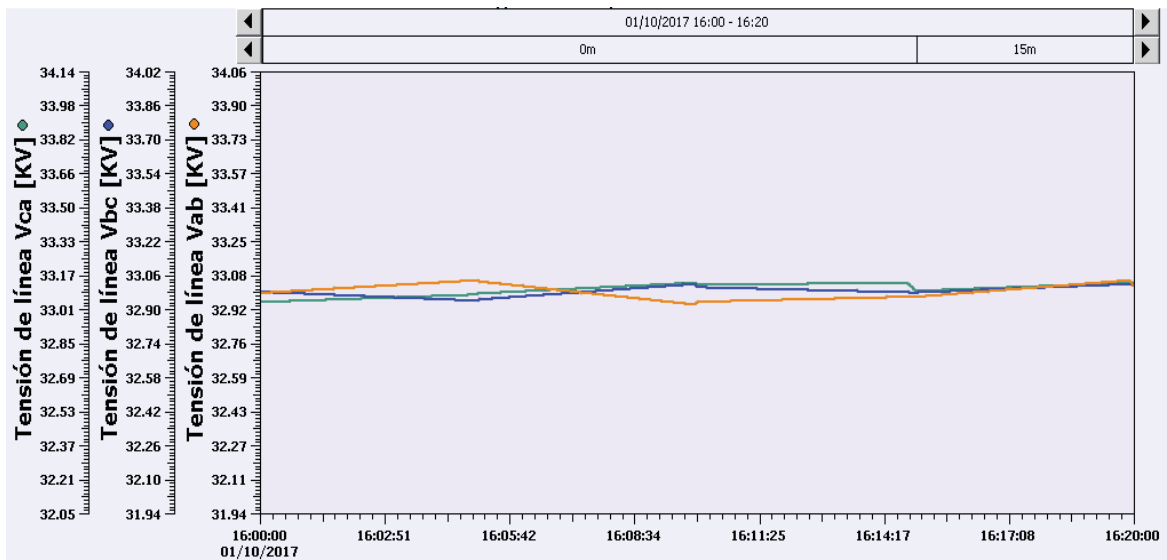


Figura 5-31: Tensiones de Línea EM1, lado de 33[KV] – Fuente, elaboración propia.

En la figura 5-32, se muestran las gráficas de tensión, corriente y potencia activa, para poder corroborar que la forma de onda de la potencia activa, debe ser similar a la forma de la corriente amplificada por un factor, que corresponde al valor de la tensión.

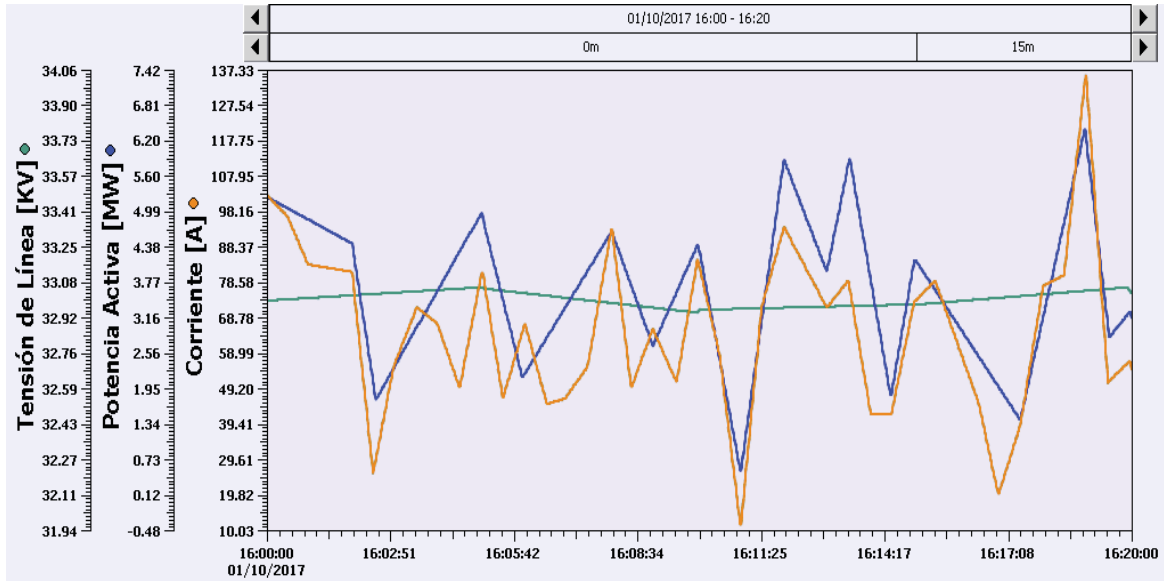


Figura 5-32: Potencia activa, Tensión y Corriente. Considerando una fase- Fuente, elaboración propia.

En cambio, la forma de onda de la potencia reactiva, no tiene similitud con la tensión de línea o la corriente. Este fenómeno se puede apreciar en la figura 5-33.

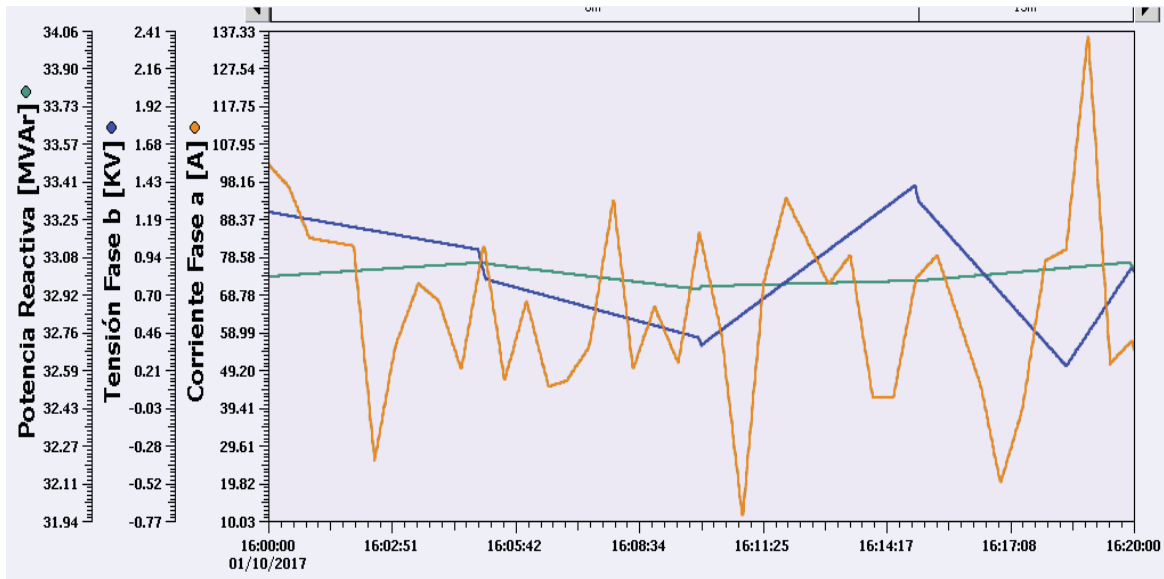


Figura 5-33: Potencia Reactiva, Tensión y Corriente. Considerando una fase- Fuente, elaboración propia.

Finalmente la figura 5-34, muestra un gráfico con todas las variables relevantes. Permitiendo apreciar la cantidad de variables que pueden ser mostradas en un mismo gráfico.

Para corroborar que las mediciones mostradas en los gráficos son correctas, se procede a exportar los datos. Con estos valores se generan otros gráficos en una planilla Excel. De esta forma, con estos valores en el tiempo, se puede realizar los cálculos eléctricos necesarios para verificar.

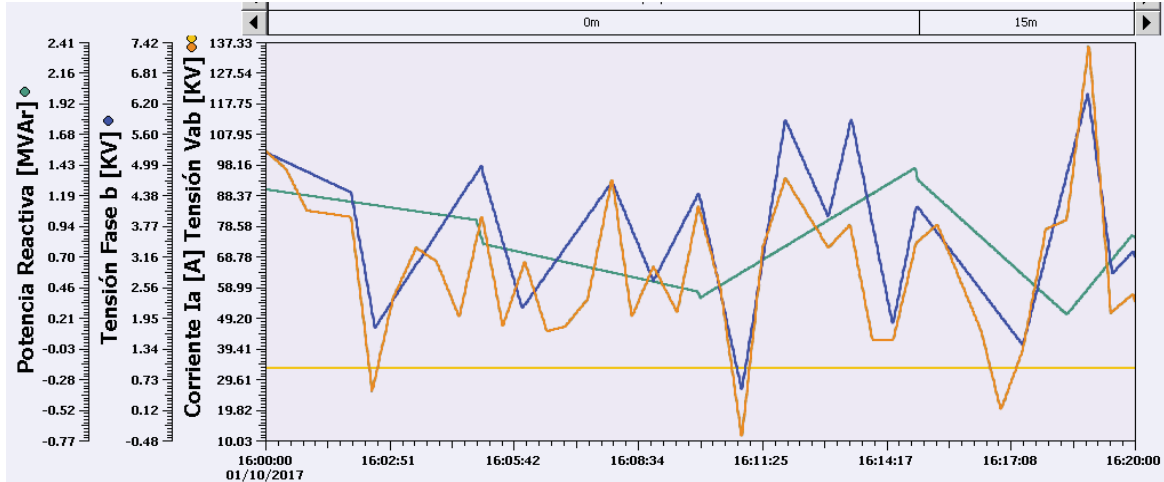


Figura 5-34: Potencia Activa y Reactiva, Tensión y Corriente. Considerando una fase– Fuente, elaboración propia.

5.13 Corroboración de Mediciones

Cabe destacar que para el cálculo teórico de las potencias, solamente se considera la componente fundamental de la corriente y tensión.

$$\cos(\tan^{-1}(Q/P)) = \text{Factor de Potencia} \tag{5-1}$$

$$\text{Potencia Activa Trifásica} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \tag{5-2}$$

$$\text{Potencia Reactiva Trifásica} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin(\varphi) \tag{5-3}$$

En base a los valores de potencias activa y reactiva registradas por el software SCADA, calculamos el factor de potencia. Posteriormente con los valores de tensión y corriente se recalculan las potencias activas y reactivas. La figura 5-35, muestra la comparación entre la potencia activa medida por el programa y la calculada a través de Excel.

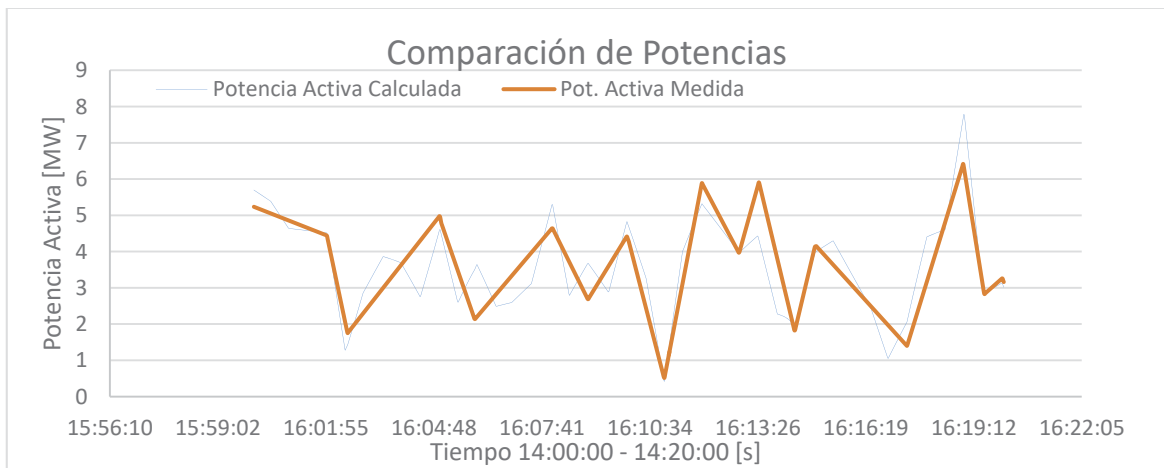


Figura 5-35: Comparación Potencias Activas Medidas y calculadas– Fuente, elaboración propia.

Claramente se puede notar una diferencia, debido a que existen componentes armónicas que aportan de igual manera a la potencia total, además de la tecnología del dispositivo de medición, que puede incorporar filtros en la medición.

Se hace lo mismo pero para la potencia reactiva, en este caso, las diferencias se pueden apreciar en la figura 5-36.

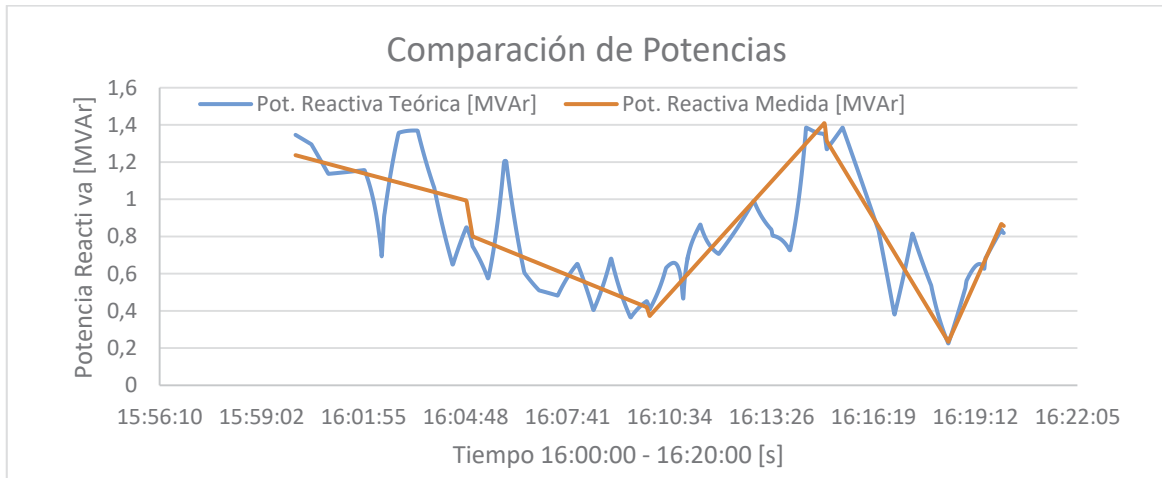


Figura 5-36: Comparación potencias reactivas medidas y calculadas– Fuente, elaboración propia.

Como se puede apreciar existe variaciones entre potencia reactiva medida y calculada. Otro posible factor que explicaría estas diferencias, es la capacidad de la aplicación de graficar todos los puntos muestreados. Posiblemente el software interpola o crea una línea de tendencia mayormente lineal.

Conclusiones

Se consiguió estandarizar el diseño de las pantallas de toda la Mina Rajo Andina. En cuanto a los dispositivos como transformadores, relés, interruptores automáticos, estos no se encontraban todos bajo la misma norma de diseño. La mayoría de los elementos dibujados en las pantallas del sistema SCDADA se encontraban bajo la norma IEC-60617, salvo los transformadores, los que se adaptaron a la norma mencionada. Se eliminaron sombras y elementos dibujados que no prestaban ninguna función dentro del sistema, por generar contaminación visual. Finalmente se estandarizaron las dimensiones de botones de enlace, identificadores de pantalla, Tamaños y estilos de letra de los TAG de cada uno de los elementos de las pantallas.

Se dibujaron las pantallas, de las Estaciones de Maniobra y de los Centros de Distribución, en base a los diagramas unilineales del sistema eléctrico de potencia de la Mina Rajo andina Plano REV. T-134. En base a este diagrama se dibujó en Autocad un diagrama unilineal simplificado considerando solamente los interruptores de potencia sobre los cuales se tendrá supervisión y control. La creación de estos diagramas fue basada en los códigos de colores establecidos para los niveles de tensión y condiciones de energización establecidos para el Sistema SCADA de la Mina Andina. Tomando como base los diagramas creados con anterioridad para evitar diferencias, se obtuvieron diseños del mismo formato.

Dentro de las opciones antes de volver a comunicar la totalidad de las RTU, se recomienda crear un segmento de red dedicado para el SCADA eléctrico, con el fin de evitar perturbaciones de red de dispositivos externos.

Por otra parte y mientras la minera lo requiera, se deberá integrar un segundo SWITCH por cada sala que cuenten con equipos que comuniquen en protocolo IEC-61850, con el fin de separar las redes de control eléctrico con las de gestión SCADA en un mismo Switch.

Se deberá configurar los Reuters existentes en el armario de los servidores SCADA, con el fin de evitar que los mensajes con IP's que no sean solicitados por el SCADA, lleguen a la puerta de enlace de los mismos servidores.

Finalmente se deberá evaluar e identificar los puntos de la red en los cuales se generen tráfico elevados de información generados por la homogenización difusa de la red de comunicaciones,

lo que se genera en los puntos de inflexión al momento en que el switch pasa la comunicación TCP/IP en fibra óptica a TCP/IP en cable par trenzado.

Se logró verificar el correcto enlace de los TAG, de los dispositivos de campo, con su elemento correspondiente en los diagramas unilineales del software Spectrum Power 5. Quedando correctamente enlazados, la totalidad de dispositivos.

En cuanto a la visualización de variables, se logró dejar operativa en un 100% el monitoreo y control de la EM1. En cuanto a la EM2, no se logró obtener comunicación, debido a que el enlace físico no fue reparado por la empresa encargada de esa operación.

A Bibliografía

- [1] Rodríguez Penin, Aquilino (2007): "Sistemas SACADA segunda edición,".Barcelona España: Macombo, Ediciones Técnicas S.A.
- [2] Bayley David, Edwin Wright (2003): "Practical SCDADA for Industry". Great Britain: Elsevier. For More information Visit the web: www.newnespress.com.
- [3] Stuart G. Mccrady. (2013): "Designing SCADA application Software, a practical approach". Elsevier. For more information Visit the web: Store.Elsevier.com.
- [4] Ricardo Salvador Chacon "Control Supervisión y Adquisición de Datos de una Planta generadora de energía Eléctrica a base de energía geotérmica" Universidad de el Salvador Centro América, Tesis para optar al grado de Ingeniero Electricista 2012.
- [5] Protocolos de Comunicación,(s.f) En Wikipedia. Recuperado el 24 de Octubre de 2016 de: https://es.wikipedia.org/wiki/IEC_60870-5-101
- [6] Modelo de Referencia OSI.(s.f) En Wikipedia. Recuperado el 30 de Octubre de 2016 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI
- [7] Andrew S. Tanenbaum (2003): "Redes de Computadoras Cuarta edición". México: Person Prentice Hall.
- [8] Siemens AG (2013): Data Modeling Guides, Information Model Management.
- [9] Siemens AG (2013): Reference Guides, Information Model Management.
- [10] Siemens AG (2013): Technical Specifications, Spectrum Power5.
- [11] Tom Shaughnessy, (2000): "Manual de Cisco". España: Osborne McGraw-Hill.
- [12] Modelo TCP/IP.(s.f) En Wikipedia. Recuperado el 26 de octubre de 2016 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_TCP/IP

B Glosario

CDM (Centro de distribución Móvil): Sala eléctrica móvil alimentada desde la SEM en 7,2 [Kv].

CFE (Common Front End): Protocolo estándar para realizar la comunicación con los concentradores de datos, centrales o subestaciones (CDS).

EM (Estación de Maniobra): Switchgear de media tensión 33 [Kv] en donde se encuentran alojados los interruptores de potencia que alimentan las cargas de la Mina Rajo.

Firewall: Es una parte de un sistema o una red que está diseñada para bloquear el acceso no autorizado. Pueden ser implementados en hardware o software o una combinación de ambos.

HIS (Historical Information System): Aplicación ubicada en la barra de herramientas PAT para generar gráficas de las variables almacenadas en los servidores históricos del Sistema SCADA.

HMI (Human Machine Interface): Interfaz que permite la comunicación entre el operador y la máquina que en nuestro caso es el sistema SCADA.

Host: Se refiere a las computadoras conectadas a una red, que proveen y utilizan servicios de ella.

ICCP (Inter Center Control Protocol): Protocolo de comunicación para realizar la comunicación entre el SCADA andina y el CEDEC-SIC.

IED (Intelligent Electronic Device): Dispositivo electrónico Inteligente, Relés que tienen variadas funcionalidades de protección y medición de variables eléctricas. Pueden prescindir de una RTU.

IMM (Information Model Management): Es el asesor de modelo de información. Herramienta del Spectrum Power5 ubicada en la barra de herramientas PAT, en donde se realizan todas las modificaciones del sistema SCADA de la planta.

MTU (Master Terminal Unit): Hace referencia a la unidad maestra del sistema, generalmente el servidor del sistema SCADA actúa como MTU. Trabaja como su nombre lo indica de maestro, en la configuración maestro esclavo.

NAT (Network address translation): El firewall es capaz de efectuar NAT para permitir esconder las direcciones IP usadas en la LAN interna del sistema.

Paquetes: Corresponden a cada uno de los bloques en que se divide la información para enviar, en la capa de red.

PAT (Power Application Toolbar): Barra de herramientas del Sistema de Potencia del software Spectrum Power5.

Protocolo de Comunicación: Es un sistema de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física.

RTS (Real Time Server): Servidor de tiempo real del sistema SCADA.

RTU (Remote Terminal Unit): Dispositivo a base de microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información cuando sea solicitada por la estación maestra. La RTU generalmente trabaja como esclavo.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition): Sistema destinado a reflejar el estado de los elementos de un sistema y facilitar su programación control y toma de datos. El Software SCADA se utiliza para controlar variables o estados de interruptores (abrir, cerrar).

SEM (Subestación eléctrica Móvil): Transformador de 8 [MVA], 33/7,2 [Kv] ubicado en una sala eléctrica junto a la EM.

SEP (Sistema Eléctrico de Potencia): Una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red.

Spectrum Power5: Software a nivel de capa de aplicación del software Spectrum Power5 de la empresa Siemens.

STP (Shielded Twisted pair): Es un cable de par trenzado similar al UTP, con la diferencia de que cada par tiene una pantalla protectora, además de una lámina externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del conjunto de pares, diseñado para reducir el ruido eléctrico.

TAG (Etiqueta): Corresponde a la identificación alfanumérica que se les asigna a los dispositivos de campo, tales como: RTU, Conmutadores, switch, líneas, puntos de datos... Estas identificaciones son reconocidas por el software (En forma de lista en una ventana de Windows), permitiendo al usuario enlazarlas a los esquemas (Diagramas unilineales) en la interfaz gráfica del software. También se pueden manipular a necesidad del operador.

UTP (Unshielded Twisted Pair): Es un cable de par trenzado no blindado y que se utiliza principalmente para comunicaciones.

C Anexo de Protocolos

PROTOCOLO	PROTOCOLO DE TRANSPORTE	USO	INDUSTRIA	VENTAJAS	DEBILIDADES
DNP3	TCP/UDP	<ul style="list-style-type: none"> - Originariamente, comunicaciones serie. - Maestro/esclavo. 	Principalmente eléctrico y agua	<ul style="list-style-type: none"> - Muy fiable, robusto y eficiente. - Autenticación de datos. - Autenticación de origen. - Bidireccional. - Autenticación mediante HMAC con <i>challenge/response</i> para cada función. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de medidas de seguridad
Secure DNP3	TCP/UDP	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad en la capa de aplicación de DNP3. 	Principalmente eléctrico y agua	<ul style="list-style-type: none"> - Autenticación extensible a otros códigos de función. - Clave de sesión (pero compartida mediante PSK). - <i>Snort</i> IDS tiene firmas de ataques DNP3. 	<ul style="list-style-type: none"> - PSK (<i>Pre-Shared Key</i>). - Modo Agresivo en la autenticación.
EtherCAT	UDP	<ul style="list-style-type: none"> - Directamente sobre Ethernet. - Comunicación con otras redes, <i>routers/gateways</i> encapsulan sobre UDP. - Maestro/esclavo. - Requisitos de rendimiento estrictos. - Equivalente de <i>Token Ring</i> sobre Ethernet 	Fabricación industrial (máquinas industriales)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Broadcast</i> y <i>Multicast</i>. - Cualquier topología de bus. - 12000 I/O en 300 micro_s. - Interoperatividad con otros protocolos <i>fieldbus</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Envío de datos directamente sobre el bus de datos, que llega a todos los elementos conectados al bus.
FL-net	UDP	<ul style="list-style-type: none"> - Determinista). - Para LANs pequeñas (<100 u). 	Fabricación industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Números de secuencia (gestión similar a TCP). 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñado como protocolo <i>any-to-any</i>.

Foundation Fieldbus HSE	TCP/UDP	- Principalmente Asia y Norte América.	Sector petroquímico.	- Múltiples bloques de funciones. - Diversas versiones. - PROFIBUS-FMS (<i>Fieldbus Message Specification</i>), genérico.	- Complejo. - No hay seguridad en FF.
PROFIBUS	Serie	- Fomentar uso y bajo coste.	Fabricación industrial	- PROFIBUS-DP (<i>Decentralized Periphery</i>), para fabricación industrial. - PROFIBUS-PA (<i>Process Automation</i>), para aplicaciones de automatización de procesos.	- Comunicaciones deterministas. - No hay seguridad. - Ausencia de autenticación, cifrado, etc.
PROFINET	(TCP/)UDP	- PROFIBUS sobre Ethernet. - Comunicaciones críticas de tiempo real.	Fabricación industrial	- Apoyado por Siemes, ERTEC, Hilscher.	- No hay planes para añadir seguridad.
MODBUS	Serie	- Uno de los protocolos más utilizados.	Diversos sectores	- Simple. - 127 funciones. - Integración con redes EtherNet/IP y DeviceNet. Cliente Modbus -> EtherNet/IP o DeviceNet sí, al contrario no es posible.	- No hay elementos de seguridad.
MODBUS TCP	TCP	- Protocolo de nivel de aplicación. - Aplicaciones de tiempo real.	Diversos sectores	- <i>Snort</i> IDS tiene firmas de ataques MODBUS. - Se integra perfectamente con aplicaciones Microsoft (Office y similares).	- No hay elementos de seguridad.
NetDDE	TCP	- Creado por Wonderware. - A veces sustituido por OPC.	Diversos sectores	- Definición con detalle del nivel de permisos y autorizaciones a objetos. - Jerarquía de 3 niveles (App, Topic e Item).	- Microsoft. - Extiende DDE de Microsoft. - Sobre NetBIOS.
ICCP	TCP	- Protocolo para el intercambio de información entre compañías	Sector eléctrico	- IEC 62351	- No implementa medidas de seguridad

OPC UA	TCP o específico del fabricante	- Control y monitorización de sistemas.	Diversos sectores	<ul style="list-style-type: none"> - Gran modelo de seguridad. - Integridad del mensaje. - Autenticación de la Instancia de la Aplicación. - Autenticación del Usuario. - Confidencialidad. - <i>Logs</i> de Auditoría de Seguridad. - Protección de Replay (números de secuencia). - Protección de Mensajes Malformados. - Protección DoS. - Web Services (UA Binary XML para tiempo real, UA XML normal para otros usos no críticos). 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay controles de seguridad efectivos. - Servicios DCOM y RPC. - Descubrimiento de servicios y Niveles de Seguridad de los servidores. - Permiso de uso de protocolos no seguros (sin cifrado, vulnerable si se usa sobre HTTP).
---------------	---------------------------------	---	-------------------	---	---

Tabla C-1: Tabla de protocolos más utilizados en sistemas SCADA eléctricos y de proceso.

D Spectrum Power 5

El Spectrum PowerCC es básicamente una aplicación SCADA, que permite monitorear y controlar, Sistemas Eléctricos de Potencia, agua y gas. La interfaz de usuario Spectrum PowerCC contiene todos los principios de diseño, navegación y uso de cualquier aplicación en entorno Windows.

El entorno y navegación de la interfaz de usuario Spectrum PowerCC está basado en el sistema operativo MS Windows, el cual contiene elementos como, barras de tareas, menús, botones, barras de desplazamientos, menús desplegables, menus de contexto y otros elementos comunes. El enfoque hacia este entorno con MS Windows hace mucho más amigable el uso de esta interfaz de usuario para operadores que tienen un manejo de Windows relativamente básico.

D.1 Herramientas

La interfaz de usuario del sistema SCADA brinda un conjunto de herramientas con el propósito de monitorear y controlar el sistema, las cuales son:

- Power Application Toolbar (PAT): Barra de herramientas del Spectrum Power 5, ubicada en la parte superior de la pantalla.
- WinCC Displays: Despliegues gráficos como los unilineales y demás sistemas de Andina.
- Trends and Charts: Gráficos de tendencias y curvas de las medidas de campo.
- Alarm Summary: Lista o registro de alarmas y eventos mostrados como una lista.
- Runtime Explorer: Tabla con valores y estado de las medidas de las variables del sistema en tiempo real.

La aparición de nuevas alarmas puede ser indicada de varias maneras dependiendo del sistema. Para el caso de Andina, las alarmas son indicadas en: La barra de herramientas (PAT), en los diagramas de red, en los registros de alarmas y eventos, además las alarmas pueden ser configuradas para ser audibles a través de parlantes.

D.2 PAT (Power Application Toolbar)

Las pantallas de la consola de operación, han sido configuradas previamente, para desplegar la barra de herramientas de aplicación Power5 PAT, ubicada en la parte superior de la pantalla.

En la figura D-1, se muestra la barra de herramientas PAT del software Spectrum Power5, como se puede apreciar corresponde a una barra de herramientas común en ambiente Windows. La barra PAT, sirve como una barra, que centraliza todas las aplicaciones de Power5. Adicionalmente, la barra PAT alerta sobre cualquier condición de alarma que se presente en el sistema, la cual se indica por intermitencia de un símbolo o botón de enlace en la parte izquierda de la barra.

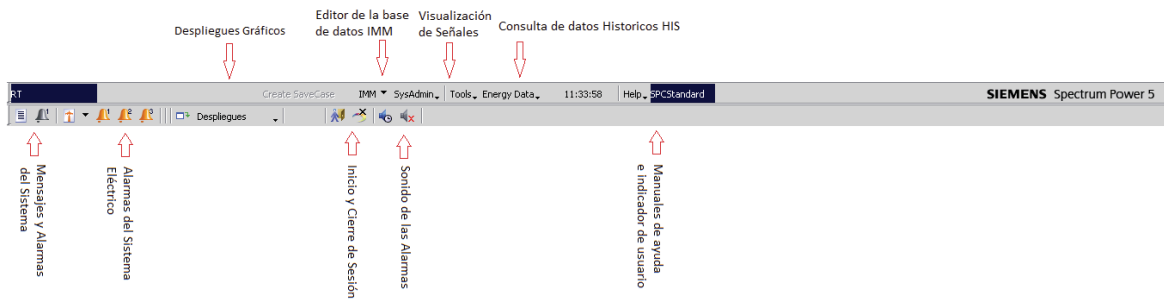


Figura D-1: Barra de herramientas PAT predeterminada – Fuente, elaboración propia.

La barra de herramientas PAT está configurada para no ser ocultada por otras ventanas y se despliega automáticamente en caso que el estado de una señal de alarma en el registro de eventos cambia o si la barra de tareas ha sido configurada para que periódicamente aparezca en primer plano.

D.3 Inicio de Sesión (Log-on / Log-off)

Dependiendo del tipo de usuario y los permisos con los que haya sido creado en la configuración del sistema, podrá acceder a determinadas herramientas y acciones sobre el sistema real. Si es el caso de un usuario estándar, sólo se le permite visualizar valores de variables y estados, gráficas históricas, resúmenes de alarmas y eventos, etc. Un usuario estándar jamás tendrá permiso de operar interruptores del sistema eléctrico de potencia de manera remota. Si se trata de un usuario con permisos de administrador, se tiene acceso a operación de forma remota y puede además modificar diagramas, Tags y diseño de pantallas. Para ello, debe hacerlo por medio del ingreso a la estación de ingeniería.

El inicio de sesión, que se muestra en la Figura D-2, es el típico para un usuario de tipo estándar con permisos de visualización y monitoreo del sistema.



Figura D-2: Barra de inicio de sesión– Fuente, elaboración propia.

Al presionar el botón izquierdo de la barra mostrada en la figura D-2 aparece la ventana mostrada en la figura D-3 en donde se deben introducir los datos correspondientes.

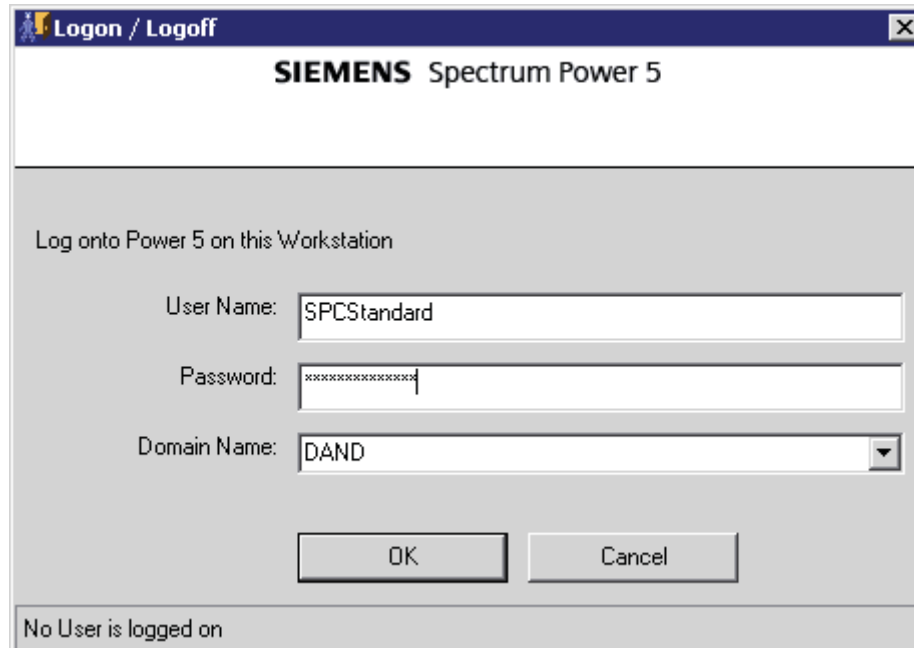


Figura D-3: Ventana de inicio de sesión– Fuente, elaboración propia.

Una vez ingresados el nombre de usuario y la contraseña correspondiente, entregados por el encargado del sistema SCADA, debería aparecer una ventana de información que corrobora el inicio de sesión con los datos correspondientes al tipo de usuario que ingresó al sistema (Figura D-4). Todo ingreso al programa queda registrado en la ventana de registros de eventos.

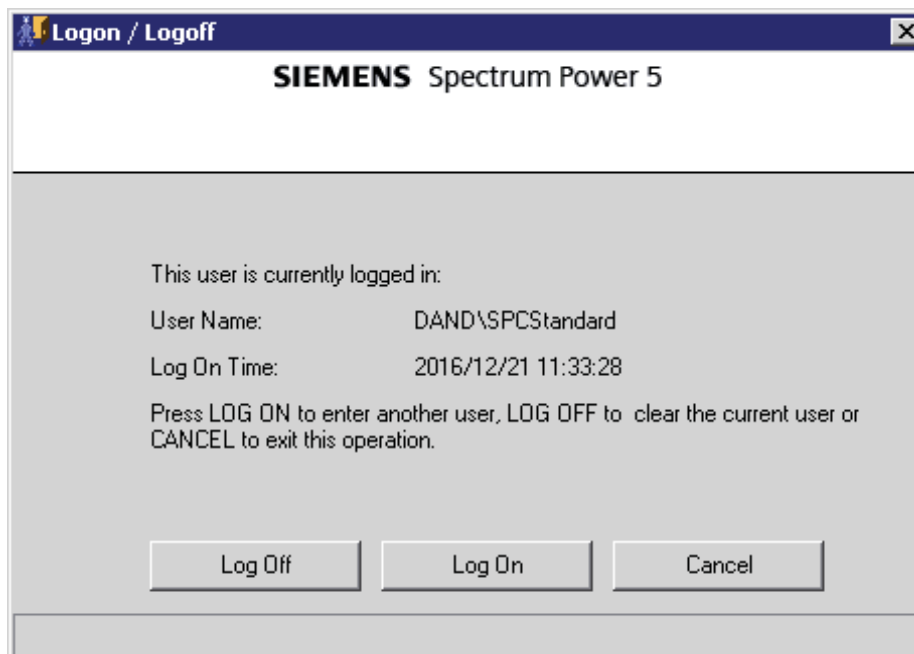


Figura D-4: Ventana de confirmación de inicio de sesión – Fuente, elaboración propia.

Para cerrar la sesión simplemente basta hacer clic en la pestaña Log-off de la barra de herramientas PAT.

D.4 Despliegues Gráficos

Los despliegues gráficos pueden ser invocados presionando el botón del menú desplegable “Despliegues” que se muestra en la figura D-5 en el PAT. En este menú desplegable se encuentran los accesos directos a todas las pantallas del sistema SCADA, referente a los diagramas unilineales de cada una de las salas eléctricas y subestaciones existentes en la mina. La función de esto es tener un acceso directo, rápido y sencillo a cualquiera de las pantallas del sistema SCADA, en caso de ser necesario tomar alguna acción preventiva o correctiva con respecto a alguno de los dispositivos de campo, o ante alguna alarma que se presente en el sistema eléctrico de potencia.

Como se puede apreciar en la figura D-5 en el menú desplegable aparecen los nombres de todas las instalaciones de la Mina Rajo Andina que cuentan con pantalla para monitoreo y actuación desde el Software Spectrum Power5.

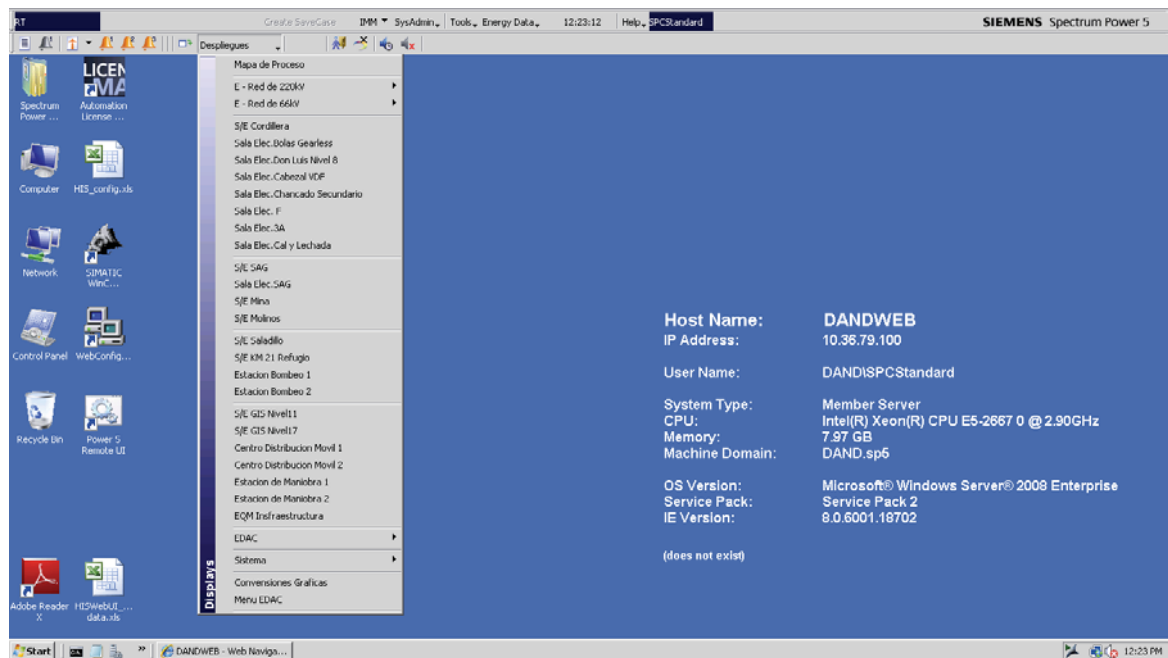


Figura D-5: Despliegues de acceso rápido a las pantallas del SCADA Andina– Fuente, elaboración propia.

D.5 Resumen de alarmas

En esta ventana se muestran todos los acontecimientos ocurridos y el detalle de los mismos, indicando la hora y fecha del evento ocurrido.

Además tiene una barra de herramientas que presenta algunas opciones de trabajo, pero la más importante es el filtro, que permite mostrar determinados tipos de alarmas o seleccionar una fecha en que se necesite analizar un evento en particular.

La información acá mostrada proviene del sistema de potencia y entre la información recibida se tiene:

- Mensajes de eventos: Estos mensajes no requieren ser reconocidos por el operador, como por ejemplo el inicio de sesión de un usuario. Generalmente se muestran en color morado, como aparece en la figura D-6.
- Mensajes de alarmas: Estos eventos requieren ser reconocidos por el operador, se muestran en la ventana de resumen de alarmas en color rojo parpadeante. No solamente se muestran acá, también aparecen las alarmas en otros lugares para hacerlas evidentes.

Time Stamp	Path 1	Path 2	Path 3	Path 4	Path 5	Status	Value
12/20/16 11:09:45:394	_Main CC/CFE	CFE_Node2		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:394	_Main CC/CFE	CFE_Node2		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:908	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:908	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:909	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:909	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:910	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:09:45:910	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		App	Conte
12/20/16 11:10:03:095				_Operational		App	Up
12/20/16 11:10:03:095		Enlace CDEC-Andina		_Operational		App	Up
12/20/16 11:10:03:095		Enlace CDEC-Andina		_Operational		App	Up
12/20/16 13:12:40:000	_Main CC/CFE	CFE_Node2		Status		Ack	Conte
12/20/16 13:12:40:000	_Main CC/CFE	CFE_Node2		Status		Ack	Conte
12/20/16 13:12:40:000	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		Ack	Conte
12/20/16 13:12:40:000	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		Ack	Conte
12/20/16 13:12:40:000	_Main CC/CFE	CFE_Node1		Status		Ack	Conte
12/20/16 13:12:40:000		Enlace CDEC-Andina		_Operational		Ack	Up
12/20/16 13:33:35:125		Enlace CDEC-Andina		_Operational		App	Down
12/20/16 13:33:35:125		Enlace CDEC-Andina		Operational		App	Down

Figura D-6 Resumen de alarmas del Spectrum Power 5– Fuente, elaboración propia.

D.6 Runtime Explorer

El Runtime Explorer es un explorador en tiempo real en forma de tabla. Permite visualizar los valores actuales, status, códigos de calidad y se pueden ejecutar comandos en él como si estuviera en un despliegue de control. El Runtime Explorer es una herramienta genérica completa. Como es definido por los contenidos del IMM (Information Model Manager), no es necesario realizar configuraciones adicionales.

En la figura D-7 se muestra la ventana de navegación del Runtime Explorer, en donde se selecciona una subestación eléctrica, desde el árbol de instancias jerárquico, para observar cuales son las variables que tiene asociadas. Estas variables pueden ser analógicas o digitales.

Name	Type	Value	Unit	Status
0.4kV/MEDIDAS/CORRIENTE FASE A	Analog	747	A	Tele
0.4kV/MEDIDAS/CORRIENTE FASE B	Analog	800	A	Tele
0.4kV/MEDIDAS/CORRIENTE FASE C	Analog	771	A	Tele
0.4kV/MEDIDAS/ENERGIA ACTIVA	Analog	4314030	kWh	Tele
0.4kV/MEDIDAS/FACTOR POTENCIA	Analog	82		Tele
0.4kV/MEDIDAS/FRECUENCIA	Analog	50	Hz	Tele
0.4kV/MEDIDAS/POTENCIA ACTIVA	Analog	0.418	MW	Tele
0.4kV/MEDIDAS/POTENCIA REACTIVA	Analog	0.283	MVAR	Tele
0.4kV/MEDIDAS/TENSION FASE A-B	Analog	383	V	Tele
0.4kV/MEDIDAS/TENSION FASE B-C	Analog	384	V	Tele
0.4kV/MEDIDAS/TENSION FASE C-A	Analog	384	V	Tele
0.4kV/SSAA/SE UNITARIA 2000 Kva. ALARMA COMUN	Discrete	Operado		Tele
0.4kV/SSAA/SE UNITARIA 2000 Kva. ALARMA TRIP	Discrete	Operado		Tele
0.4kV/SSAA/SE UNITARIA 2000 Kva. PRESENCIA TE...	Discrete	Operado		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/BREAKER TRI...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/CARRO INSE...	Discrete	Extraido		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/INVERSOR DE...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/INVERSOR DE...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/INVERSOR DE...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD1234-SE-F/Digitales/TENSION CC C...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD5678-SE-F/Digitales/BREAKER TRI...	Discrete	Normal		Tele
4.16kV/DES-CELD5678-SE-F/Digitales/CARRO INSE...	Discrete	Extraido		Tele

Figura D-7: Runtime Explorer– Fuente, elaboración propia.

El Runtime Explorer ofrece varias vistas predefinidas, las cuales pueden ser configuradas por el usuario, desde la barra de herramientas de esta ventana de navegación. Entre las vistas que pueden ser seleccionadas se encuentran: Lista de mensajes CFE, Vista Explorer, Vista Subestación, Lista de mensajes OPC, Lista de mensajes ICCP, lista de marcas, lista de mensajes de actualizaciones manuales.

D.7 Sistema de Información Histórica (HIS)

El sistema de información histórica es el que se encarga básicamente de almacenar datos históricos tales como valores analógicos y acumuladores, mediciones digitales y alarmas.

El HIS puede procesar grandes cantidades de datos, desde decenas de MB a cientos de GB. Cabe destacar que el tamaño del HIS está restringido únicamente por el espacio en disco. No hay limitaciones de tamaño impuestas en el sistema.

Dentro de los aspectos relevantes del HIS, se pueden mencionar sus componentes y funciones, las cuales son: Recolección de datos, Protección contra pérdida de datos de tiempo real, Archivo de largo plazo (Long-term archiving-LTA), Recuperación de datos, Interfaz de usuario, Informes, Interfaces externas, Modificación de datos, Capacidad de cálculo, Agregación y Fórmulas.

El HIS recibe los datos provenientes del sistema SCADA. La configuración de los datos a ser colectados se define a través de la herramienta Information Model Management (IMM).

En la figura D-8, se muestra la ventana del sistema de información histórica, que nos permite generar gráficas del comportamiento de alguna de las variables eléctricas que nos interese analizar. Cabe destacar que las gráficas generadas muestran los valores efectivos de las variables durante el rango de tiempo que se seleccione, no es como un osciloscopio que muestra las formas de onda de la variable seleccionada.

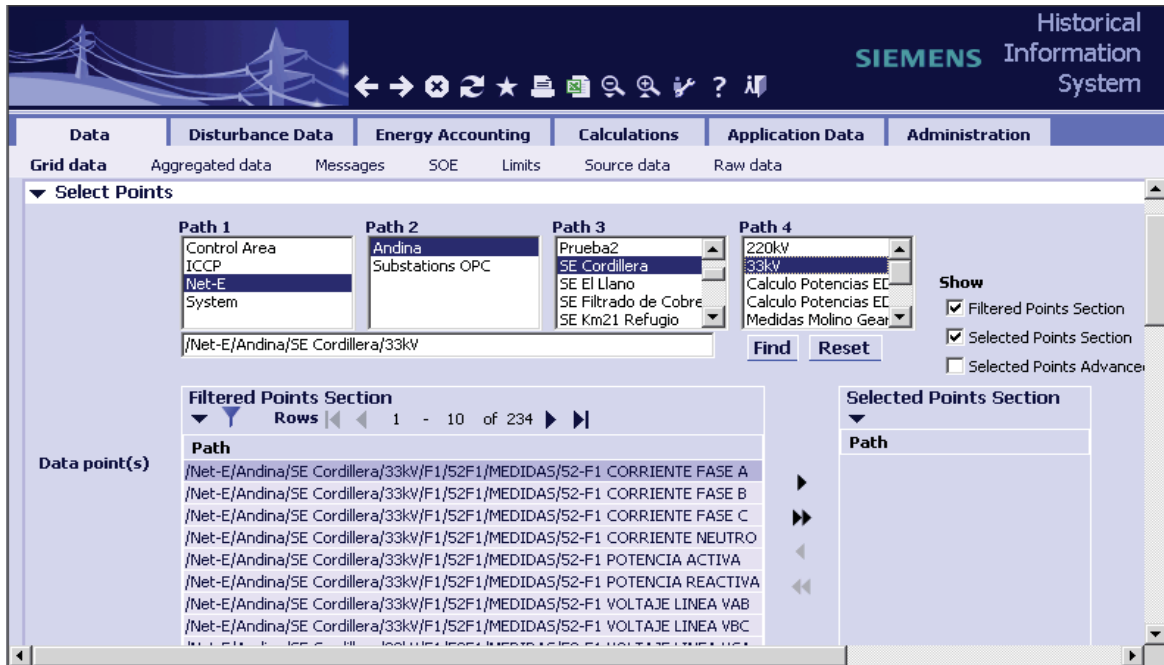


Figura D-8: Sistema de información Histórica para generar gráficas– Fuente, elaboración propia.

En la primera sección, antes de generar una gráfica, se debe seleccionar Net-E en el árbol de instancia, en la segunda ruta en Andina se encuentran todas las salas eléctricas y subestaciones que han sido creadas y que existen físicamente en la mina, luego se selecciona una de estas salas eléctricas y aparecerán los elementos que contienen variables en el Path 4 como se aprecia en la figura 7-8. Si al seleccionar uno de estos elementos, en el Path 4, no aparece ninguna variable en la ventana inferior “data points”, quiere decir, que no se están guardando información de aquella sala o subestación eléctrica, o que no tiene comunicación o no ha sido configurada.

Una vez seleccionada la variable a visualizar, se debe indicar el rango de tiempo, a mostrar en el gráfico, como se muestra en la figura D-9.

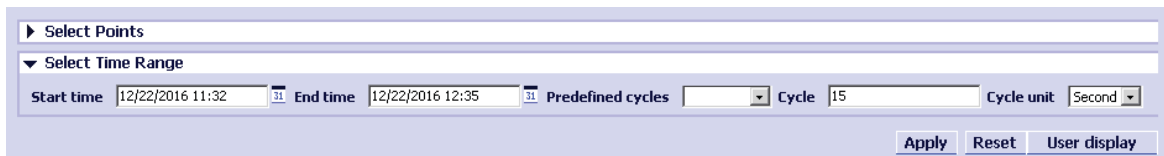


Figura D-9: Sección del HIS para seleccionar rango de tiempo a visualizar– Fuente, elaboración propia.

La casilla “cycle” junto a la casilla “unit cycle” de la figura 7-9, permite ingresar la periodicidad del tiempo, en que la señal analógica sera muestreada. Por ejemplo si ingresamos 1 [s], le estamos indicando al programa, que cada un segundo tome una muestra del valor efectivo de la señal que queremos visualizar gráficamente. Cabe destacar que la aplicación tiene una cantidad predeterminada de puntos que puede tomar, esto quiere decir que si seleccionamos un ciclo de muestreo pequeño y un rango de tiempo muy grande, el programa arrojará un error diciendo que se excede del número máximo de puntos a mostrar en el gráfico.

Finalmente queda presionar sobre el botón apply y esperar a que se genere la gráfica. Dependiendo del rango de tiempo que se seleccione y de la tasa de muestreo será lo que demore la aplicación en generar la gráfica respectiva.

En la figura D-10 se muestra una gráfica de la tensión línea-línea de una subestación eléctrica, con un ciclo de muestreo pequeño y un rango de tiempo de una hora.

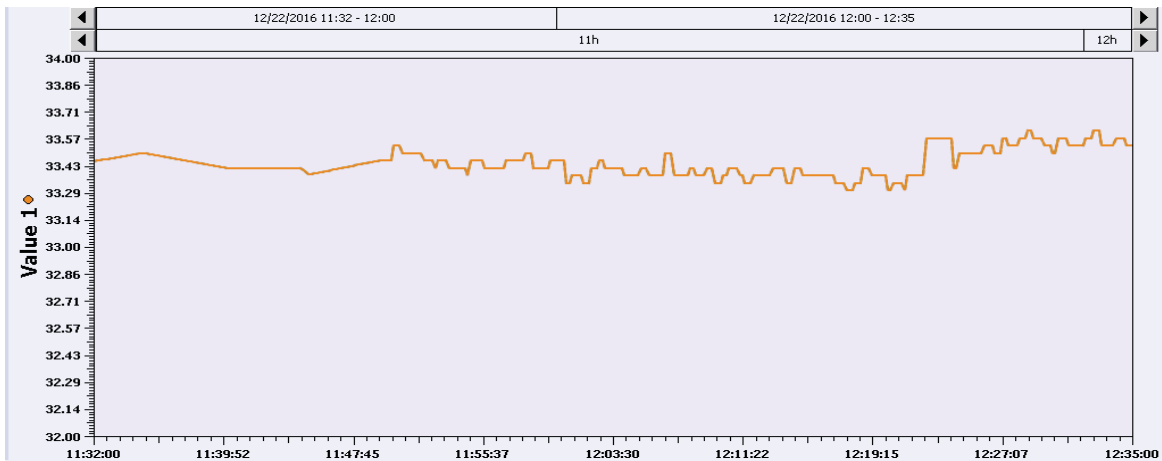


Figura D-10: Tensión efectiva barra de 33 [kV], ciclo de muestreo de 15 [s] – Fuente, elaboración propia.

La figura D-11 muestra la misma gráfica anterior pero con un ciclo de muestreo mayor.

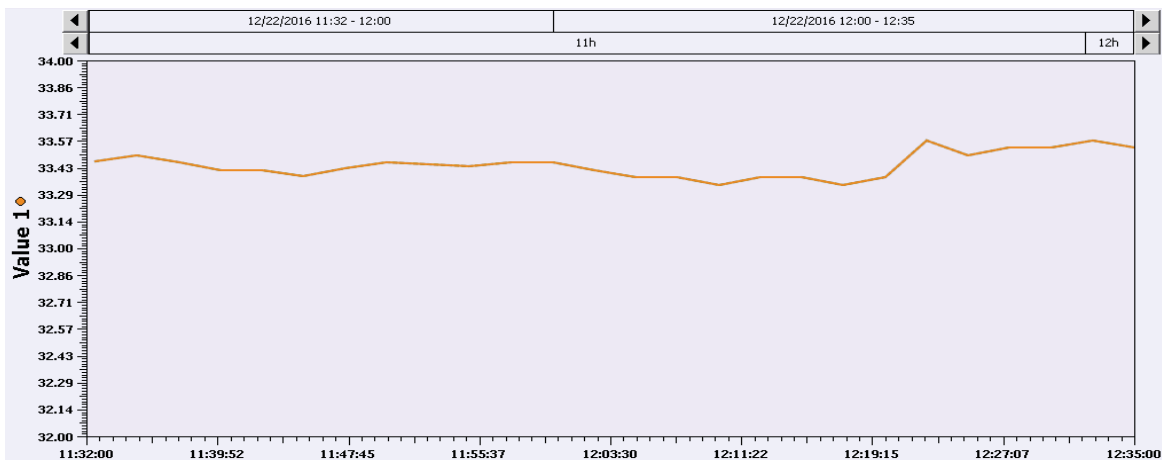


Figura D-11: Tensión efectiva barra de 33 [kV], ciclo de muestreo de 150 [s] – Fuente, elaboración propia.

Otra característica relevante que tiene el sistema de información histórica es que permite exportar los datos del gráfico en formato de plantilla Excel. Esto sirve, en caso de, necesitar analizar los valores con mayor detalle o generar la gráfica en otro software que permita adicionarle más detalles, como nombres de ejes, título, unidades, etc.

E Ingreso a IMM

Para hacer cualquier tipo de modificación en la configuración, diseño, enlace, u otro. Se debe ingresar, mediante escritorio remoto, al servidor web (IP: 10.36.79.100). El escritorio remoto se puede iniciar directamente, en el menú de inicio cliqueando ejecutar, mediante el comando “mstsc”. Al acceder al escritorio remoto, nuevamente se ejecuta el comando, para iniciar otro escritorio remoto a la estación de ingeniería (IP: 172.10.73.25). De esta forma, se puede acceder al Log-on del Spectrum Power5, para ingresar a la barra de herramientas PAT. En la Figura E-1 se muestra el inicio de éste proceso.

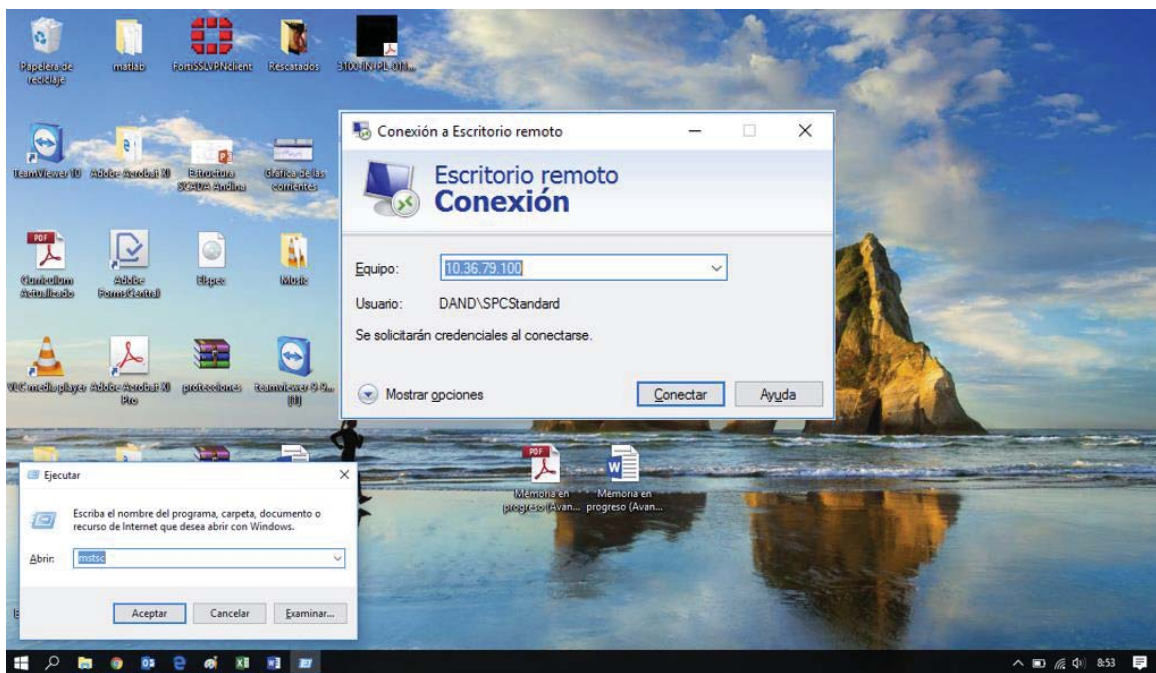


Figura E-1: Ingreso a escritorio remoto – Fuente, elaboración propia.

Los tipos de usuarios configurados para ingresar al servidor Web son:

User: SPCStandard (Permisos de Visualización y creación de gráficas solamente)

User: SPCAdmin (Sin restricciones de acceso).

La figura E-2, muestra el ingreso al escritorio remoto de la Estación de ingeniería, desde el escritorio remoto del servidor web, como usuario SPCAdmin.

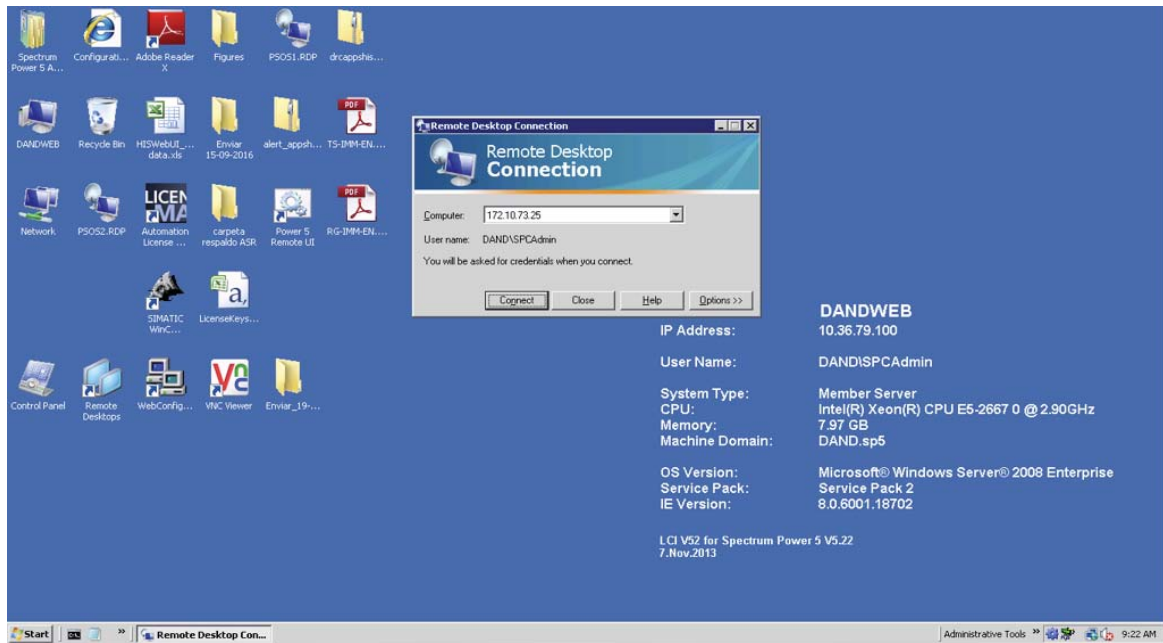


Figura E-2: Ingreso a Estación de ingeniería desde servidor web – Elaboración propia.

Para ingresar al software es necesario ingresar el usuario y contraseña presionando en la esquina superior izquierda (Figura E-3). De esta forma se accede a la barra de herramientas PAT.

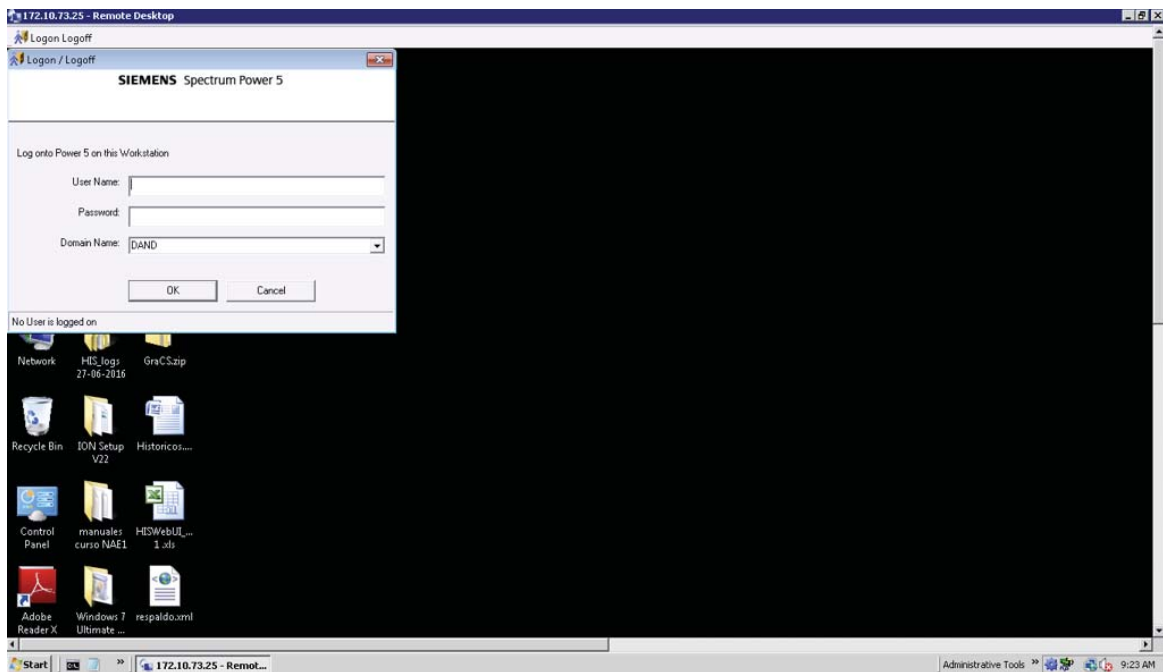


Figura E-3: Ingreso a Barra de herramientas PAT desde estación de ingeniería -Fuente, elaboración propia.

Posteriormente se ingresa en la pestaña IMM de la barra PAT (Figura E-4). Posteriormente, se debe hacer clic derecho sobre Realtime y crear un Nuevo Job. Para realizar cualquier modificación al sistema, es necesario crear un Job (Escenario actual del sistema sobre el cuál se pueden realizar modificaciones). Estas modificaciones quedan sujetas a una validación al terminar la edición.

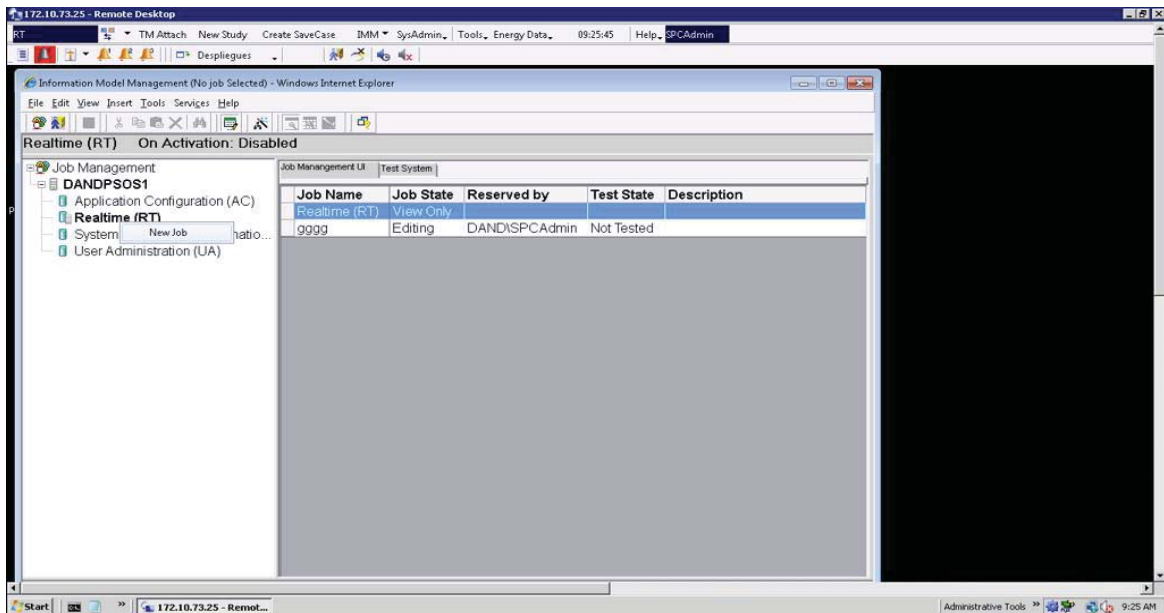


Figura E-4: Creación de New Job – Fuente, elaboración propia.

Luego de haber creado el job, donde se pretende trabajar, se accede al editor gráfico (Figura E-5). En éste editor, aparecen todos los diagramas unilineales existentes, los cuales, pueden ser modificados.

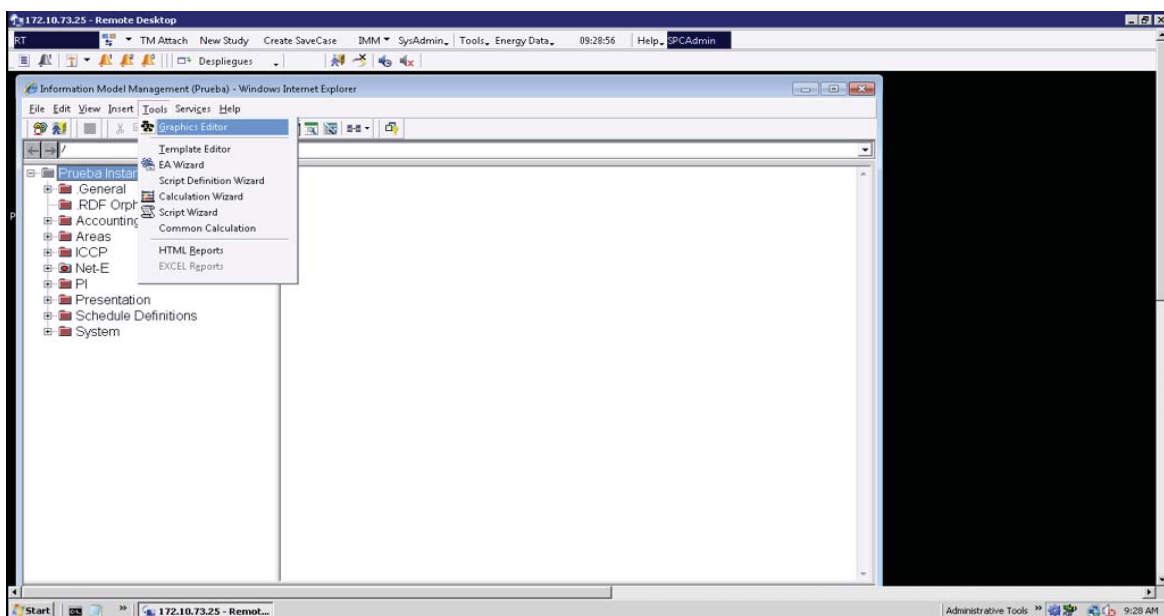


Figura E-5 Ingreso al Editor gráfico – Fuente, elaboración propia.

Una vez en el editor gráfico, se ingresa al navegador, como se muestra en la figura E-6. En esta ventana, se puede abrir cualquier pantalla creada, accediendo de esta manera al worldmap de todas las pantallas existentes. En este worldmap, se puede editar los elementos o crear nuevas pantallas, basándose en los modelos existentes.

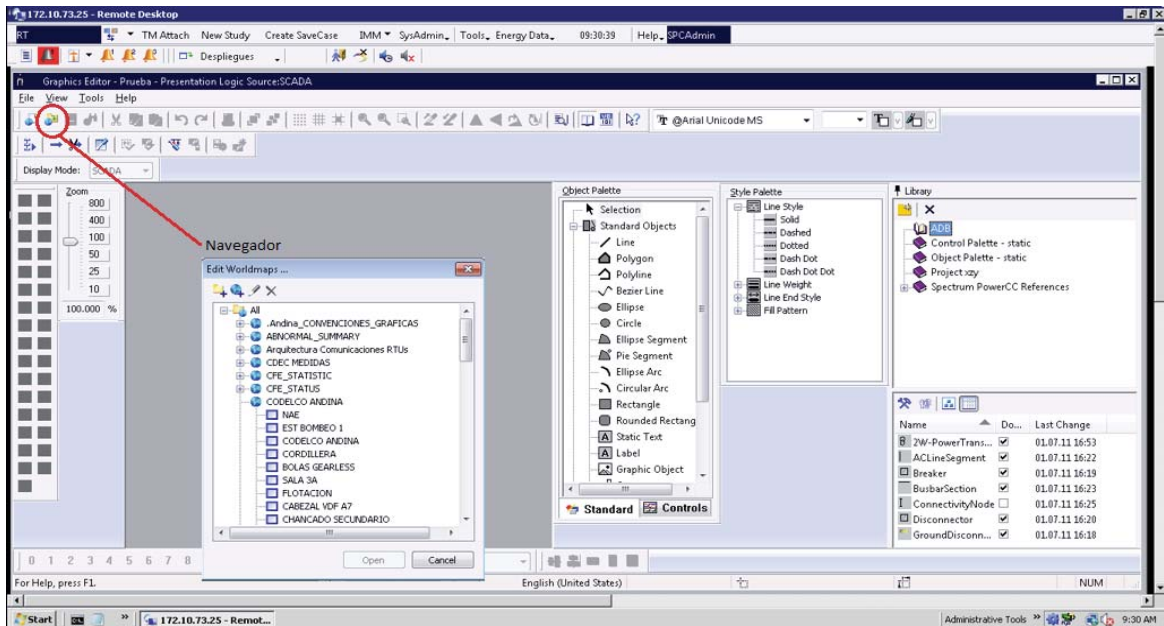


Figura E-6: Editor gráfico - Fuente, elaboración propia.

La figura E-7, muestra que haciendo clic derecho, sobre algún elemento se pueden editar las propiedades gráficas y enlaces de red.

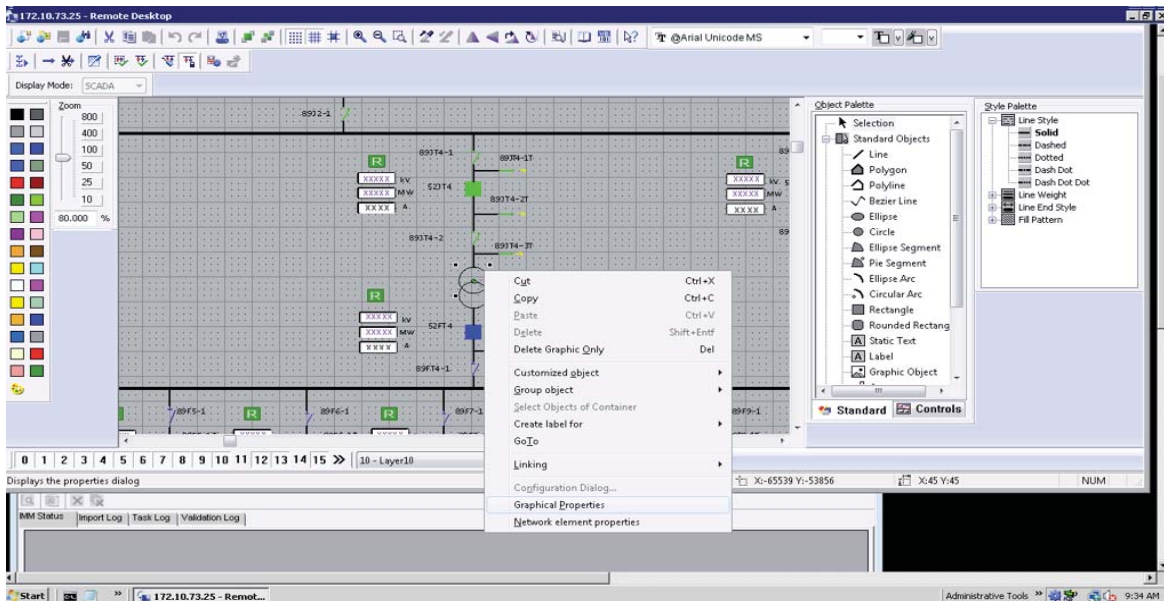


Figura E-7 Pantalla de una subestación eléctrica del Worldmap – Fuente, elaboración propia.

A.2 Revisión de Enlace con elemento de Red

Para revisar si un elemento del esquema, está correctamente enlazado con su TAG de red. Se debe hacer clic derecho sobre el elemento (Transformador, relé, barra, interruptor automático, etc.) y posteriormente se revisan las propiedades de red como se muestra en la Figura E-8.

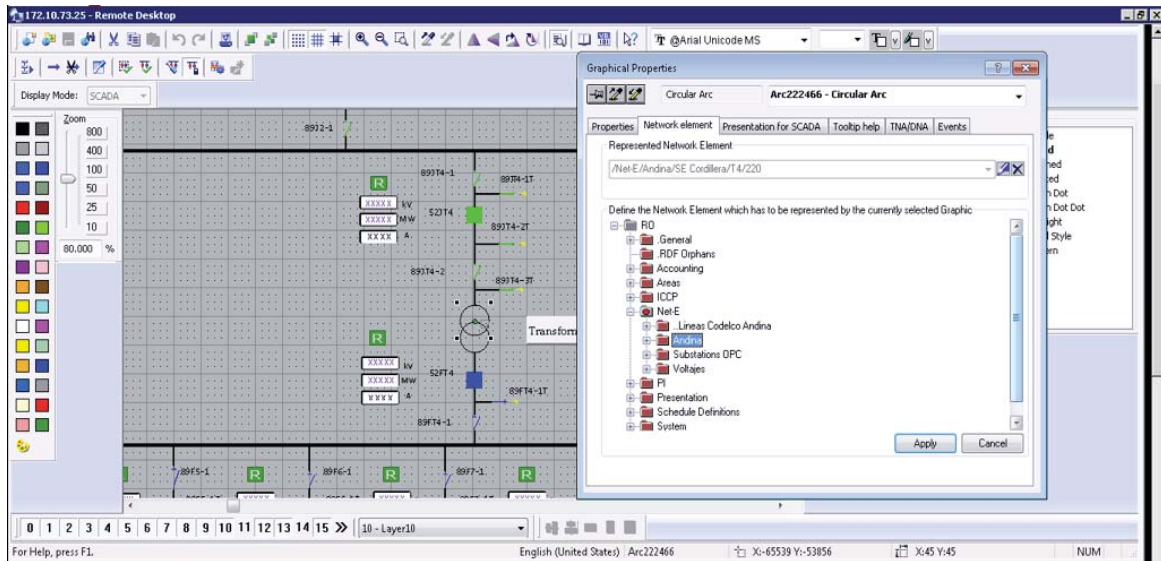


Figura E-8: Revisión de enlaces entre elemento gráfico y de red – Fuente, elaboración propia.

Al ingresar a andina, aparecen todas las pantallas creadas, a medida que se va ingresando a las carpetas que se encuentran organizadas en forma jerárquica, aparecen los elementos dependiendo de su tipo y nivel de tensión, como se muestra en la Figura E-9.



Figura E-9: Revisión de enlace con TAG en el árbol de instancias – Fuente, elaboración propia.

Finalmente para que todos los cambios que se hayan efectuado tengan validez, es necesario preparar, luego activar y finalizar el Job, como se muestra en la figura E-10.

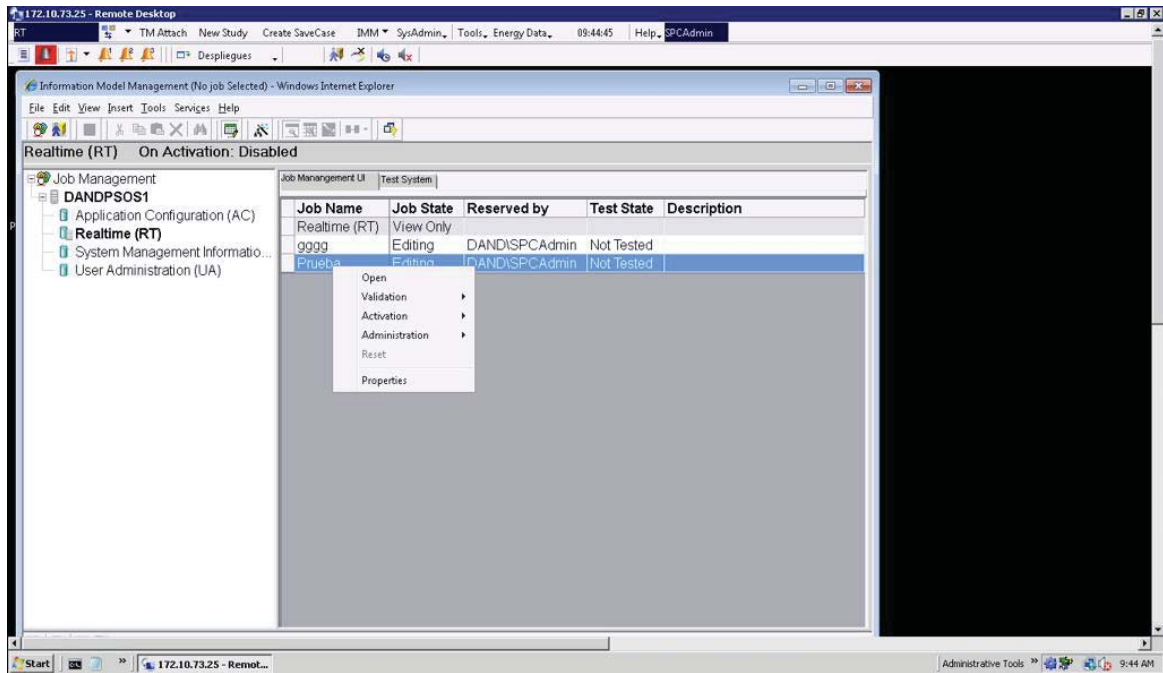


Figura E-10: Validación, Activación y Finalización del Job – Fuente, elaboración propia.

Primero se debe validar el Job, esperando hasta que esté validado; posteriormente se debe activar, esperando que esté finalizado este paso; finalmente se debe finalizar el job, una vez finalizado no es posible deshacer los cambios efectuados.

F Cálculo de enlace inalámbrico

F.1 Pérdida en el espacio libre

La potencia de la señal, se reduce por el ensanchamiento del frente de onda, en lo que se conoce como pérdida en el espacio libre.

La potencia de la señal, se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor, a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la densidad de potencia disminuye.

F.1.1 A la frecuencia de 2.4 [GHz] la pérdida en el espacio libre en decibelios es:

$$L_{fs} = 100 + 20 \cdot \log(D) \quad (\text{F-1})$$

$$L_{fs} = 32.5 + 20 \cdot \log(D) + 20 \cdot \log(f) \quad (\text{F-2})$$

Donde L_{fs} está en [dB], f en [MHz] y D en kilómetros.

F.2 Presupuesto de Potencia

$$\begin{aligned} &+ \text{Potencia del Transmisor [dBm]} \\ &- \text{Pérdidas en el Cable TX [dB]} \\ &+ \text{Ganancia de Antena TX [dBi]} \\ &- \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]} \\ &+ \text{Ganancia de Antena RX [dBi]} \\ &- \text{Pérdidas en el Cable RX [dB]} \\ &= \text{Márgen} - \text{Sensibilidad del Receptor [dBm]} \end{aligned} \quad (\text{F-3})$$

F.3 Pérdidas en el Cable

- Pérdidas debido a la atenuación.
- El cable de la antena debe ser lo más corto posible.
- Dependientes de la Frecuencia.
- Los valores típicos de pérdidas varían entre 1 [dB/m] hasta 0.1 [dB/m]
- Pérdidas menores implican un cable más costoso.

F.4 Pérdidas en los conectores

Las pérdidas en los conectores dependiendo de la frecuencia y tipo de conector pueden estimarse en aproximadamente 0.25 [dB] por conector.

F.5 Zona de Fresnel

La primera zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista). Esta línea es importante porque define un volumen alrededor de la línea de vista que debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza a la antena receptora sea máxima.

Todos aquellos objetos en la zona de Fresnel como árboles, colinas y edificios pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aun cuando la línea entre TX y el RX no esté bloqueada.

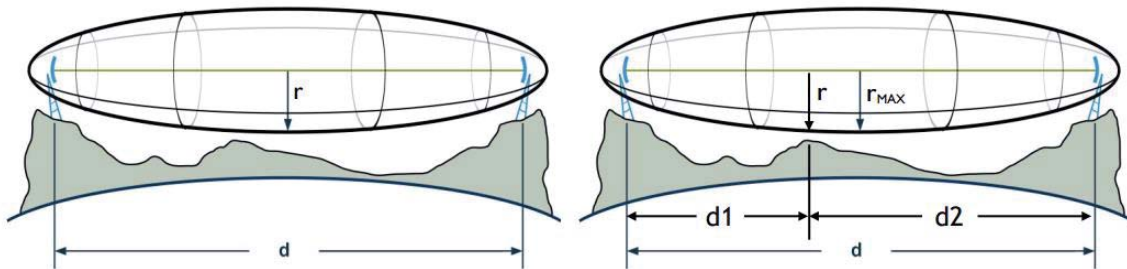


Figura F-1: Zona de Fresnel con y sin obstáculos.

El radio de la primera zona de Fresnel en cualquier punto del trayecto entre el transmisor y el receptor viene dado por:

$$r = 17,31 \cdot \sqrt{\frac{(d1 \cdot d2)}{(f \cdot d)}} \quad (\text{F-4})$$

Donde r es el radio de la zona en metros, $d1$ y $d2$ son las distancias desde los extremos del enlace al obstáculo y d es la distancia total en metros, f es la frecuencia en MHZ.

Se debe destacar que la fórmula calcula el radio de la zona, no la altura sobre el terreno. Para calcular la altura sobre el terreno requerida se resta este radio de la altura correspondiente en la recta que une la antena transmisora con la antena receptora.