UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN INTEGRADA DEL CONSUMO ELÉCTRICO PARA PLANTA MELÓN VENTANAS

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero en Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
Juan Carlos Carmona Arturo

Profesor guía:
Ing. Sergio Riquelme Bravo

2017

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: CELDA MCSET – SEPAM – RED MODBUS – RED PROFIBUS DP – GATEWAY LUFP7 – SOFTWARE UNITY PRO

El proyecto que se expone a continuación propone implementar la medición del consumo eléctrico de media tensión de la Planta de Cemento Melón Ventanas.

Actualmente la Planta de Cemento Melón Ventanas cuenta con sistemas "inteligentes" capaces de recopilar información del consumo eléctrico total de planta, sin embargo, las mediciones en los puntos de distribución de media tensión se encuentran aislados en el sistema de medición actual, por lo cual no existe un monitoreo en los consumos entregados por cada punto de distribución de media tensión de la planta.

En base a esta condición, se ha realizado un estudio que busca implementar mediciones del consumo eléctrico de cada punto de distribución de media tensión, con el fin de tener un monitoreo continuo de las variables asociadas como: corrientes, voltajes y potencias.

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: MEDICIÓN EN PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA

1.1. INTRODUCCIÓN A NIVELES DE MEDIA TENSIÓN

1.1.1. Conceptos Básicos de niveles de tensión

1.1.2. Definición de rangos baja y alta tensión

1.1.3. Tensiones Normales

1.1.4. Suministro de energía

1.1.5. Sistemas de Distribución Eléctrica Industrial

1.1.6. Redes industriales

1.1.7. Comunicaciones Industriales

1.1.8. TOPOLOGÍAS DE RED

1.1.7. SCADA

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Definición del Problema

1.2.2. Importancia de resolver el problema.

1.3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

1.3.1. Descripción de las Alternativas

1.3.2. Comparación de las alternativas

1.3.3. Definición de la alternativa seleccionada

CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

2.1. CELDA DE MEDIA TENSIÓN MCSET

2.1.1. El cubículo

2.1.2. El sistema de protección, monitoreo y control

2.1.3. La parte extraíble

2.1.4. Condiciones de operación

2.1.5. Protección hacia personas

2.1.6. Distribución de Celdas de Media Tensión en Sala Eléctrica Principal
2.2. UNIDAD DE CONTROL Y MONITOREO
2.2.1. Arquitectura de Sepam.
2.2.2. Medidas y Diagnóstico Sepam
2.2.3. Automatismos internos de Sepam
2.2.4. Principios de funcionamiento de Automatismos internos de Sepam
2.2.5. Características de entradas y salidas digitales de Sepam
2.2.6. Características del hardware de la Unidad Básica Sepam
2.3. COMUNICACIÓN DE SEPAM POR PROTOCOLO MODBUS
2.3.1. Pasarela LUFP7
2.3.2. Implementación de hardware de la puerta de enlace LUFP7
2.3.3. Conexión de la pasarela LUFP7 a la red Profibus-DP
2.3.4. Condiciones de cableado para la red Profibus-DP
2.4. IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DEL GATEWAY LUFP7
2.4.1. Arquitectura del sistema
2.4.2. Ajustes para la configuración del Hardware en PLC con software Unity Pro
2.4.3. Creación de una red Profibus-DP
2.4.5. Selección de la estación maestra Profibus-DP
2.4.6. Selección de la puerta de enlace esclava a la red Profibus-DP
2.4.7. Edición y configuración de la puerta de enlace
2.4.8. Guardar y exportar la configuración de red Profibus-DP
2.5. DESARROLLO FINAL DE LA SOLUCIÓN

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS
3.1. COSTOS DEL PROYECTO
3.2. COSTOS DE EQUIPOS
3.3. COSTOS DE INSUMOS Y MATERIALES
3.4. COSTOS DE RECURSOS HUMANOS
3.4.1. Ingeniero Electrónico
3.4.2. Supervisor Instrumentista
3.4.3. Técnico Instrumentista
3.5. COSTOS DIRECTOS
3.6. COSTOS INDIRECTOS
3.7. UTILIDADES
3.8. CÁLCULO FINAL DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO
3.9. RESUMEN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS
ANEXO A: LISTADO DE COMPONENTES
ANEXO B: COTIZACIÓN DE IMPLEMENACIÓN DEL PROYECTO

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Sistema de suministro eléctrico

Figura 1-2. Transformador Principal Melón Ventanas

Figura 1-3. Celda de Distribución Primaria para Media Tensión Schneider 7,2 KV

Figura 1-4. Pirámide de CIM

Figura 2-1. Celda de media tensión MCset

Figura 2-2. Distribución de Celdas de MT en Sala Eléctrica Principal Melón Ventanas

Figura 2-3. Arquitectura del Sepam

Figura 2-4. Módulos de entrada y salidas digitales de Sepam

Figura 2-5. Parte Frontal Sepam

Figura 2–6. Parte Posterior Sepam 80

Figura 2–7. Muestra de flujos a través de pasarela LUFP7

Figura 2-8. Hardware de la puerta de enlace LUFP7

Figura 2–9. Topología Estrella Modbus

Figura 2–10. Terminal de línea y conector de conexión red Modbus

Figura 2–11. Conexión LUFP7 a red Profibus-DP

Figura 2–12. La terminación de línea se recomienda en ambos extremos

Figura 2–13. Arquitectura del sistema de comunicación

Figura 2–14. Configuración de aplicación para red Profibus - DP

Figura 2–15. Creación red Profibus-DP

Figura 2–16. Selección de estación Maestra Profibus DP

Figura 2–17. Configuración Maestro

Figura 2–18. Parámetros de Bus

Figura 2–19. Selección de enlace esclavo

Figura 2-20. Edición y configuración de la puerta de enlace LUFP7

Figura 2-21. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas sección de 1 a 4

Figura 2-22. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas de sección 5 a 7

Figura 2-23. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas 1

Figura 2-24. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas 2

Figura 3-1. Fibra óptica de 4 hilos 62.4 uN

Figura 3-2: Empalmadora de Fibra óptica por fusión

Figura 3-3. Gabinete de Acero Inoxidable

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Valores Nominales de media tensión

Tabla 1-2. Vida Útil de los Equipos

Tabla 1-3. Valoración de las alternativas

Tabla 3-1. Costos de Equipos

Tabla 3-2. Costos de materiales e insumos

Tabla 3-3. Costos por Ingeniero Electrónico

Tabla 3-4. Costos por Supervisor

Tabla 3-5. Costos por Técnico Instrumentista

Tabla 3-6. Costos por Prevencionista de Riesgos

Tabla 3–7. Costos totales Recursos Humanos

Tabla 3–8. Costos Directos del Proyecto

Tabla 3–9. Costos Indirectos del Proyecto

Tabla 3–10. Costos Totales del proyecto

Tabla 3–11. Costos de utilidad

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

SIGLAS

AC : Alternate Current (Corriente alterna)
ANSI : American National Standard Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización)
AWG : American Wire Gauge (Medida de cable americana)
CCM : Central de Control de Motores
CEII : Control e Instrumentación Industrial
CLP : Chilean Pesos (Pesos Chilenos)
DC : Direct Current (Corriente continua)
DCS : Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)
ESC : Escape
HART : High-way Adressable Remote Transducer (Transmisor remoto direccionable)
IP : Índice de protección
IPC : Índice per cápita
ISA : International Society of Automation (Sociedad internacional de automatización)
ITO : Inspector Técnico en Obra
IVA : Impuesto de Valor Agregado
LRV : Lower Range Value (Valor más bajo del rango)
PLC : Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
RMS : Root Mean Square (Media cuadrática – Valor eficaz)
SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition
SEC : Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SEPAM : Square D Electrical Protection And Monitoring
UF : Unidad de Fomento
URV : Upper Range Value (valor más alto del rango)
USD : United States Dollar (Dólares Estado Unidenses)
ZP : Zero Point (Punto Cero)

SIMBOLOGÍA

°C : Grados Celsius
A : Ampere
cc : Centímetros Cúbicos
dB : Decibel

ε	: Constante Dieléctrica
ft	: Feet (pies)
GHz	: Giga-Hertz
HP	: Horse Power (Caballos de Fuerza)
inch	: Inches (pulgadas)
Kg	: Kilógramos
Km	: Kilómetros
KV	: Kilo-Volts
m	: Metros
m^3	: Metros Cúbicos
mA	: Mili-amperes
mm	: Milímetros
Nm	: Newton-Metros
Ns/m^3	: Newton-segundos/Metro cúbico
s	: Segundos
v	: Velocidad
V	: Volts
W	: Watts
Z	: Impedancia acústica
μ	: Permeabilidad Magnética
μs	: Micro-segundos

INTRODUCCIÓN

La planta de molienda de Cemento Melón se ubica en la ciudad de Ventanas, centro industrial de la comuna de Puchuncaví y motor del desarrollo de la Quinta Región. Esta planta emplea tecnología limpia de última generación basada en molienda vertical, siendo la primera planta que emplea un molino vertical en la compañía de Cemento Melón ya que las otras plantas de cemento utilizan molinos horizontales de bola para la fabricación de cemento. Esta planta produce aproximadamente seiscientas toneladas de cemento al año.

El proceso de fabricación del cemento inicia con la recepción de materias primas; el Clinker, Yeso, Puzolana y Escoria Siderúrgica, las que se transportan en camiones cerrados. Los componentes son acopiados en silos y tolvas cerradas que cuentan con sistemas sellados de transferencias de materiales y sistemas de despoblamiento. Las materias primas son dosificadas en peso y en continuo por medio de dosificadores ubicados bajo las tolvas de acopiamiento y son transferidos a la cinta de alimentación común la que cuenta con cobertura y filtros de despoblamiento.

Una vez dentro del molino los materiales son reducidos de tamaño por la presión ejercida por rodillos metálicos de gran masa sobre la cama de material, el flujo de aire caliente al interior del molino y se produce la separación por tamaño de las partículas el que tiene como final de proceso un clasificador dinámico de última generación.

Esta tecnología de molienda vertical permite concentrar en una sola maquinaria los procesos de molienda, secado y clasificación con la consecuente disminución de un treinta por ciento del consumo eléctrico de la planta, equivalente a 11.340 MWh. de ahorro anual y comparable al consumo promedio nacional de 2.536 viviendas durante el mismo periodo de tiempo.

Teniendo presente la importancia del ahorro energético dentro de la industria, es necesario realizar un monitoreo de forma continua en cada punto de distribución de energía dentro de una planta industrial, por lo cual se debe desarrollar un proyecto donde incluya el monitoreo de la distribución de energía total de la planta.

Por esta razón nace la propuesta de incorporar la implementación de un sistema capáz de recolectar información relevante del consumo energético en los puntos de distribución de media tensión que existen actualmente en la planta.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Implementar sistema de medición en puntos de distribución de media tensión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y seleccionar la mejor alternativa para la toma de mediciones de energía en media tensión.
- Diseñar planos de comunicación
- Instalar equipos en puntos de medición.
- Implementar medición en sistema Scada de la planta, evaluando económicamente el proyecto

CAPÍTULO 1: MEDICIÓN EN PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA

1. MEDICIÓN EN PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA

1.1. INTRODUCCIÓN A NIVELES DE MEDIA TENSIÓN

En este capítulo se definirá los distintos niveles de tensión, centrándose en la media tensión, definiendo conceptos técnicos de los rangos de media tensión, que es donde se realizará el estudio.

1.1.1. Conceptos Básicos de niveles de tensión

En Chile, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) es el organismo encargado de fijar las leyes que regulan el sector eléctrico en el país, así como también cumple con informar a la comunidad mediante su página web http://www.sec.cl los textos actualizados de la Normativa Legal vigente, en la cual se encuentra la Norma "NSEG 8. E.n. 75. Electricidad tensiones normales para sistemas e instalaciones" la cual define los niveles de tensión en instalaciones eléctricas. Se definen dos grupos de niveles en bajas y altas tensiones, los cuales se sub dividen, la baja tensión en tensión reducida y baja tensión y las altas tensiones en tensión media, alta tensión y tensión extra alta.

1.1.2. Definición de rangos baja y alta tensión

En este documento se señala en el capítulo 3 (tres) la "Clasificación de los niveles de tensión" en concordancia a lo establecido en el artículo número 11 (once) del "Reglamento interno de Instalaciones Eléctricas" dónde se establece que existirán únicamente dos categorías de niveles o instalaciones las cuales son: de altas tensiones y de bajas tensiones.

De acuerdo con la Norma anteriormente descrita estas dos categorías estarán subdivididas de acuerdo con los niveles de tensión en bajas tensiones y en altas tensiones. Definiendo los siguientes conceptos:

1.1.1.2. Bajas Tensiones

Tensión reducida: Se consideran en este grupo las instalaciones con tensiones menores o iguales a 100 V.

Baja tensión: Se consideran en este grupo los sistemas o instalaciones con tensiones superiores a 100 V, con un máximo de 1000 V.

1.1.1.3. Altas Tensiones

Tensión Media: Se consideran en este grupo los sistemas con tensiones superiores a 1 Kv, con un máximo de 60 kV.

Alta tensión: Se consideran en este grupo los sistemas con tensiones superiores a 60 kV con un máximo de 220 kV.

Tensión Extra Alta: Se consideran en este grupo los sistemas con tensiones superiores a 220 kV.

Fuente: http://www.sec.cl/sitioweb/electricidad_normastecnicas/NSEG8_75v3.pdf

1.1.3. Tensiones Normales

Aclarando estos conceptos se señala que los valores de tensión normales quedan establecidos en la Norma anteriormente citada, estos son los únicos valores autorizados de tensión para la realización de proyectos, ejecución y funcionamiento de sistemas e instalaciones eléctricas.

En los sistemas de instalaciones que estén funcionando con tensiones distintas a las exigidas por la Norma anteriormente mencionada, cualquier tipo de renovación o amplificación significativa se hace adoptando los valores señalados en dicha Norma. En los siguientes capítulos haremos referencia a las altas tensiones especificando las tensiones medias que es dónde se va a centrar el estudio.

1.1.3.1. Tensión media.

En la tabla 1-1 se describen los valores nominales de tensión máxima de los equipos y de la tensión nominal del sistema, para sistemas de media tensión.

Tabla 1-1. Valores Nominales de media tensión

TENSIÓN MÁXIMA DE EQUIPOS (kV)	**TENSIÓN NORMAL DE SISTEMAS (kV)**
2.75	2.40
3.60	3.30
5.00	4.16
7.20	6.60
15.00	13.20
25.80	23.00
36.00	33.00
48.30	44.00

Fuente: http://www.sec.cl/sitioweb/electricidad_normastecnicas/NSEG8_75v3.pdf

1.1.4. Suministro de energía

La distribución de energía en Chile se organiza a través de empresas distribuidoras de suministro eléctrico con cobertura geográfica limitada, hasta el 2016 existen cuatro sistemas eléctricos en el territorio nacional. Los cuales son los siguientes:

- Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).
- Sistema Interconectado Central (SIC)
- Sistema de Aysén
- Sistema de Magallanes

En el caso de Cemento Melón Ventanas, el suministro de energía es entregado por la empresa Chilquinta, ésta pertenece el Sistema Interconectado Central (SIC) el cual abastece al 92,2% de la población chilena. En la figura 1-1 se detalla la distribución del sistema de suministro eléctrico, dónde se aprecia que la red de distribución industrial varía desde 3 a 30 kV, definida cómo “Red de distribución en media tensión”.

Fuente: http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile

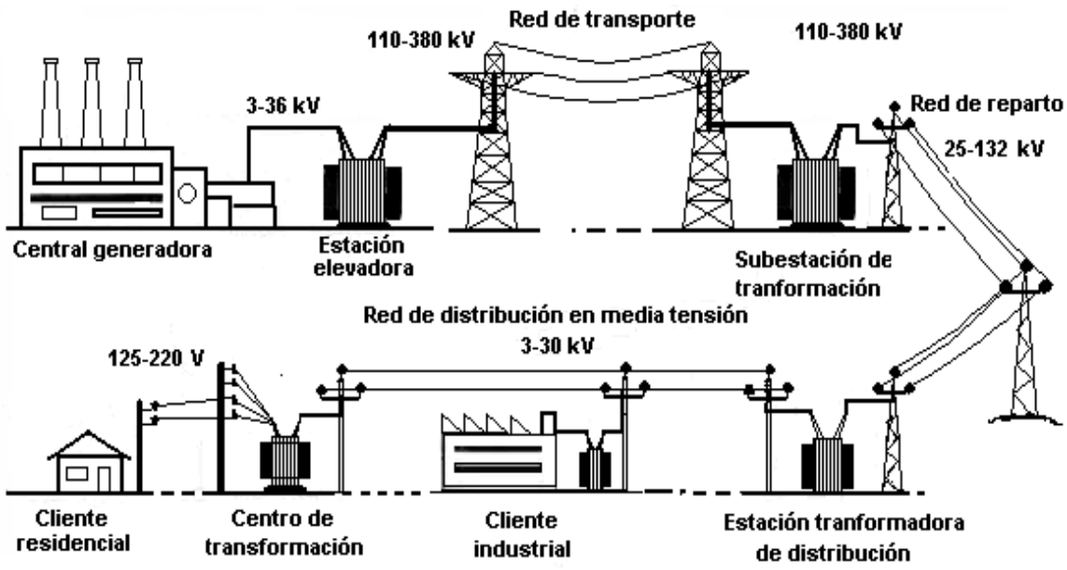


Figura 1-1. Sistema de suministro eléctrico

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

1.1.5. Sistemas de Distribución Eléctrica Industrial

Los sistemas de distribución de energía eléctrica son un conjunto de equipos que permiten en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, los cuales generalmente son ubicados en distintos sitios de las instalaciones industriales.

1.1.5.1. Subestación Eléctrica

Una subestación eléctrica es una instalación dentro de una instalación industrial, destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica que entrega el suministro de energía. Su equipo principal es el transformador y normalmente está dividida en tres secciones que por lo general son la medición, las cuchillas de paso y el interruptor de potencia.

Se puede enumerar dos tipos de subestaciones eléctricas, las “elevadoras” que están situadas en las centrales generadoras de energía cuya función es elevar el nivel de tensión y las “reductoras” que se encargan de reducir los niveles de tensión que oscilan habitualmente entre 10 y 66 kV. Las subestaciones reductoras son las que se encargan de entregar energía a la red de distribución interna para el consumo industrial

1.1.5.2. Transformadores de tipo Subestación

Un transformador es considerado una máquina eléctrica que tiene la capacidad de aumentar reducir o mantener la energía eléctrica, transfiriendo la energía de un circuito a otro y con una frecuencia constante.

Los transformadores tipo subestación tienen su más frecuente aplicación en el servicio industrial, comercial y de servicios. Son construidos de acuerdo con las normas nacionales establecidas y sumergidos en aceite mineral o líquido aislante no inflamable con enfriamiento natural y forzado con elevación de temperatura de 55°C ó 65°CC a 2300 metros sobre el nivel del mar sobre un ambiente promedio de 30°C y un máximo de 40°C y frecuencia 50 Hertz. En la figura 1-2 se muestra el transformador principal de la planta de Melón Ventanas el cual es del tipo Subestación marca Schaffner de 1200/4266 V – 8000 kVA.

Figura 1-2. Transformador Principal Melón Ventanas

Fuente: Imagen propia de planta de Cemento Melón Ventanas

1.1.5.3. Interruptores de potencia

La selección de un interruptor de potencia para una determinada aplicación consiste en definir un conjunto de valores que limitan las condiciones de operación máximas del interruptor. Los parámetros que indicar son algunos de que deben tenerse presente:

•**Tensión nominal**: Es el máximo valor efectivo de tensión al cual el interruptor puede operar en forma permanente. En general esta tensión es mayor al voltaje nominal del sistema.

•**Frecuencia nominal**: Es la frecuencia a la cual el interruptor está diseñado para operar. Este valor tiene incidencia en los tiempos de apertura y cierre de los contactos además del tiempo de apagado del arco.

•**Corriente nominal**: Es el máximo valor efectivo de corriente que puede circular a través del interruptor en forma permanente, a frecuencia nominal, sin exceder los límites máximos de temperatura de operación indicados para los contactos. La temperatura en los contactos depende del material que están hechos (cobre, plata o equivalente), del medio en que están sumergidos, y de la temperatura ambiente.

•**Rigidez dieléctrica (clase de aislación):** Define la máxima tensión que soporta el interruptor sin dañar su aislación. La rigidez dieléctrica debe medirse entre todas las partes aisladas y partes energizadas y también entre los contactos cuando están abiertos. Estas pruebas se realizan entre contactos y tierra (contacto cerrado), a través de los contactos, entre fases (con contactos cerrados).

•**Ciclo de trabajo:** El ciclo de trabajo normal de un interruptor de potencia se define como dos operaciones "cerrar-abrir" con 15 segundos de intervalo. Para este ciclo de trabajo, el interruptor debe ser capaz de cortar la corriente de cortocircuito especificada en sus características de placa.

•**Corriente de cortocircuito momentánea**: Es el valor máximo efectivo que debe soportar el interruptor sin que sufra un deterioro, debe ser capaz de soportar el paso de esta corriente en los primeros ciclos cuando se produce la falla (1 a 3 ciclos). Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos.

•**Corriente de cortocircuito de interrupción:** Es el máximo valor efectivo medido en el instante en que los contactos comienzan a separarse. Esta corriente corresponde a un cortocircuito trifásico o entre líneas con tensión y ciclo de trabajo nominal. Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos de interrupción.

1.1.5.4. Celdas de Media Tensión

Se entiende por celda de media tensión al conjunto de equipos eléctricos (seccionadores, interruptores, etc.) prefabricados bajo envolvente metálica, provista de una o varias unidades funcionales, ya sea de línea, de protección, de medición o una combinación de las anteriores.

Las unidades funcionales de la celda son las que comprende todos los materiales de los circuitos principales y de los circuitos auxiliares que contribuyen a la realización de una sola función. En la figura 1-3 se muestra la celda de media tensión marca Shneider

de 7,2 kV – 1250A – 25 kA, la cual es la distribución de la celda de media tensión hacia los centros de control de motores. Estas celdas están equipadas con sistemas de monitoreo llamados SEPAM. El cual es un relé de protección equipado con interfaz de monitoreo de los cuales se toma la información relevante para este estudio.

Figura 1-3. Celda de Distribución Primaria para Media Tensión Schneider 7,2 KV

Fuente: http://www.schneider-electric.com.ar/es/product-range/984-mcset-1-2-3/?parent-category-id=86871

1.1.6. Redes industriales

Tradicionalmente el cableado de equipos eléctricos se realizaba hilo a hilo. Esto está normado por normativas internacionales como la IEC - 60 204 - 1 y las normas especificadas de instalaciones que son diferentes en cada país. Estas normas definen con precisión secciones, aislantes y marcado de color.

Hasta hace un tiempo atrás, estas soluciones cubrían todas las necesidades, tanto para señales digitales, como para señales analógicas, requiriendo las señales analógicas cables protegidos contra interferencias electromagnéticas.

El intercambio de datos digitales impulsó el uso de conexiones por redes de comunicación que implican el uso de conectores y conexiones prefabricadas. Esto simplifica en gran medida la construcción del equipamiento eléctrico disminuyendo los errores de cableado y permitiendo un mantenimiento más sencillo.

1.1.7. Comunicaciones Industriales

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo de los procesos de producción como sensores, actuadores, detectores, entre otros. Dada la gran variedad en sistemas de comunicación entre equipos industriales, de los cuales la mayoría son cerrados, se ha optado por el desarrollo de un entorno que permita tanto la implementación de protocolos de especificaciones conocidas en un sistema de comunicación completo, desde el medio físico hasta el nivel más alto de red.

1.1.8. TOPOLOGÍAS DE RED

Una red industrial está compuesta de autómatas, interfaces hombre - máquina, PCs y dispositivos de E/S conectados de forma conjunta por enlaces de comunicación como cables eléctricos, fibras ópticas, enlaces por radio y elementos de interface como tarjetas de red y pasarelas.

Las topologías generalmente se dividen de la siguiente manera:

- **Bus:** Es una de las distribuciones más simples, todos los elementos están cableados juntamente con la misma línea de transmisión. Las redes de “máquina” y “sensor” conocidos como buses de campo, utilizan este sistema.
- **Estrella**: Esta es la topología de Ethernet, que es el nivel más común entre los niveles de “gestión” y “taller”. Tiene la ventaja de ser muy flexible en su funcionamiento y reparación. Las estaciones finales están conectadas a través de un dispositivo intermedio llamado repetidor o conmutador.
- **Anillo:** Eta topología utiliza la misma distribución de hardware que la topología en estrella, pero asegura una mayor disponibilidad de red.
- **Malla:** Esta topología no se usa mucho en instalaciones industriales ya que presenta el inconveniente de tener un gran número de enlaces.

1.1.8.4. Pirámide CIM

Dentro de una red industrial, las comunicaciones se agrupan jerárquicamente en función de la información es decir que cada subsistema debe tener comunicación directa con los sistemas del mismo nivel y con los sistemas de niveles inferiores y superiores, con esto aparecen cinco niveles representados por la pirámide de CIM (Rodríguez 2007). En la figura 1-4 se aprecia la pirámide de CIM.

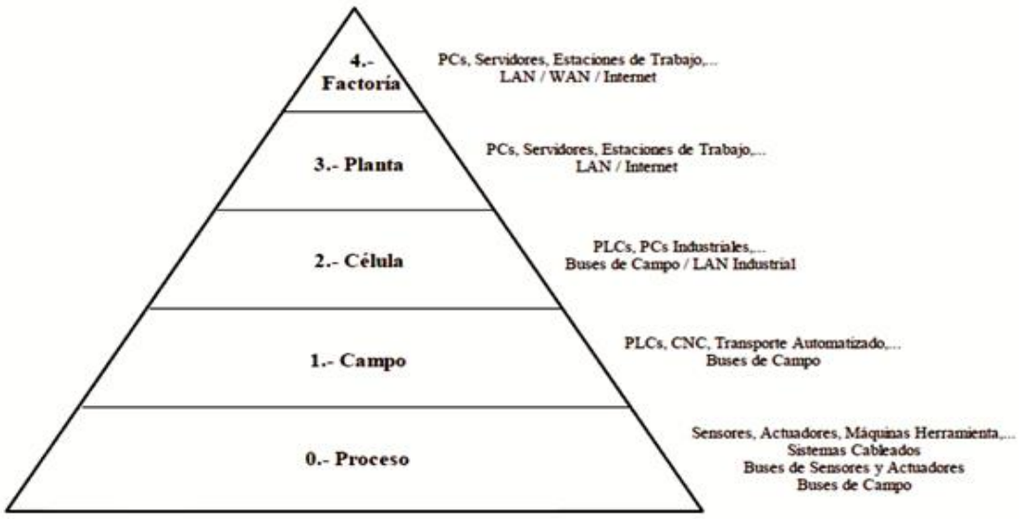


Figura 1-4. Pirámide de CIM

Fuente: http://i2.wp.com/www.ningenia.com/wp-content/uploads/2015/12/piramide-CIM.jpg

- Nivel 0: Nivel de proceso: Está conformado por elementos de medida, como sensores, y elementos de mando, como actuadores, distribuidos en la línea de producción. Son los elementos que están directamente relacionados con el sistema productivo.
- Nivel 1: Nivel de campo: En este nivel se encuentran niveles de mando y control capaces de gestionar los sensores y actuadores que se encuentran en el nivel 0. Se puede encontrar PLC de gama media y baja, tarjetas de control, microcontroladores y transportes automatizados.
- Nivel 2: Nivel de célula: Este es el nivel donde se emiten órdenes de ejecución al nivel 1 y también se recibe información de situaciones de estado de dicho nivel. A su vez recibe información de mantenimiento y producción del nivel 3.
- Nivel 3: Nivel de Planta: En este nivel se encuentran dispositivos de nivel existentes en la planta que son posibles monitorearlos con un sistema capaz de comunicar los elementos, como un entorno SCADA (Supervisión Control y Adquisición de Datos).
- Nivel 4: Nivel de Fábrica: En este nivel se gestiona la producción completa de la empresa. Se encarga de comunicar distintas plantas, mantener relaciones con los proveedores y clientes, se emplean PC, estaciones de trabajo y servidores.

1.1.8.5. Buses de campo

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información por un solo cable de comunicación que simplifica en gran cantidad la instalación y operación de maquinaria y equipamiento industriales en los distintos procesos de producción.

Debido a la falta de estándares establecidos, las compañías han desarrollado varias soluciones, con diferentes presentaciones y distintos campos de aplicación. Aun así, existen estándares que si se encuentran establecidos ya que los buses de campo son una tecnología para la aplicación de entornos industriales y son de reciente desarrollo.

1.1.8.6. Profibus (Process FieldBus)

En la actualidad existen tres versiones de Profibus, cada una de estas versiones está especializada para un campo de comunicación específico.

- Profibus DP: Optimizado para aplicaciones de velocidad y bajo costo, orientado a sensores y actuadores enlazados a procesadores (PLC) o terminales.
- Profibus PA: Está diseñado para el control de proceso y cumple normas especiales de seguridad en ambientes peligrosos y con riesgo de explosión como la industria química.
- Profibus FMS: Es la solución para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización, la evolución de Profibus hacia la utilización de protocolos TCP/IP.

1.1.8.7. Modbus

En un principio Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizadas para la comunicación con los PLC Modicom de la línea Schneider, ha resultado en la actualidad ser un estándar para el enlace entre dispositivos industriales.

1.1.9. SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Adquisición de Datos y Control de Super-visión) es un sistema industrial diseñado para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales el cual consiste en un computador principal o maestro (Master Terminal Unit o MTU) obteniendo datos de campo llamadas estaciones remotas (Remote Terminal Units RTU) y un software estándar utilizado para el monitoreo y

control remoto de dispositivos de campo. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes de área local.

Los sistemas SCADA han podido eliminar la necesidad de estar vigilando y ajustando físicamente los componentes de un proceso de producción, ya que una red sensorial trans-mite información del estado de componentes a una sala de control donde se toman decisiones sobre la modificación de algún proceso.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la planta de Cemento Melón Ventanas, el suministro de energía lo entrega Chilquinta al empalme eléctrico ubicado al interior de la planta, alimentando con 13 kV el cual cuenta con un medidor el que recopila información del consumo eléctrico total de la planta, siendo la referencia actual que se tiene al contrastar con la factura mensual que entrega Chilquinta por el consumo eléctrico suministrado. Desde el empalme de conexión la alimentación se dirige a la subestación principal, donde se encuentra el transformador principal transformando la energía a 4,16 kV y posteriormente a cuatro celdas de media tensión y dos variadores de frecuencia. Siendo en total siete puntos de distribución energética de media tensión los que se encuentran aislados del sistema de monitoreo interno de consumo energético y los cuales son considerados este proyecto para incorporarlos al sistema SCADA que tiene la planta.

1.2.1. Definición del Problema

Con este proyecto se busca aumentar la eficiencia energética de la planta de molienda de Cemento Melón Ventanas, incorporando mediciones en puntos estratégicos de distribución eléctrica de la planta, centrándose en los puntos de distribución de media tensión, con el fin de incorporar estas mediciones al sistema SCADA actual con el que cuenta la planta.

Como se mencionó, el suministro de energía a la Planta de cemento Melón en Ventanas es entregado por la empresa Chilquinta, alimentando un poste eléctrico al interior de la planta con tres fases de 185 mm² de diámetro cada una, las cuales entregan 13,20 kV. Este es el primer punto de alimentación de la planta, el cual cuenta con un medidor eléctrico marca Schnaider modelo ION8600 clase 0.2 el cual es la referencia de facturación para Chilquinta. Este medidor entrega valores de voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia y consumo eléctrico en kWh. Posterior a esto, la alimentación eléctrica se dirige a la sub estación principal de la planta llegando al transformador principal (tipo

subestación sumergido en líquido aislante, al igual que los demás transformadores de la planta) donde en su conexionado primario recibe 12 kV los cuales son transformados a 4,16 kV. El trans-formador cuenta con su celda y el interruptor de potencia, el cual tiene cableado red Profibus.

Una vez transformada la energía a 4,16 kV esta se dirige a la sala eléctrica principal llegando a la celda de media tensión del transformador principal. Siguiendo el esquema el conectado a las barras de alimentación eléctrica. Desde este punto es dónde se divide la energía eléctrica a cada celda de media tensión de la planta en seis puntos más de distribución. Cada celda de media tensión cuenta con interruptores de apertura y cierre los cuales están conectados a la misma red profibus del interruptor en el transformador principal de la subestación.

Ya que cada uno de estos puntos se encuentra conectado a la red de comunicación profibus, es necesario incorporar las mediciones obtenidas de cada uno de los interruptores mencionados, así como la del medidor principal al sistema Scada que cuenta la planta y así tener un monitoreo en línea de estos puntos de distribución, con el fin de aportar con datos relevantes que permitan tener un mayor control en la eficiencia del consumo eléctrico de la planta, pudiendo aportar soluciones en medidas de ahorro en el costo general del consumo eléctrico.

1.2.2. Importancia de resolver el problema.

El poder implementar un sistema capaz de monitorear de forma continua cada uno de los parámetros asociados al consumo eléctrico en el sistema Scada de la planta, permite saber cuál área es la que puede optimizar su consumo, teniendo esta información en línea, los operadores en sala de control pueden visualizar el consumo eléctrico de la planta de forma individual, en cada uno de los puntos de media distribución de media tensión, separada por secciones de alimentación ya definidas, como también al equipo de mantención y jefaturas para la toma de decisiones, en futuras inversiones en optimización de recursos energéticos.

1.3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Actualmente la planta de Cemento Melón Ventanas tiene incorporada una red de comunicación profibus en cada punto de distribución de media tensión, siendo este tipo de comunicación a utilizar, las alternativas de solución para incorporar el consumo eléctrico se reducen a un margen acotado de posibles soluciones a implementar.

A.- No implementar el sistema de medición.

B.- Implementar sistema de medición por red Profibus.

C.- Implementar sistema de medición por red Modbus.

1.3.1. Descripción de las Alternativas

- A: No implementar sistema de medición: Aunque esta no sea la propuesta de menor preferencia, el no implementar mediciones en los puntos de distribución eléctrica no aporta para toma de decisiones cuando sea necesario realizar modificaciones en equipamientos y mejoramientos, es posible también que se llegue a la conclusión que las otras propuestas presentadas generen mayores inconvenientes a largo plazo tanto técnica como económicamente. Si bien es cierto actualmente no se cuenta con este sistema de medición integrada, la planta tiene un funcionamiento normal, las operaciones en Sala de Control cuentan con el respaldo de tener mediciones para motores de baja tensión y así los operadores pueden tomar decisiones importantes en los distintos procesos de producción sin tener que observar otra pantalla donde se muestran valores de medidas en puntos de distribución de media tensión.

- B: Implementar sistema de medición por red Profibus: Esta alternativa es la de mayor preferencia dentro de la toma de mediciones en los puntos de distribución de media tensión ya que desde su origen, la planta de Cemento Melón ventanas, implementó una red cableada profibus en todos los puntos de distribución. Aprovechando esta ventaja de ya contar con una red cableada facilita la implementación de dispositivos capaces de recopilar información en los puntos de distribución en los distintos puntos donde llega la red y así poder transportar los datos de manera segura hacia el PLC, que una vez leídos son introducidos al sistema SCADA que cuenta la planta y así aportar en Sala de Control con información relevante del consumo energético dividido por secciones, pudiendo visualizar cada área de la planta de forma individual, tomando valores de corriente por cada fase, factor de potencia, potencia media y aparente en los puntos de distribución de media tensión.

- C: Implementar sistema de medición por red Modbus. El tipo de red modbus es un tipo de comunicación para PLC Midcom de la compañía Schneider, esta alternativa nace ya que los PLC que tiene la planta son de esta marca y tanto las celdas de media tensión, que es dónde se desea incluir las mediciones, así como

el interruptor que se encuentra en el transformador principal son de la misma marca. Es por esto que una alternativa de solución es integrar todos los puntos de medición con la propuesta que presenta Schneider para la toma de datos, esto no significa un costo adicional ya que existen en el mercado conversores que permiten la transformación de una red Modbus a una profibus, por lo que todo el sistema de medición quedaría estandarizado con una sola red, la mayor complicación es el cableado ya que la red Modbus funciona a través de ethernet incluyendo múltiples maestros, a diferencia de la red Profibus.

1.3.2. Comparación de las alternativas

A continuación, se realizan algunas comparaciones de las alternativas mencionadas además de las valoraciones de las distintas soluciones, evaluando los distintos criterios. En la Tabla 1-2 se puede ver la vida útil de los equipos.

- **Vida Útil de los equipos**: La alternativa seleccionada tiene como finalidad alcanzar una larga vida útil. Es por esto se ha considerado un factor relevante para la toma de decisiones de la alternativa más adecuada.

Tabla 1-2. Vida Útil de los Equipos

Alternativa	**Vida Útil de los equipos (años)**
Sin realizar mediciones	5
Transmisiones por red Profibus	10
Transmisiones por red Modbus	10

Fuente: Elaboración propia para el proyecto ventanas

- Valoración de las alternativas: Se considera en este punto la compra de equipos, cableado a los distintos puntos de medición, instalación e integración al programa de visualización SCADA de la planta. En la tabla 1-3 se aprecia sus valores en USD

Tabla 1-3. Valoración de las alternativas

Alternativa	**Valor en USD**
sin realizar mediciones	0-200
transmisión por red profibus	9000-10000
transmisión por red Modbus	10000 – 15000

Fuente: Elaboración propia para el proyecto ventanas

1.3.3. Definición de la alternativa seleccionada

En base a los criterios ya antes vistos, se ha optado por la opción “Transmisión por red Profibus” ya que cuenta con un alto nivel de vida útil, tiene un costo menor de instalación ya que los equipos cuentan con una red cableada Profibus, son equipos robustos y confiables y no es necesario la implementación de otro sistema para la toma de datos.

CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

2.1. CELDA DE MEDIA TENSIÓN MCSET

La celda de media tensión MCset. Es utilizada en la planta de Melón Ventanas y es dónde se toma la información para integrarla en el sistema SCADA de la planta. En este capítulo se describirá cada uno de los componentes que están involucrados en la recopilación de la información y transmisión de datos desde este punto de distribución hacia la sala de control.

La celda de MCset que se utiliza en Melón Ventanas tiene una capacidad de 7,2 kV y se ubica dentro de la sala eléctrica principal de la planta. Estas celdas pueden adaptarse por varias unidades funcionales interconectadas, esto quiere decir que cada una de las celdas se puede conectar a una única barra de tensión y es de esta forma como se encuentran ubicadas en la sala eléctrica principal de la planta. Una celda de media tensión MCset es una unidad funcional que comprende todo el equipo separando los circuitos, tanto el principal cómo el auxiliar y juntos estos circuitos proporcionan una función de protección. Cada una de las celdas o unidades funcionales combina todos los componentes necesarios para cumplir esta función. Estos componentes son principalmente: el cubículo, el sistema de control, vigilancia y control y por último la parte extraíble.

2.1.1. El cubículo

El cubículo es del tipo LSC2B (Categoría de Continuidad de la Pérdida de Servicio), es decir las piezas de media tensión son compartimentados con particiones metálicas (clase PM) conectadas a tierra y que separan las barras colectoras de la parte extraíble (interruptor automático, contactor de fusible, seccionador o de puesta a tierra) y a su vez están separadas las conexiones de media tensión, seccionador de tierra, sensores de corriente y transformadores de tensión. Estas celdas garantizan un alto nivel de protección de las personas ya que cuando un compartimento que contiene un circuito principal está abierto, los otros compartimentos y / o celdas pueden permanecen energizados. Los circuitos auxiliares de bajo voltaje y la unidad de monitoreo se encuentran en un armario de control separado desde la sección de media tensión.

2.1.2. El sistema de protección, monitoreo y control

Este sistema incluye los siguientes componentes. El Relé de Protección Digital llamado Sepam, siendo este componente la principal protección para las personas y los equipos realizando mediciones precisas y diagnóstico detallado del cual se puede obtener un control integral del equipo que permite indicación y funcionamiento de forma local o remota.

También se encuentra la unidad de protección, monitorización y control, sensores de corriente, que pueden ser de 3 tipos: transformadores de corriente convencionales, transformadores de corriente de tipo toroidal de baja tensión y transformadores de corriente de rango amplio.

2.1.3. La parte extraíble

En primer lugar, se tiene el interruptor automático, el contactor de puesta a tierra con su mecanismo de cierre y con su seccionador. Seguido de esto está el mecanismo de propulsión de tipo palanca para la entrada y salida del bastidor; y por último los enclavamientos para fijar la parte extraíble sobre la pieza fija ya sea en posición de servicio o desconectado.

2.1.4. Condiciones de operación

Condiciones normales de funcionamiento, según IEC 60694 para zonas industriales de interior. La temperatura del aire ambiente debe ser inferior o igual a 40 °C, considerando una temperatura inferior o igual a 35 ° C en promedio durante 24 horas de trabajo continuo y la mínima mayor o igual que -5 ° C.

El ambiente debe estar hermético, nada de polvo, humo, gas corrosivo o inflamable y vapor, o exposición a sal (Aire industrial limpio).

En cuanto a la humedad esta debe ser relativamente media durante un período de 24 horas y 95% como máximo. Por un periodo más largo la humedad relativa media no debe superar el 90%.

2.1.5. Protección hacia personas

Las celdas de media tensión MCset de Schneider han sido diseñadas para resistir y proteger a los operarios en caso de fallo debido a un arco interno. Se han sometido a pruebas de varios tipos, con absoluto éxito. Ofrecen varias opciones para instalar una cabina contra arcos internos:

- Protección contra arcos internos por 3 lados: En una cabina de media tensión instalada en contacto con una pared, el acceso a la parte posterior de la cabina resulta imposible. Es suficiente una protección contra arcos internos por 3 lados y es así como se encuentran distribuidas en la sala eléctrica de sub estación principal en la planta de Melón Ventanas.
- Detector de formación de arcos internos, incluye 2 sistemas de detección de arcos internos capaces de desconectar la alimentación para limitar la duración del fallo:
- Detector electromecánico: Este sistema utiliza un circuito de disparo electromecánico de seguridad positiva, ubicado en las válvulas de la cabina. Este circuito transmite la información al sistema Sepam para dar la orden de apertura al interruptor automático ubicado aguas arriba del fallo.
- Detector óptico (sistema VAMP). Los arcos internos son detectados a través de sensores ópticos que miden la luz generada por el inicio del arco. A partir de esta medición un módulo electrónico procesará la información y a continuación enviará la orden de apertura al interruptor automático ubicado aguas arriba del fallo.

Una vez descritas de forma general cada una de las partes que componen una celda de media tensión MCset Schineder de 7,2 Kv se describe el cajón de baja tensión que es dónde se realiza las conexiones para la toma de medidas desde el SEPAM, que es una zona aislada dentro de la celda de media tensión. En la figura 2-1 se puede identificar una celda de media tensión.

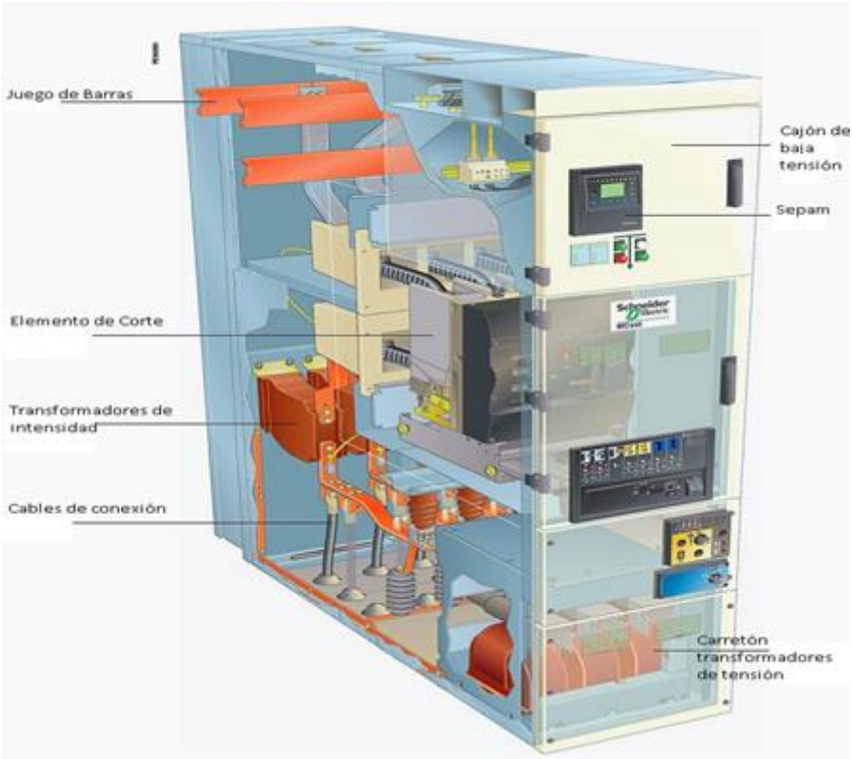


Figura 2-1. Celda de media tensión MCset

Fuente: http://electrical-engineering-portal.com/protective-relay-the-brain-that-detects-abnormal-system-conditions

2.1.6. Distribución de Celdas de Media Tensión en Sala Eléctrica Principal

Este proyecto contempla tomar la información desde los SEPAM hacia la sala de control, para esto se debe conocer cuál es la distribución que ocupan las celdas de media tensión en la sala eléctrica de la sub estación principal de Melón Ventanas en la subestación principal existen 7 celdas MCset de 7,2 Kv las cuales están distribuidas básicamente por dos secciones. En la figura 2-2 se describe la ubicación y las medidas de cada una de las celdas de media tensión ubicadas en la planta.

La sección A: Esta es la Entrada Principal y su distribución viene dada desde el transformador principal de 8MVA - 12/4,16 kV que es la tensión de servicio.

La sección B: Esta sección es la Sección de Alimentación, desde donde se distribuye la energía hacia transformadores los cuales alimentan los Centros De Control de Motores entregando así energía a toda la producción y alimentación eléctrica de la planta.

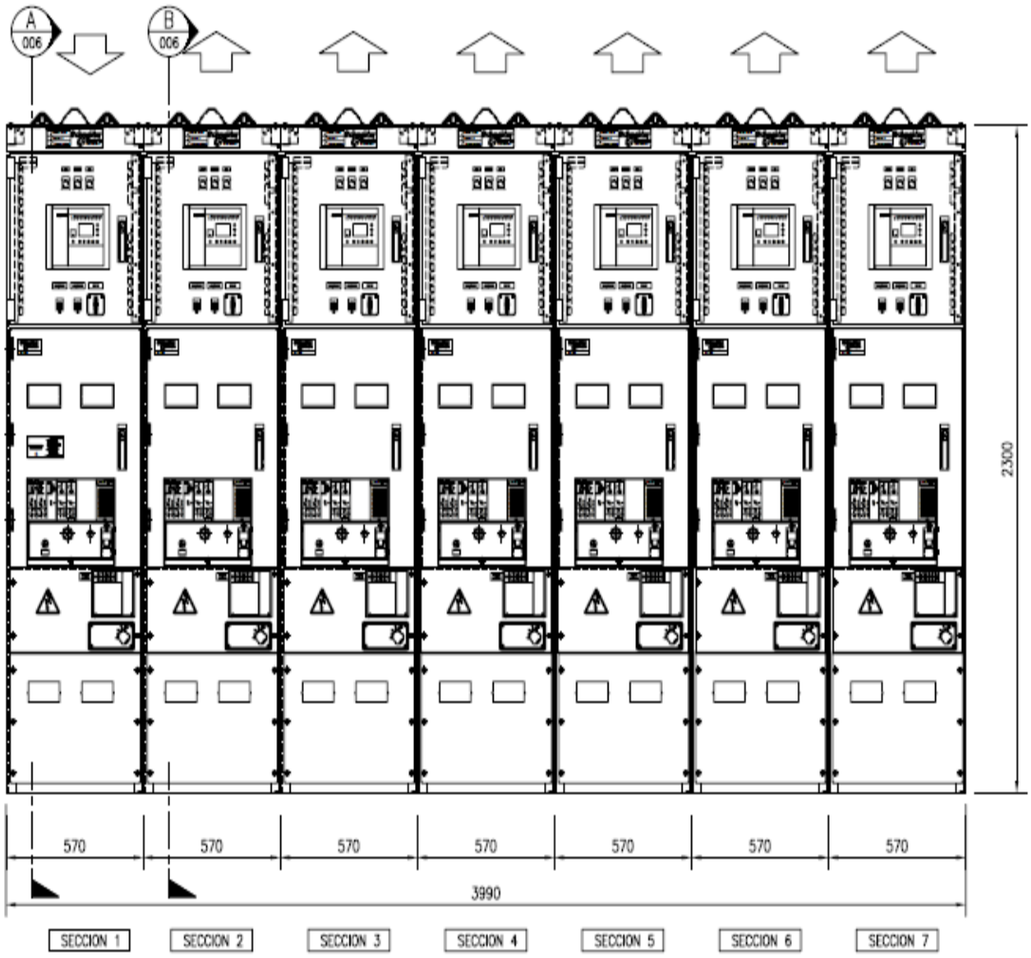


Figura 2-2. Distribución de Celdas de MT en Sala Eléctrica Principal Melón Ventanas

Fuente: Manual de instrucción y mantenimiento Schneider Planta Ventanas

2.2. UNIDAD DE CONTROL Y MONITOREO

El centro de monitoreo y control en la celda de media tensión MCset que se encuentra en la planta, cuenta con un cajón aislado dónde está la conexión de baja tensión. En este capítulo se el equipo SEPAM los cuales son relés de protección. La gama de relés de protección Sepam está diseñada para la explotación de máquinas y redes de distribución eléctrica de las instalaciones industriales y de las subestaciones de los distribuidores de energía para todos los niveles de tensión.

2.2.1. Arquitectura de Sepam.

La arquitectura del relé de protección Sepam está hecha para adaptarse al número creciente de situaciones y permitir una posterior evolución de la instalación, la unidad Sepam se puede completar en cualquier momento con nuevas funciones a través de módulos opcionales ya que es modular. En la figura 2-3 se indica la arquitectura de la cual está compuesto el Sepam:

1.Unidad básica con distintos tipos de Interface Hombre/Máquina (IHM):
2. Parámetros y ajustes guardados en cartucho de memoria extraíble.
3. 42 entradas lógicas y 23 salidas de relé con 3 módulos opcionales de 14 entradas y 6 salidas.
4. 2 puertos de comunicación Modbus independientes
5. Tratamiento de 16 sondas de temperatura, Pt100, Ni100 o Ni120.
6. 1 salida analógica de bajo nivel, 0-10 mA, 4-20 mA o 0-20 mA.
7. Módulo de control de sincronismo.
8. Herramientas de software

Figura 2-3. Arquitectura del Sepam

Fuente. Manual Sepam 80 Schneider

2.2.2. Medidas y Diagnóstico Sepam

Sepam es una central de medida de gran precisión. Toda la información de medida y diagnóstico necesaria para la puesta en servicio o para la explotación y el

mantenimiento de las celdas de media tensión está disponible localmente o de forma remota y se expresa en la unidad en cuestión (A, V, W, etc.).

• Intensidad de fase: Corriente RMS para cada fase; considera los armónicos hasta el rango 13. Se pueden utilizar diferentes tipos de sensores para medir la corriente de fase:

- Transformadores de corriente 1 A o 5 A.
- Sensores de corriente de tipo LPCT.

•Corriente residual: En función del tipo de Sepam y de los sensores conectados, están disponibles 4 valores de corriente residual calculadas a partir de la suma vectorial de las 3 corrientes de fase. Se pueden utilizar diferentes tipos de sensores para medir la corriente residual:

- Toroidal homopolar específico CSH120 o CSH200.
- Transformador de corriente clásico 1 A o 5 A con adaptador toroidal CSH30.
- Cualquier toroidal con adaptador ACE990.

•Corriente media y maxímetros de corriente: Las corrientes medias y los maxímetros de corriente se calculan a partir de las 3 corrientes de fase I1, I2 e I3: La corriente media se calcula en un período de 5 a 60 minutos parametrizable. El maxímetro de corriente es el valor más grande de la corriente media y permite conocer la intensidad absorbida en las puntas de carga. Los maxímetros se pueden volver a poner a cero.

•Tensión y frecuencia: En función de los sensores de tensión conectados, las siguientes medidas están disponibles:

- Tensiones simples V1, V2, V3 y V’1, V’2, V’3.
- Compuestas U21, U32, U13 y U’21, U’32, U’13.
- Tensión residual V0, V’0 o tensión de punto neutro.
- Tensión directa Vd, V’d e inversa Vi, V’i.
- Frecuencia medida en las vías de tensión principales y adicionales.

•Potencia: Las potencias se calculan a partir de las corrientes de fase I1, I2 e I3:

- Potencia activa.
- Potencia reactiva.

- Potencia aparente.
- Factor de potencia cos φ.

En función de los sensores conectados, el cálculo de las potencias se basa en el método de los 2 o 3 Wattmetros. El método de los 2 Wattmetros es muy preciso a falta de corriente residual y no es aplicable si el neutro está distribuido. El método de los 3 Wattmetros permite calcular exactamente las potencias trifásicas y fase por fase en todos los casos, esté el neutro distribuido o no.

•Maxímetros de potencia: El valor más elevado de la potencia activa y reactiva media, calculada en el mismo período que la corriente media. Los maxímetros se pueden volver a poner a cero.

•Energía: Existen 4 contadores de energía calculada a partir de las tensiones y de las corrientes de fase I1, I2 e I3 medidas: energía activa y reactiva, en cada sentido de circulación. Entre 1 y 4 contadores de energía adicionales para adquirir los impulsos de energía activa o reactiva que generan los contadores externos.

•Temperatura: Medida exacta de la temperatura en un equipo con termosondas de resistencia de tipo Pt100, Ni100 o Ni120 para conectar al módulo remoto opcional MET148-2.

•Velocidad de rotación: Calculada por contaje de impulsos generados por un detec-tor de proximidad al paso de una leva arrastrada por la rotación del eje del motor o del generador. Adquisición de los impulsos en una entrada lógica.

•Diagrama vectorial: Diagrama vectorial mostrado en SFT2841 y en el IHM sinóptico para la comprobación del cableado y la ayuda a la puesta en marcha de las funciones de protección direccional y diferencial. En función de los captadores conectados, el conjunto de la información de corriente y tensión se puede seleccionar para verse en forma vectorial.

2.2.3. Automatismos internos de Sepam

El relé de protección digital Sepam realiza todas las funciones de control y supervisión necesarias para la explotación de la red eléctrica que se definen en dos grupos:

•Las funciones principales de control y supervisión se definen y corresponden a los casos de aplicación más frecuentes. Listas para el empleo, se instalan mediante simple parametrización tras la asignación de las entradas/salidas lógicas necesarias.

• Las funciones predefinidas de control y supervisión se pueden adaptar a necesidades concretas a través del software SFT2841, que ofrece las siguientes funciones:

● Edición de ecuaciones lógicas para adaptar y completar las funciones de automatismo predefinidas.
● Creación de mensajes personalizados para señalización local.
● Personalización de la matriz de control para adaptar la asignación de las salidas de relé, los indicadores y los mensajes de señalización.
● Con la opción Logipam, Sepam puede desarrollar las funciones de automatismo más variadas, programadas con ayuda del software SFT2885, software de programación en lenguaje de contactos.

2.2.4. Principios de funcionamiento de Automatismos internos de Sepam

El principio de funcionamiento de los relés de protección Sepam consiste en el tratamiento de cada función de automatismo que se puede descomponer en 3 fases:

Fase 1:

• Adquisición de la información de las entradas:

● Resultados del tratamiento de las funciones de protección.
● Información externa todo o nada, conectada a las entradas lógicas de un módulo opcional de entradas y salidas MES120.
● Órdenes de control local transmitidas por la interface sinóptico Hombre-Máquina.
● Telemando (TC) procedente de la comunicación Modbus.

Fase 2:

• Tratamiento lógico de la función de automatismo propiamente dicha.

Fase 3:

• Explotación de los resultados del tratamiento:
● Activación de las salidas de relé para controlar un accionador.

● Información para el usuario:

- ○ Por mensaje o piloto de señalización en la pantalla del Sepam y el software SFT2841.
- ○ Por teleseñalización (TS) para la información remota a través de la comunicación Modbus.
- ○ Por señalización en tiempo real del estado del apareamiento en el sinóptico animado.

2.2.5. Características de entradas y salidas digitales de Sepam

El número de entradas y salidas de Sepam se debe adaptar a las funciones de automatismo utilizadas. La extensión de las 5 salidas presentes en la unidad básica de los Sepam serie 80 se realiza añadiendo 1, 2 o 3 módulos MES120 de 14 entradas lógicas y 6 salidas de relé. Después de la configuración del número de módulos MES120 necesarios para las necesidades de una aplicación, las entradas lógicas utilizadas deben asignarse a una función. Esta asignación se realiza en la lista de las funciones disponibles, que abarca todas las utilizaciones posibles. De este modo, las funciones utilizadas se pueden adaptar según las necesidades del usuario, dentro de los límites de las entradas lógicas disponibles. Las entradas se pueden invertir para obtener un funcionamiento por falta de tensión. En la Figura 2-4 se puede apreciar varios módulos que se pueden adaptar en el controlador Sepam donde ofrece una asignación por defecto de las entradas y salidas correspondiente a los casos de utilización más frecuentes.

Figura 2-4. Módulos de entrada y salidas digitales de Sepam

Fuente: Manual de Sepam Serie Schender Planta Melón Ventanas

2.2.6. Características del hardware de la Unidad Básica Sepam

En la planta se cuenta con Sepam Serie 80 con HMI avanzado, del cual se toma la información necesaria para la transmisión de los parámetros y para eso es necesario estudiar cómo está compuesto y cuáles son las partes que lo componen antes de estudiar las conexiones y la comunicación. La parte frontal se describe en la “Figura 2-5” y la parte posterior se detalla en la “Figura 2–6” consecutivamente.

- La Parte Frontal

1. Indicador verde Sepam en tensión.
2. Indicador rojo Sepam no disponible.
3. 9 indicadores amarillos de señalización.
4. Etiqueta de asignación de los pilotos de señalización.
5. Pantalla LCD gráfica.
6. Visualización de las medidas.
7. Visualización de información de diagnóstico del equipo y la red.
8. Visualización de los mensajes de alarma.
9. Rearme de Sepam (o validación de introducción).
10. Acuse de recibo y borrado de las alarmas.
11. Test de los indicadores.
12. Visualización y ajuste de las protecciones activadas.
13. Visualización de la información de Sepam y Logipam.
14. Introducción de las 2 contraseñas.
15. Puerto RS 232 de conexión PC.
16. Pila de seguridad.
17. Cartucho de memoria.
18. Puerta.

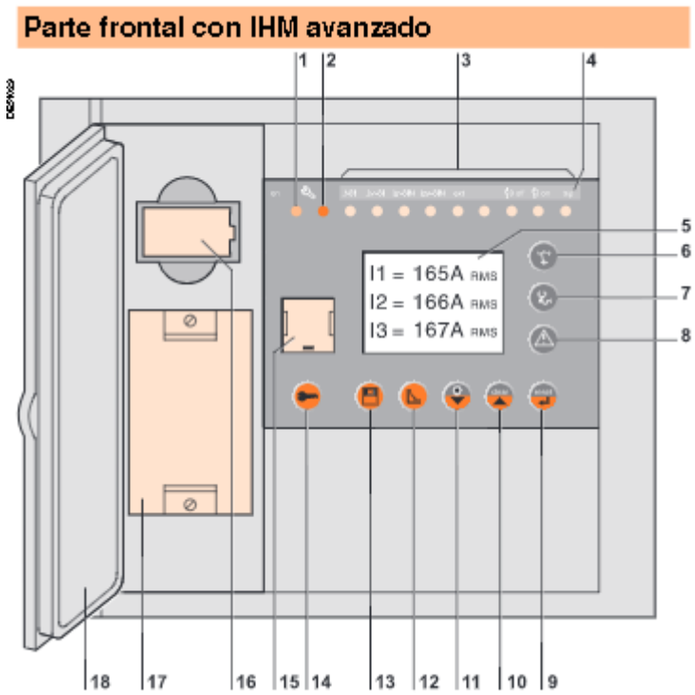


Figura 2-5. Parte Frontal Sepam

Fuente: Manual de Sepam Serie 80 Schender Planta Melón Ventanas

- Parte posterior.

1. Unidad básica.
2. 8 puntos de anclaje para 4 grapas de fijación con resorte.
3. Indicador rojo Sepam no disponible.
4. Indicador verde Sepam en tensión.
5. Junta de estanqueidad.
6. A Conector de 20 puntos de conexión de: La alimentación auxiliar 24 V CC a 250 V CC. 5 salidas de relé.
7. B1 Conector de conexión de las 3 entradas de corriente de fase I1, I2, I3.
8. B2 Sepam T87, M87, M88, G87, G88: conector de conexión de las 3 entradas de corriente de fase I’1, I’2, I’3.
9. Sepam B83: conector de conexión de 3 entradas de tensiones de fase V'1, V'2, V'3. 1 entrada de tensión residual V’0.
10. Sepam C86: conector de conexión de las entradas de corriente de desequilibrio del condensador.
11. C1 Puerto de comunicación Modbus n˚1.
12. C2 Puerto de comunicación Modbus n˚2.
13. D1 Puerto de enlace n˚1 con los módulos remotos.
14. D2 Puerto de enlace n˚2 con los módulos remotos.

15. E Conector de 20 puntos de conexión de: 3entradas de tensión de fase V1, V2, V3. Entrada de tensión residual V0, 2 entradas de corriente residual I0, I'0.

16. F Puerto de reserva.

17. H1 Conector de conexión del 1er módulo de entradas y salidas MES120.

18. H2 Conector de conexión del 2 o módulo de entradas y salidas MES120.

19. H3 Conector de conexión del 3er módulo de entradas y salidas MES120.

20. Tierra funcional.

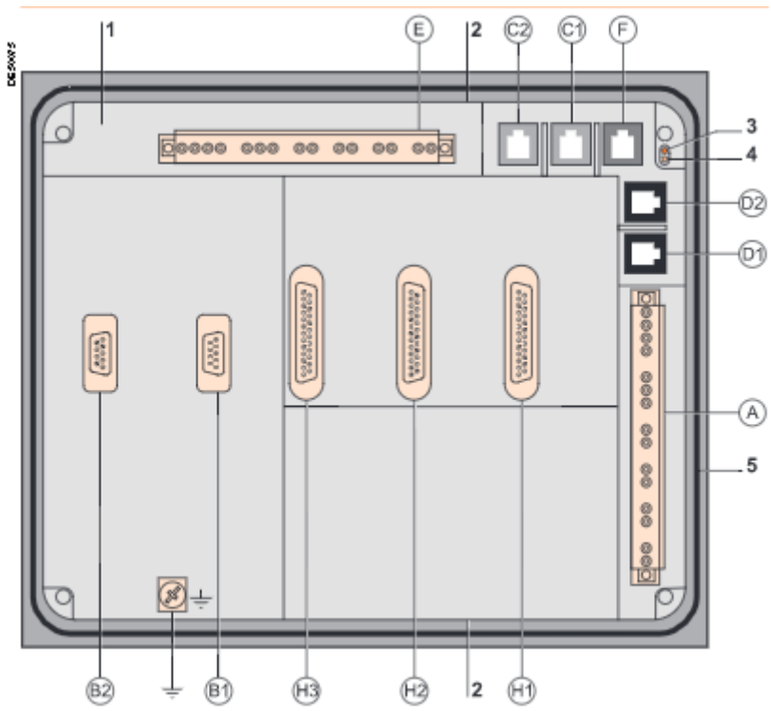


Figura 2–6. Parte Posterior Sepam 80

Fuente: Manual de Sepam Serie 80 Schender Planta Melón Ventanas

2.3. COMUNICACIÓN DE SEPAM POR PROTOCOLO MODBUS

El Sepam integra de forma nativa el protocolo Modbus se vio en la sección anterior en los puertos de comunicación C1 y C2. El protocolo Modbus es un protocolo maestro/esclavo abierto e internacional que se impone como un estándar de hecho en las instalaciones eléctricas. La implementación conservada para el Sepam es un subconjunto compatible con el protocolo (Modbus RTU). Los relés digitales de protección Sepam son en tal caso una estación esclava. A través del puerto de comunicación Modbus del Sepam, todos los maestros Modbus (supervisor, autómata) pueden acceder en tiempo real a la

información adquirida o calculada por el Sepam, emitir mandos, leer o efectuar determinados ajustes o incluso disponer de información de ayuda al diagnóstico de Sepam, del componente eléctrico protegido (motor, transformador) o red eléctrica.

2.3.1. Pasarela LUFP7

La pasarela LUFP7 permite que un maestro ubicado en una red Profibus-DP pueda comunicarse con esclavos en una red Modbus RTU. Se trata de un convertidor de protocolo genérico que opera de forma transparente para el usuario. Esta pasarela permite que el usuario pueda hacer interactuar una gran variedad de productos comercializados por Schneider Electric con una red Profibus-DP.

El término "RTU" hace referencia al protocolo de comunicación Modbus RTU y puede omitirse. Como resultado, el término "Modbus" indica el protocolo de comunicación Modbus RTU. Tal como ocurre con todos los sistemas de comunicación, los términos "entrada" y "salida" son un tanto ambiguos. Para evitar cualquier confusión, se ha utilizado una única convención a lo largo de todo el documento. Por ello, las nociones de "salida" y "entrada" se establecen como las correspondientes al PLC o al maestro Profibus-DP. Por lo tanto, una "salida" es una señal de comando enviada a un esclavo Modbus, mientras que una "entrada" es una señal de vigilancia generada por dicho esclavo. La información que aparece en este documento se refiere a las señales XPS-MC, por lo que únicamente se indican las "entradas" del esclavo Modbus.

La “Figura 2–7” muestra los flujos de "entradas" y "salidas" intercambiadas entre un maestro Profibus-DP y esclavos Modbus RTU a través de la pasarela LUFP7

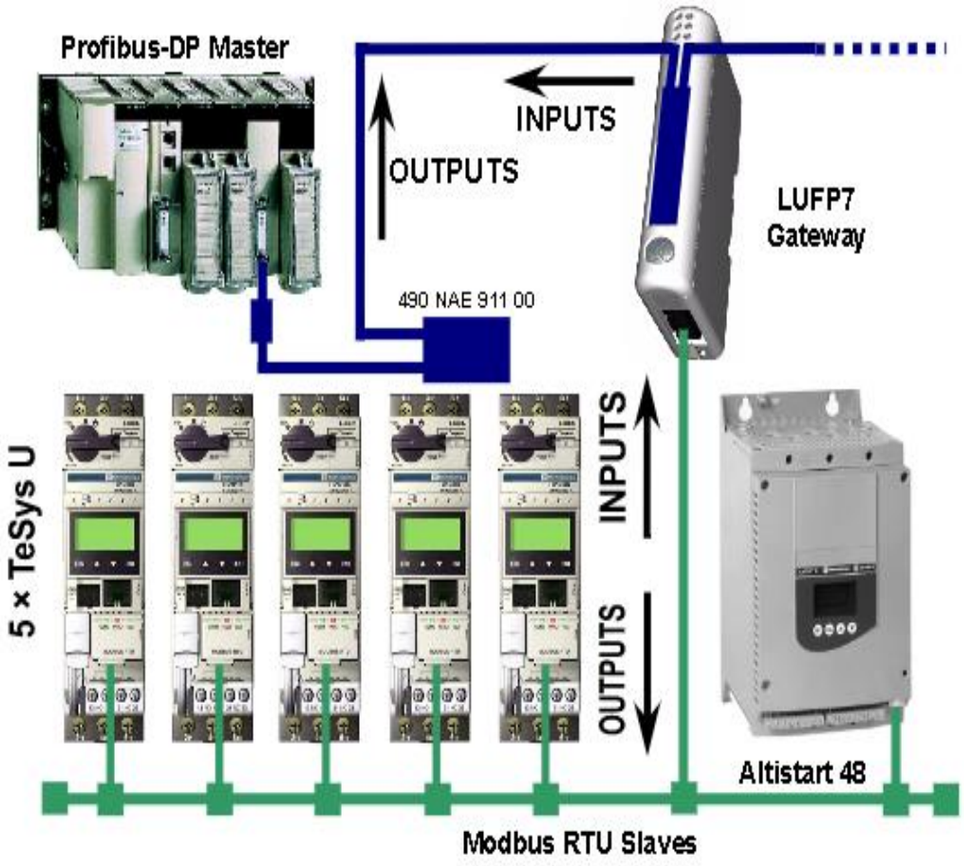


Figura 2–7. Muestra de flujos a través de pasarela LUFP7

Fuente: Manual Pasarela LUFP7

Cada pasarela LUFP7 Profibus-DP / Modbus RTU permite a uno de los PLCs en la red Profibus-DP, enviar, controlar y configurar hasta 8 esclavos Modbus. Otros maestros Profibus-DP de la misma red pueden ser controlados. Si hay más de 8 esclavos Modbus, se necesita utilizar un número adecuado de pasarelas LUFP7. De la misma manera, si los intercambios con los esclavos Modbus requieren más de 25 órdenes Modbus (es decir, más de 50 consultas y respuestas), se debe distribuir los esclavos Modbus a través de varias puertas, la manera de conexión con los relés Sepam es de 8 esclavos Modbus.

2.3.2. Implementación de hardware de la puerta de enlace LUFP7

En la siguiente sección se da a conocer la arquitectura de la puerta de enlace LUFP7 para comprender mejor su estructura y seguir el adecuado protocolo de comunicación con el Sepam, los cuales son los esclavos de la red Modbus. En la figura 2–8 se describirán las partes que componen el hardware de la puerta de enlace LUFP7.

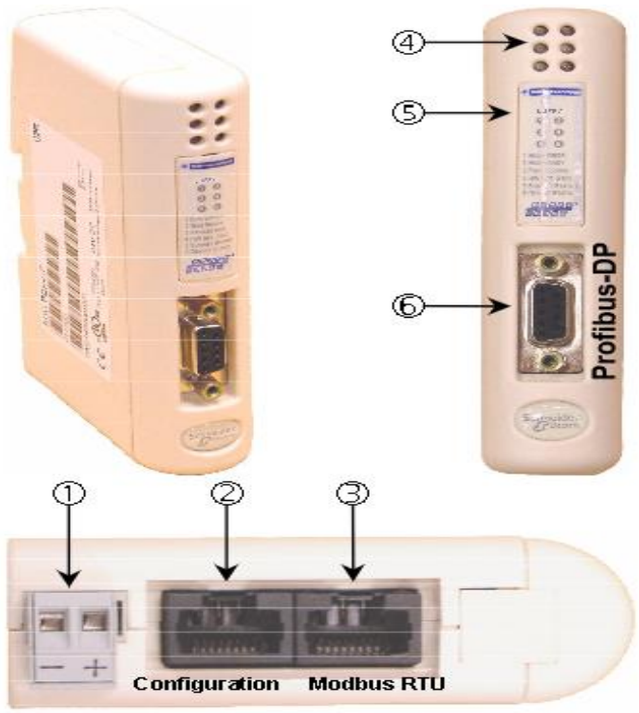


Figura 2-8. Hardware de la puerta de enlace LUFP7

Fuente: Manual Pasarela LUFP7

1. Conector de alimentación desmontable para el gateway (24V).
2. Conector hembra RJ45 a un software de configuración PCrunning AbcConf.
3. Conector hembra RJ45 para la red Modbus RTU de flujo descendente.
4. Seis LEDs de diagnóstico.
5. Cubierta extraíble para las ruedas de codificación utilizadas para configurar la puerta de enlace.
6. Conector Hembra Profibus-DP.

2.3.3. Conexión de la puerta de enlace a la red Modbus

A continuación, se muestra topología de la conexión Modbus para la pasarela y sus esclavos. En este caso se ha decido usar topología tipo Estrella, que es la que se usa en la implementación de los Sepam para la obtención de datos, los cuales son enviados a la red maestra de Profibus DP, dónde está el PLC´s de marca Modicom, el cual se encarga de tomar los datos de esta topología de red.

2.3.3.1. Topología en Estrella para la Red Modbus

Esta topología utiliza concentradores Modbus LU9GC03, que tienen 8 conectores RJ45 hembras. Estos hubs deben colocarse cerca de los esclavos Modbus a los que están conectados usando cables VW3 A8 306 R, por otro lado, la naturaleza del cable que conecta la pasarela LUFP7 a uno de estos hubs depende de la arquitectura de red, siempre y cuando exista un conector macho RJ45 en cada extremo. De ser necesario, una o dos terminaciones de línea pueden conectarse directamente a los hubs como se muestra en la figura 2-9, en esta imagen se aprecia el método de conexión de esta topología, que es la usada para la conexión de la pasarela LUFP7.

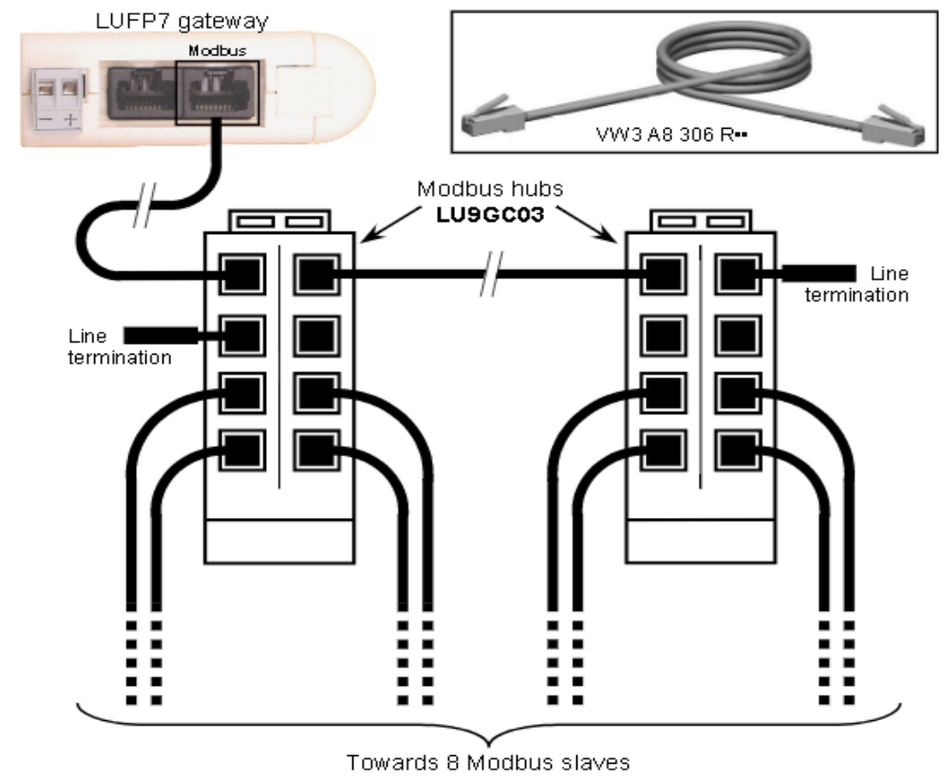


Figura 2–9. Topología Estrella Modbus

Fuente: Manual Gateway LUP7

2.3.3.2. Especificaciones del cableado para la red Modbus

Para el cableado de la red Modbus se va a utilizar un cable apantallado con 2 pares de conductores retorcidos, donde se tiene que conectar los potenciales de referencia entre sí, la longitud máxima de la línea no puede ser superior a los1.000 metros, así como

la longitud máxima de la línea de descenso o derivación mayor a los 20 metros. Es importante recordar que no se puede conectar más de 9 estaciones a un bus (esclavos y una pasarela LUFP7). Para el enrutamiento de los cables se debe tener la precaución de mantener el bus alejado de los cables de alimentación (al menos 30 cm), otra condición es que las curvas tienen que ser en ángulo recto si es necesario y conectar el blindaje del cable a tierra en cada unidad. La línea en ambos extremos debe utilizar un terminador de línea el cual se puede apreciar en la Figura 2–10, que básicamente consta de una resistencia de 120 Ω y un condensador de 1 nF. conectados en serie.

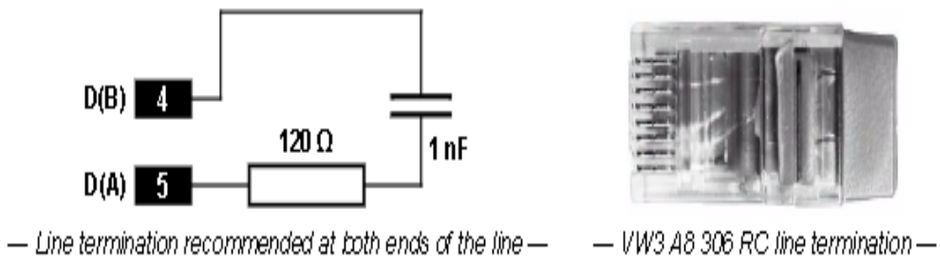


Figura 2–10. Terminal de línea y conector de conexión red Modbus

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.3.4. Conexión de la pasarela LUFP7 a la red Profibus-DP

La conexión desde la pasarela LUFP7 a la red Profibus D-P es bastante sencilla, ya que existe una conexión directa y basta con conectar el conector SUB-D macho de 9 puntos en el conector Profibus-DP al conector Profibus-DP de la pasarela LUFP7. Las conexiones se ilustran en la Figura 2-11 en las cuales se expone el conexionado mencionado.

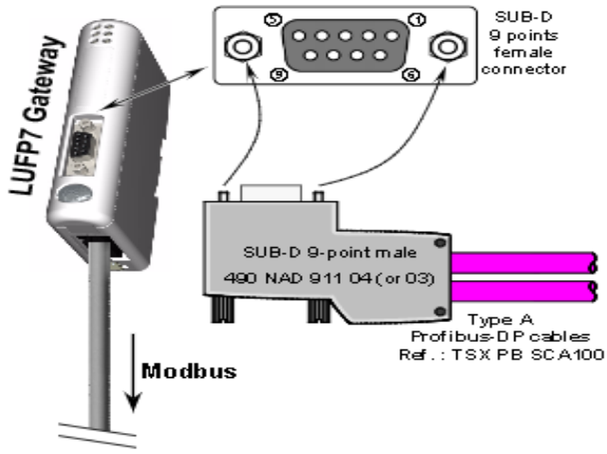


Figura 2–11. Conexión LUFP7 a red Profibus-DP

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.3.5. Condiciones de cableado para la red Profibus-DP

Las condiciones de cableado de red Profibus-DP utiliza un cable apantallado con un par trenzado de conductores de cobre, de preferencia un cable Profibus-DP de tipo A. Los conectores se conectan en los potenciales de referencia entre sí y se puede elegir la velocidad de transmisión, dentro de los límites de 9,6 kbit/s a 12 Mbit/s. La elección se realiza al inicio de la red y se aplica a todos los suscriptores de red. No se debe conectar más de 32 estaciones maestro o esclavo por segmento sin un repetidor, 127 máximo (repetidores incluidos) con los 3 repetidores. En esta red no es posible utilizar más de 3 repetidores.

Enrutamiento del cable: es necesario mantener el bus alejado de los cables de alimentación (al menos 30 cm) y realizar las curvas en ángulo recto si es necesario y conectar el blindaje del cable a la tierra en cada unidad. La red termina en un Terminación activa de la línea, en cada extremo del segmento como se muestra en la “Figura 2- 12”. Muchos proveedores han proporcionado sus cables con terminaciones de línea conmutables. La pasarela LUFP7 no tiene terminación de línea interna y por lo tanto aplica un voltaje de 5V entre las patillas 5 y 6 de su conector Profibus-DP para permitir el uso de una terminación de línea externa cuando la puerta de enlace está al final de la línea.

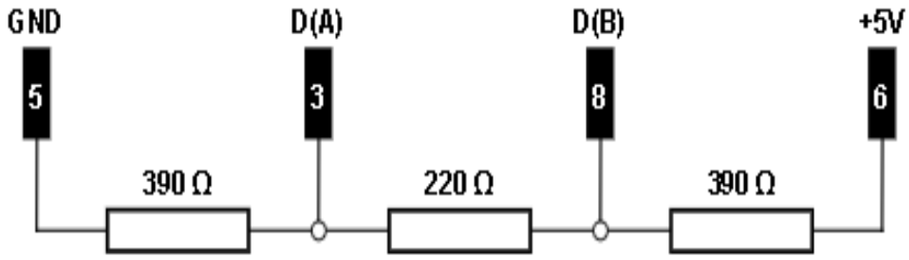


Figura 2–12. La terminación de línea se recomienda en ambos extremos

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4. IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DEL GATEWAY LUFP7

Es una implementación rápida de la puerta de enlace LUFP7, utilizando su configuración predeterminada. Todas las puertas de enlace LUFP7 se envían pre configuradas de fábrica. Esta pre configuración significa que el usuario no tiene que configurar la puerta de enlace LUFP7 con el software AbcConf. Esta configuración se realiza con el fin de permitir que la pasarela se utilice con una herramienta de configuración para Profibus-DP en el PLC master.

2.4.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del software viene determinada por la configuración por defecto de una pasarela LUFP7 que permite controlar, monitorizar y configurar 8 relés digitales de protección Sepam. Gracias a esto se explica el software y la programación para poder tomar los datos desde los Sepam, los que a su vez estan interconectados por la red Modbus en topología tipo estrella utilizada en conjunto con su pasarela de comunicación LUFP7. Por otro lado, para la comunicación de una red de esclavos Modbus, que es donde están los Sepam y comunicarlos por la red Profibus D-P (figura 2–13), en la imagen se muestra la arquitectura de comunicación que se va a establecer para la toma de datos desde los Sepam hacia la sala de control.

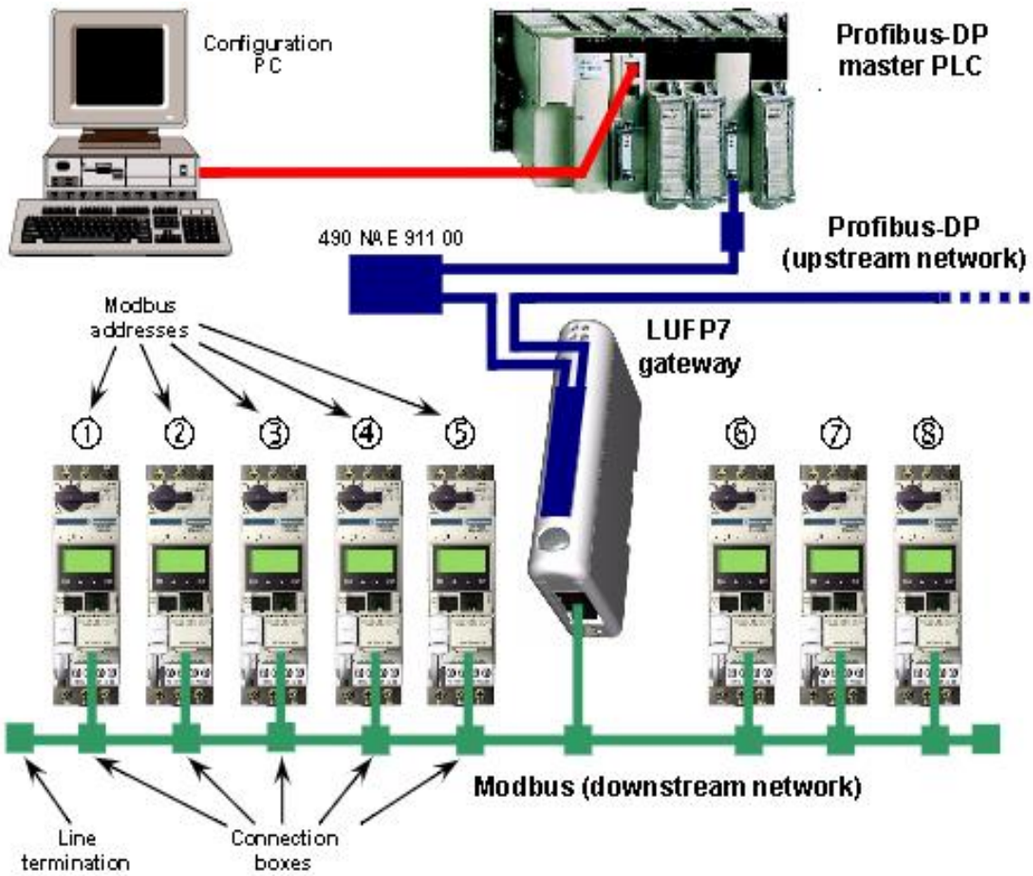


Figura 2–13. Arquitectura del sistema de comunicación

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.2. Ajustes para la configuración del Hardware en PLC con software Unity Pro

En el software Unity Pro, se crea una nueva aplicación para agregar una red Profibus-DP. Se debe editar la configuración de hardware de esta aplicación y agregar una tarjeta PBY 100 y luego editar su configuración haciendo doble clic en su ubicación en el rack como se aprecia en la figura 2-14.

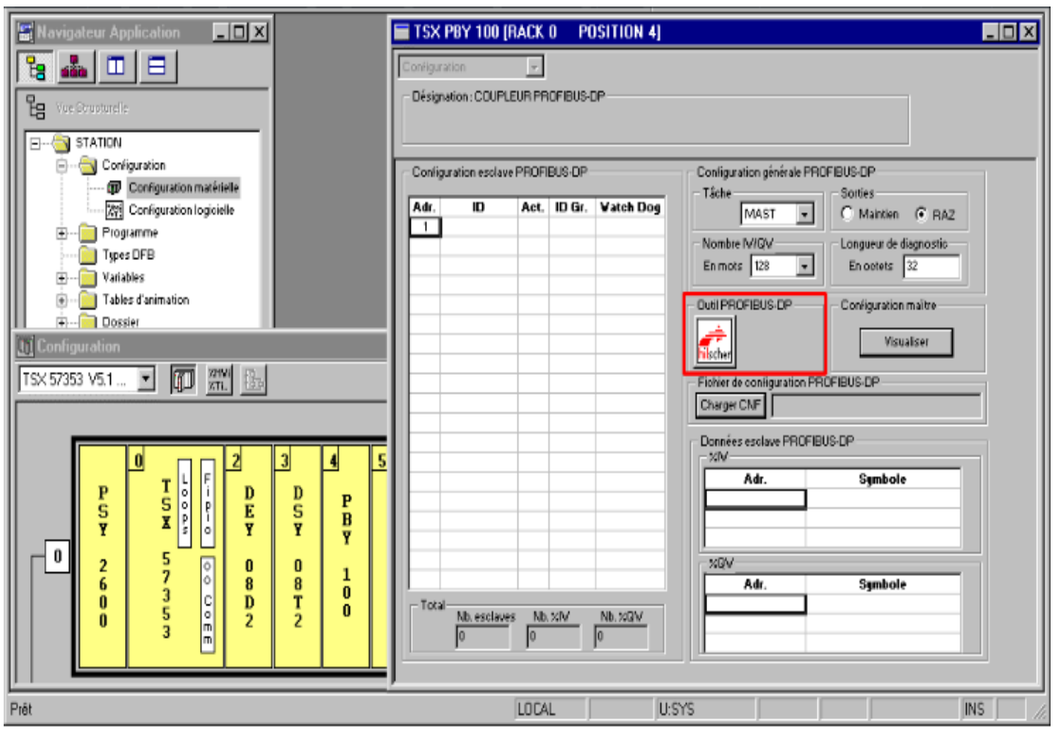


Figura 2–14. Configuración de aplicación para red Profibus - DP

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.3. Creación de una red Profibus-DP

Se selecciona la opción "Nuevo" del menú "Archivo" para crear una nueva configuración, seleccionando la red "PROFIBUS". Esta opción crea un segmento de red vacío en la ventana principal como se muestra en la figura 2–15.

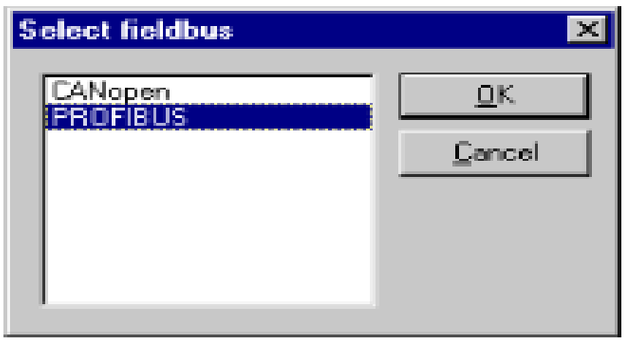


Figura 2–15. Creación red Profibus-DP

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.4. Selección de la estación maestra Profibus-DP

Seleccione la opción "Maestro " en el menú "Insertar". Se mueve el puntero del mouse a la posición donde se desea colocar el maestro Profibus-DP y clic izquierdo. Una vez el maestro seleccionado se hace clic en "Add >>". Si es necesario, edite su dirección y su nombre como se muestra en la figura 2–16.

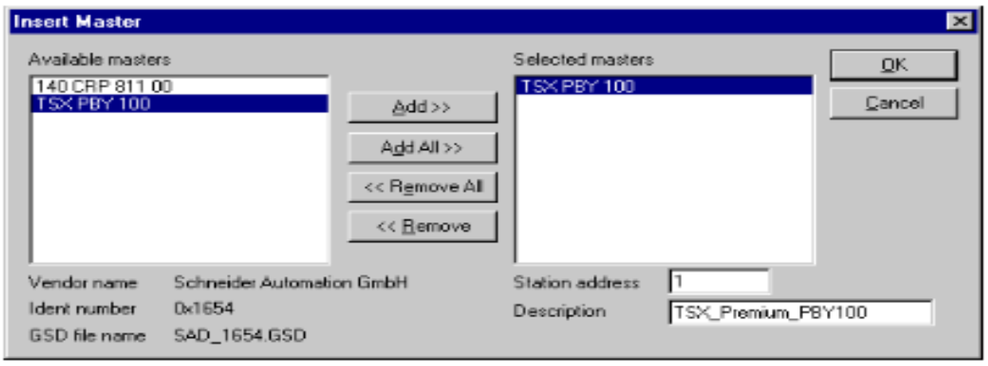


Figura 2–16. Selección de estación Maestra Profibus DP

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

Haciendo doble clic en la línea que corresponde al maestro Profibus-DP para abrir la ventana "MasterConfiguration". En el marco "DP Support", se verifica que la casilla "Autoaddressing" haya sido agregada, la figura 2–17 muestra esta configuración.

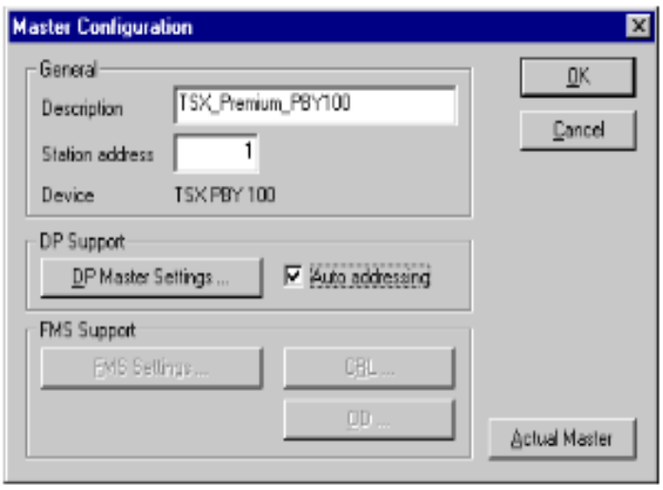


Figura 2–17. Configuración Maestro

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

Por último, seleccionando el maestro Profibus-DP y se ejecuta la opción "Bus Parameter" en el menú "Settings" para configurar la velocidad de transmisión de la red Profibus-DP. En la figura 2–18 se pueden observar los parámetros del Bus.

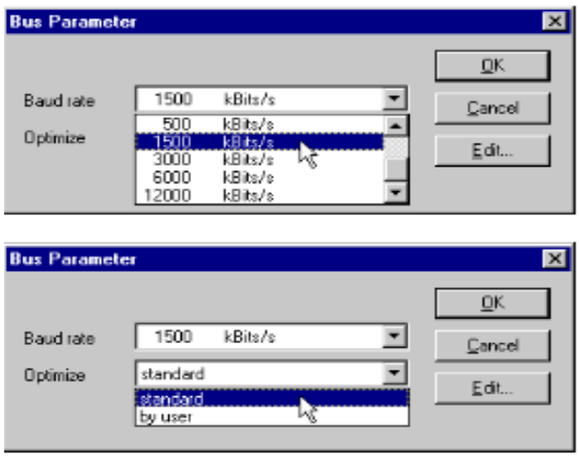


Figura 2–18 Parámetros de Bus

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.5. Selección de la puerta de enlace esclava a la red Profibus-DP

Se ejecuta la opción "Esclavo." en el menú "Insertar". Moviendo el puntero del ratón a la posición donde se desea agregar la puerta de enlace LUFP7, luego clic izquierdo. En la ventana que aparece, se selecciona el esclavo "LUFP7" y haga clic en el botón "Añadir >>". En la figura 2–19 se aprecia esta configuración.

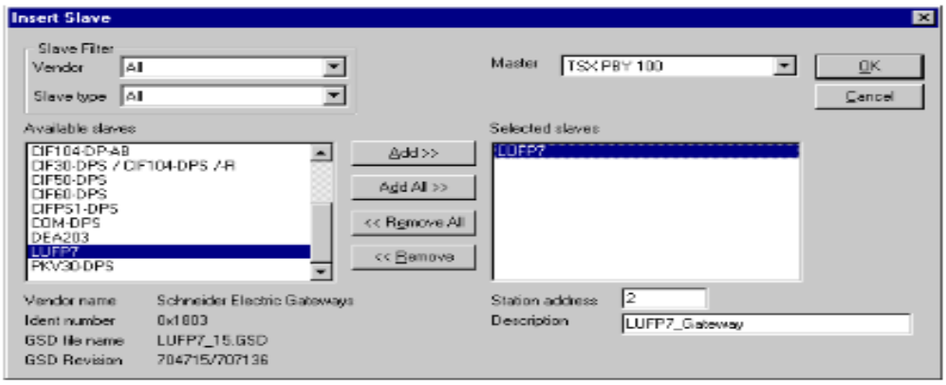


Figura 2–19. Selección de enlace esclavo

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.6. Edición y configuración de la puerta de enlace

Haciendo doble clic en la línea que corresponde a la puerta de enlace LUFP7. Aparece la ventana "Configuración del esclavo". Esta descripción se puede apreciar en la figura 2–20. Se efectuan a cabo las siguientes operaciones:

- En la lista de módulos disponibles se selecciona el módulo denominado "IN / OUT: 32 Byte (16 woord)". Haciendo clic en el botón "AppendModule" para agregarlo a la lista de módulos configurados para la puerta de enlace. Este módulo ocupa una "ranura" y consiste en un módulo de Entradas y Salidas de 16 palabras
- En el cuadro "Maestro asignado", se comprueba que esté seleccionado el maestro Profibus-DP previamente configurado. Si no, seleccionarlo, nótese bien sólo si el "maestro asignado" puede controlar el esclavo DP al que se ha asignado durante la fase de configuración. Otros maestros DPM1 sólo pueden leer sus valores de Entradas y Salidas.
- En el cuadro "General", se comprueba que las dos casillas "Activar dispositivo en configuración real" y "Activar control de vigilancia" estén activadas. Si no es así, se debe comparar ambas.
- Validación de las operaciones realizadas haciendo clic en "Aceptar".

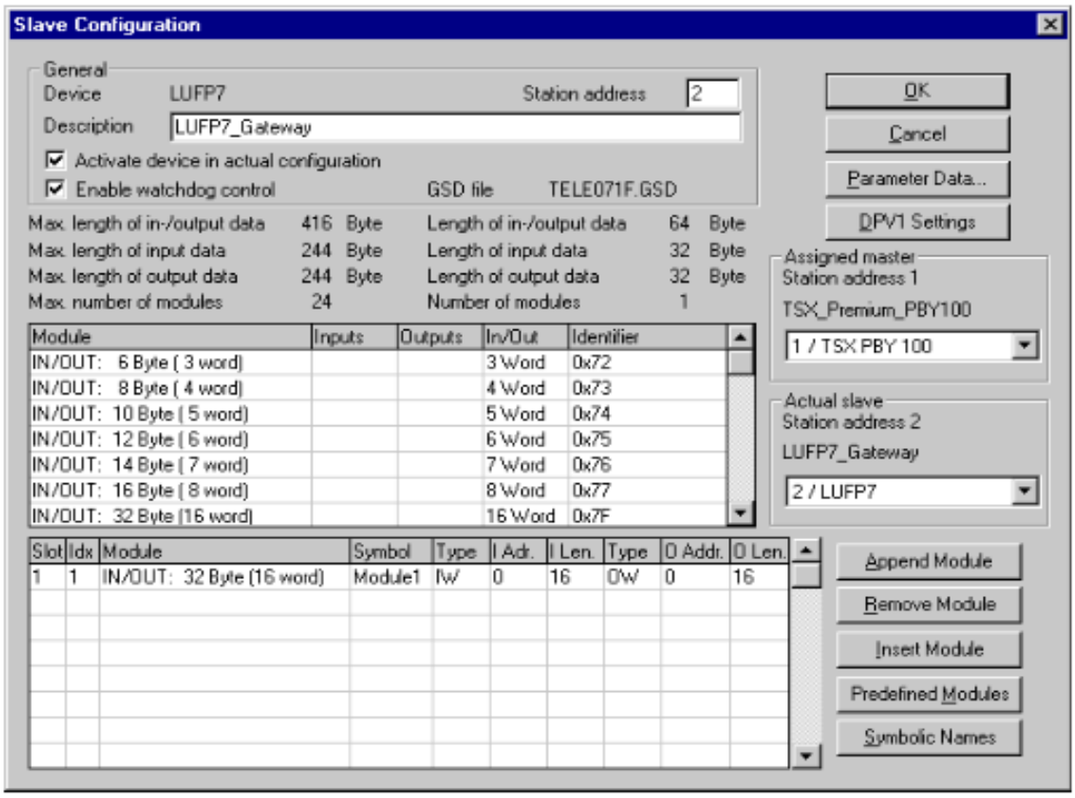


Figura 2-20. Edición y configuración de la puerta de enlace LUFP7

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

2.4.7. Guardar y exportar la configuración de red Profibus-DP

Guardar la configuración dándole un nombre ("Guardar" o "Guardar como" opción del menú "Archivo"). La configuración de la red Profibus-DP se guarda en un archivo "pb".

2.5. DESARROLLO FINAL DE LA SOLUCIÓN

En esta etapa se mostran los planos eléctricos del conexionado de las celdas MCset de media tensión, así como el conexionado de los Sepam, además de ver el conexionado realizado por la red Profibus DP. Ver figura 2-21

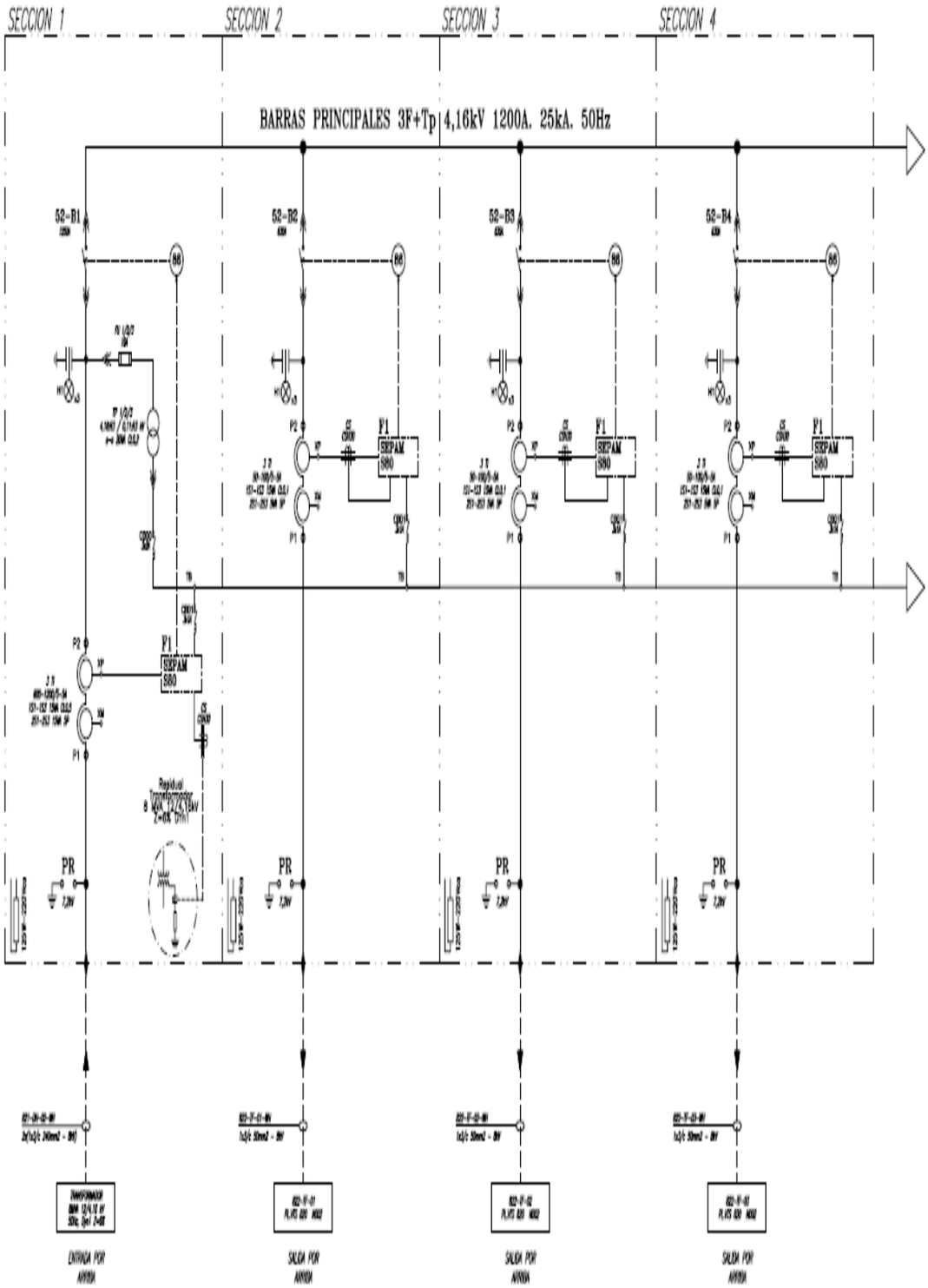


Figura 2-21. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas sección de 1 a 4

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

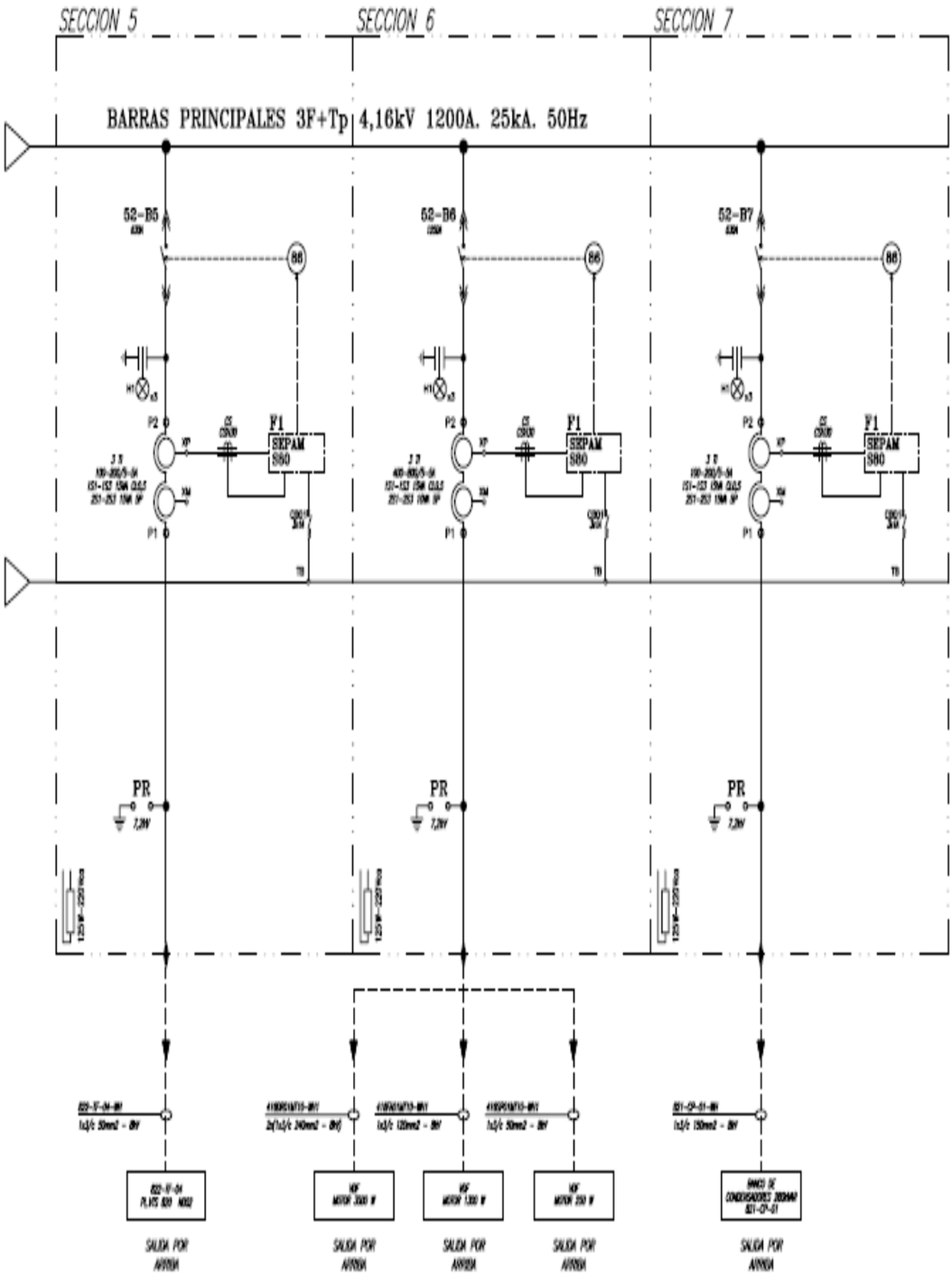


Figura 2-22. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas de sección 5 a 7

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

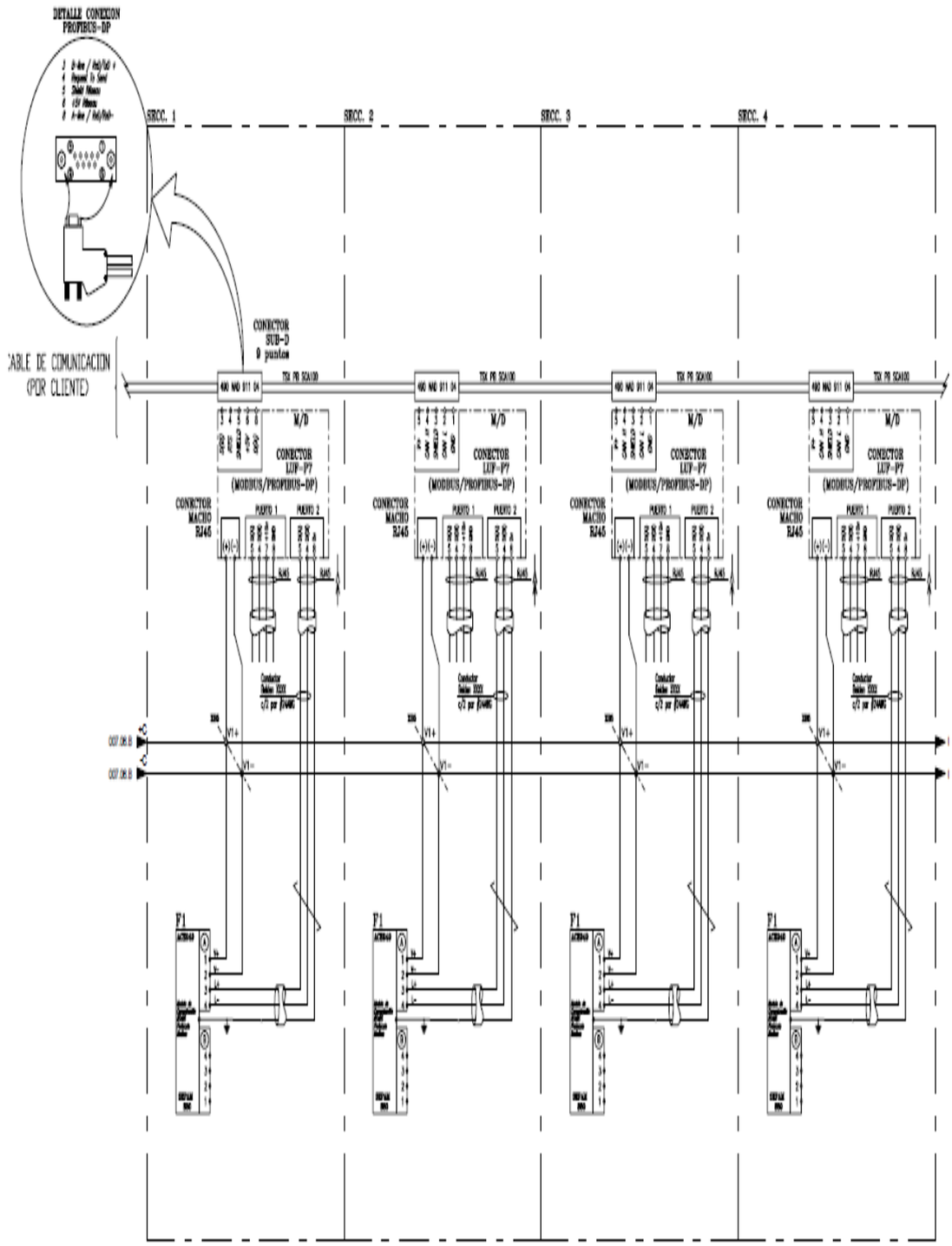


Figura 2-23. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas 1

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

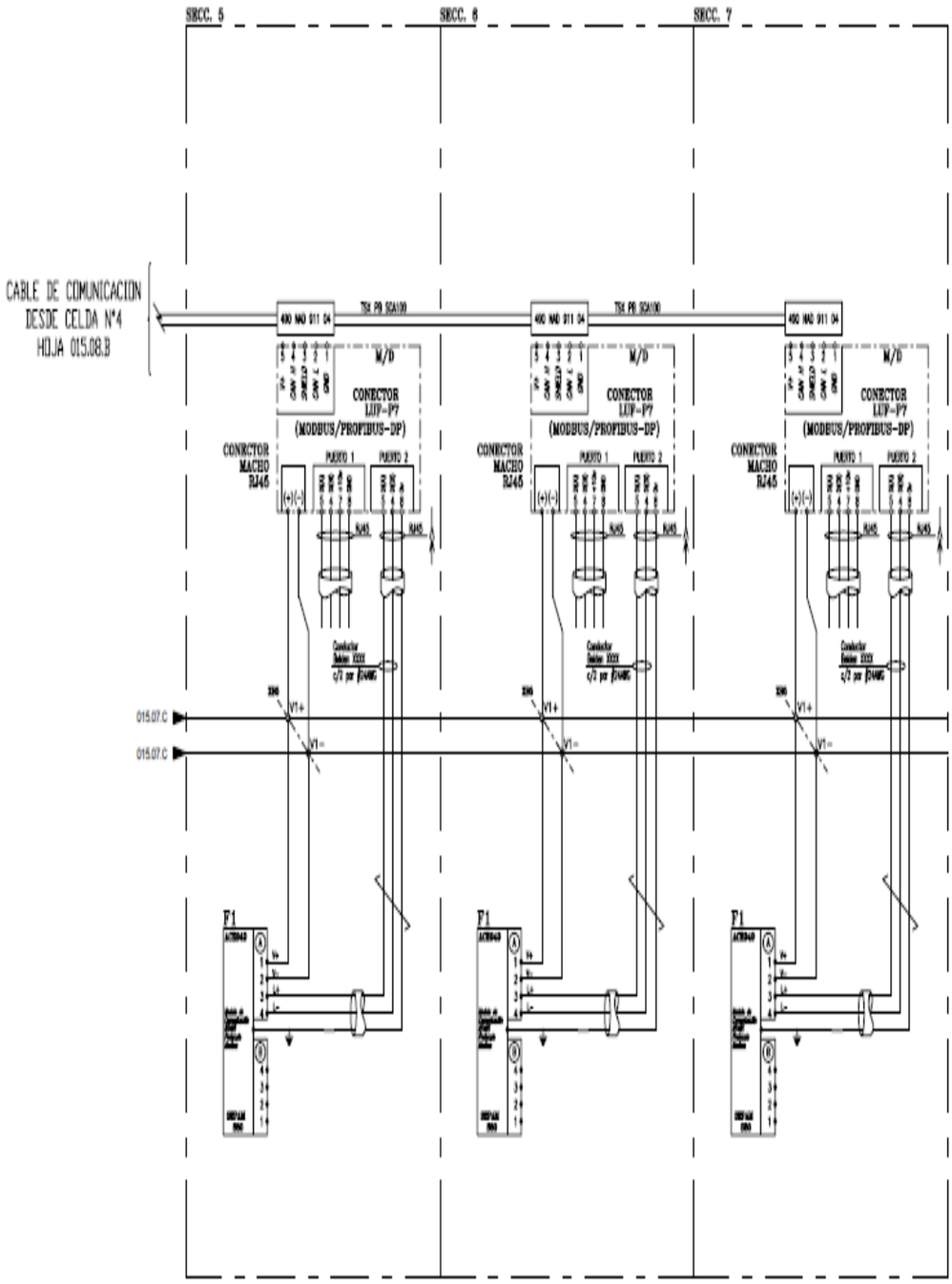


Figura 2-24. Diagrama Eléctrico de Distribución Celdas MCset en Planta Melón Ventanas 2

Fuente: Manual Gateway LUFP 7

Punto de inicio de las tareas que serán ejecutadas en el equipo para efectuar el Repotenciamiento

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS

3. ESTUDIOS DE COSTOS

3.1. COSTOS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realiza el estudio de una etapa crucial al momento de realizar el proyecto, que son los valores asociados a la realización. En esta etapa es fundamental al momento de determinar si el proyecto es viable o no, ya que el factor económico es determinante en las decisiones que se van a tomar para materializar. Esta etapa es la asociada al estudio de los costos, donde se analiza todos los activos involucrados a la integración total del proyecto, considerando equipos, dispositivos, sensores, personal, materiales, insumos, costos operacionales. Esto con el propósito de determinar los valores exactos asociados a la implementación necesaria para poner en marcha la solución presentada. Tener en conocimiento los costos asociados al proyecto permite saber con qué elementos se puede contar al momento de una negociación con el fin que el total del proyecto alcance valores razonables para implementar la solución.

Antes de empezar a analizar la etapa económica de este proyecto es necesario considerar los siguientes aspectos generales.

La planta de Cemento Melón Ventanas es una empresa privada que actualmente pertenece a un grupo de inversionistas extranjeros de origen peruano, llamados Grupo Breisca. Este grupo es el principal accionista de los activos de las distintas plantas de Cemento Melón a lo largo de Chile. De forma interna cada planta cuenta con un directorio administrativo el cual está conformado por autoridades gerenciales que son los que definen las inversiones a realizar año tras año.

En primer lugar, se proponen mejoras detectadas por las áreas de mantención, producción y seguridad, asignando un centro de costos específico para cada área mencionada. En el área de mantención que es este caso compete existen dos grandes ramas, el área de mantención mecánica y el área de mantención eléctrica e instrumentación. Una vez al año se realizan reuniones de proyección de inversiones para el próximo año, estás reuniones se realizan en conjunto con la jefatura de mantención y el jefe de la planta. Tanto el área mecánica cómo eléctrica e instrumentación existe un supervisor a cargo, él cual es ITO de cada uno de los trabajos a realizar en la planta y son los primeros en proponer mejoras y proyectar inversiones para los próximos años.

Una vez definidas las mejoras a realizar estás pasan por una comisión de ejecutivos los cuales definen la entrega de recursos para cada una de las inversiones. Finalmente se envía un presupuesto a principio de cada año con las inversiones que se aprueban y los centros de costos asignados para cada inversión.

El proyecto actual es una inversión que se encuentra en estado de aprobación y cuenta con una cifra de inversión ya previamente asignada y compete únicamente al área eléctrica e instrumentación ya que no es necesario una intervención del área mecánica para realizar el proyecto.

El área que compete para este proyecto la de Electricidad e Instrumentación, que se dividen en Electricidad, Electrónica e Instrumentación, estas se encargan de ejecutar trabajos como los sistemas de generación, distribución y control de potencias eléctricas (empalme, subestaciones, transformadores de potencias, celdas de media tensión, etc.), la integración de estas señales, instalaciones eléctricas e instrumentalización, sistemas de control de procesos (DCS, PLC, SCADA), analizadores de calidad y automatización de plantas.

Cómo proyecto se centra en la recolección de sistemas de medición de media tensión, le compete esta inversión al área Eléctrica e instrumentación, la cual se debe encargar de la integración total del proyecto a ejecutar, definir los contratistas a adjudicarse el trabajo y los plazos definidos en los que se van a realizar las distintas etapas de implementación.

El monto asociado a esta inversión es de 22.000 USD con un margen de error del 5%, es decir tiene un tope máximo 23.100 USD, este monto no puede exceder de los costos que se verán reflejados en el siguiente estudio y que son realizados con fecha 01 de Julio del 2017, por lo siguiente, los valores que se consideran en moneda nacional (CLP) pueden ir variando a medida que va a transcurrir el tiempo, ya que la mayoría de los equipos a comprar son de origen extranjero y para definir los costos asociados se define el uso de dólares (USD), por otra parte los costos involucrados al personal y recursos humanos asignados al proyecto también pueden ir variando de acuerdo al IPC de cada año, se define el uso de unidades de fomento (UF) para definir estos costos.

Valor del dólar con fecha 01/07/2017 = $680 (CLP)

Valor de UF con fecha 01/07/2017 = $26.350 (CLP)

3.2. COSTOS DE EQUIPOS

Los equipos de implementación de este proyecto son los que forman parte del control de las señales que se van a medir desde las celdas de media tensión y de los respectivos Sepam, que es de ahí desde dónde se van a tomar las mediciones que finalmente serán incorporadas al sistema Scada de la planta, para integrarlos a su vez en la sala de control. La elección de estos equipos se basó en los costos individuales, además

de los requerimientos específicos que se necesitan para la integración de las señales de control a las ya existentes en la planta. Es fundamental incorporar estas señales a un mismo sistema integrado para así no dejar zonas aisladas de comunicación. Por este motivo la compatibilidad de los elementos tiene que ser de la marca Schneider ya que desde las celdas de media tensión hasta los Plc´s que van a desempeñar sus funciones tanto de maestro como esclavo pertenecen a esta compa-ñía y son los que se encuentran actualmente en la planta.

A continuación, en la tabla 3-1 se describen los costos asociados a los equipos a utilizar en el proyecto, los cuales fueron cotizados por la empresa contratista que se adjudicó el proyecto.

Tabla 3-1. Costos de Equipos

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO USD	PRECIO CLP	TOTAL USD (*)	TOTAL CLP
Conversores FO-Ethernet	2	199	135.000	398	270.000
Alimentación Conversores	1	199	135.000	199	135.000
Modulos lectura analogo BMX 0800	1	1.174	798.200	1.174	798.200
Tranductores 0-500 A	6	420	285.200	2.520	778.800
Lufp 7	1	1.040	707.200	1.040	707.200
			Total neto	5.331	2.689.200
			IVA	1.012,89	510.948
			Total más IVA	6.343,89	3.200.148

Fuente: Elaboración propia para el proyecto ventanas

3.3. COSTOS DE INSUMOS Y MATERIALES

La transmisión de los datos se realiza por fibra óptica, para este proyecto se consideran 4 hilos Multimodo 62.4 uN. La fibra óptica es usada para la transmisión de datos, desde el PLC que se encuentra en la sala eléctrica de la planta y se dirige hacia la sala de control, que son aproximadamente 100 metros, en la sala de control se encuentran el PLC maestro, el cual tiene el módulo de conversión de fibra óptica y es el modo de transmisión que se utiliza en la Planta de Cemento Melón Ventanas para la transmisión desde la sala eléctrica de la planta hacia la sala de control. En la figura 3-1 se puede apreciar la fibra óptica a usar en este proyecto.

Figura 3-1. Fibra óptica de 4 hilos 62.4 uN

Fuente: Elaboración propia para el proyecto ventanas

Los cables de fibras ópticas, para adaptarse a los requerimientos de las instalaciones, necesitan ser empalmados con otros, ya sea porque la longitud de los rollos o bobinas de cables son menores a la longitud de las infraestructuras o porque para la distribución se utilizan cables con diferentes números de fibras. En este proyecto se utiliza el empale por fusión.

El empalme por fusión, a grandes rasgos, consiste en unir las dos fibras fundiendo el material de sus puntas mediante la aplicación de una fuente calorífica, que suele estar compuesta por dos electrodos entre los cuales se produce un arco eléctrico cuando se les aplica una fuente de alta tensión de 4000 a 5000 voltios con corriente controlada. La potencia calorífica del arco eléctrico depende de la corriente que en cada momento suministre la fuente de alta tensión en la figura 3-2 se aprecia una máquina empalmadora por fusión para fibra óptica

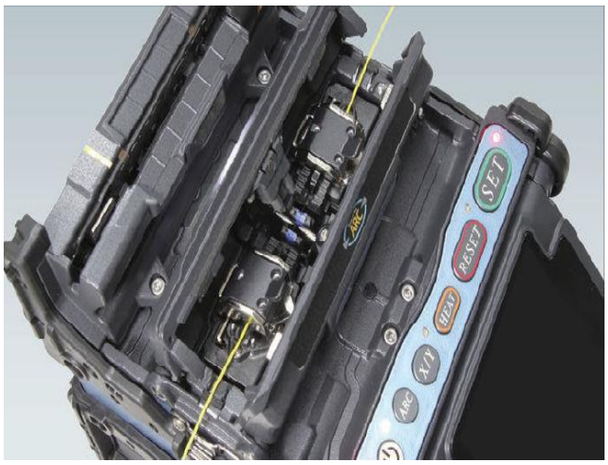


Figura 3-2: Empalmadora de Fibra óptica por fusión

Fuente: http://www.directindustry.es/prod/fujikura/product-16619-1081995.html

Los empalmes por fusión se realizan utilizando una máquina a la que se suele denominar como: Empalmadora, Fusionadora o Máquina de Empalme. La máquina realiza como funciones principales: la aproximación de las fibras, alineamiento, fusión, cálculo de pérdidas estimadas y por último las máquinas disponen de un calefactor integrado que permite colocar el protector al empalme. Utilizar la empalmadora aumentar los costos asociados al proyecto y se considera cómo un material esencial para realizar las uniones entre los puntos de fibra óptica.

Para el transporte de la fibra óptica hacia la sala de control se utilizan tubos conduit de acero galvanizado de 3/4, junto con esto se fijan soportes necesarias para el transporte del conduit que se dirige desde la sala eléctrica principal hacía la sala de control.

El gabinete de acero inoxidable es el que almacena los dispositivos de control en su interior, a excepción del LUFP7 que se encuentra en el tablero eléctrico de sala eléctrica 416 de la planta. Este gabinete, mostrado en la figura 3-3, es de la reconocida marca Legrand y posee unas medidas de 700x500x250 (largo, ancho y profundidad respectivamente), posee un IP 66, y es ideal para mantener a la intemperie debido al ambiente corrosivo en el que se encuentra (aire salino proveniente de la costa).

Figura 3-3. Gabinete de Acero Inoxidable

Fuente: http://www.legrand.cl

En la tabla 3-2 se posible apreciar los costos de los materiales e insumos a utilizar.

Tabla 3-2. Costos de materiales e insumos

MATERIAL / INSUMO	CANTIDAD	PRECIO USD	PRECIO CLP	TOTAL USD	TOTAL CLP
Conduit acero galvanizado 3 4	80	8,67	5.900 x m	693,6	472.000
Fibra óptica 4 hilos 62.4 Un	100	3,8	2.600 x m	380	260.000
Fusiones con cabezales	1	625	4250.000 c/u	625	425.000
Gabinete	1	287	195.000	267	195.000
Materiales y canalizaciones	1	1.176	799.400	1.176	799.400
Materiales de integración	1	2.540	1.727.000	2.540	1.727.000
Soportación Canalización	1	359	240.000	359	240.000
Instalación de seccionadores trifásicos.	1	1.097	745.800	1.097	745.800
Materiales menores	1	243	165.000	243	165.000
		Total neto sin IVA		7.380,6	5.028.200
		IVA		1.402,3	955.358
		Total neto con IVA		8.782,9	5.983.558

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.4. COSTOS DE RECURSOS HUMANOS

En el siguiente apartado se menciona a todo el personal que está involucrado en la integración y desarrollo del proyecto, se definen las funciones específicas de cada uno de los integrantes y las políticas que tiene Cemento Melón para otorgar los trabajos de inversiones a empresas contratistas, que son las que finalmente lleva a cabo el proyecto. Los valores se definen en pesos chilenos (CLP) y en unidades de fomento (UF) esto debido a que este último valor varía de acuerdo con el índice de precios al consumidor (IPC) y esos valores van variando por un sin número de factores que afectan la economía y la inflación nacional que atraviesa el país en cada periodo.

Este proyecto tiene considerado 9 etapas de integración, las cuales se encuentran definidas en una carta Gantt adjunta en el ANEXO A. Estas fechas que ya se encuentran estipuladas y tienen cómo inicio el 24 de Julio del 2017, partiendo con la integración de los medidores de potencia hacia los Sepam y finalizando en la etapa de entrega para el 1 de octubre del 2017.

Las etapas que considerar del proyecto son las siguientes:

1. Integración de medidores de potencia.
2. Pedido conversor RS322.
3. Pedido de LUFP7.
4. Ingeniería de sistemas.
5. Montaje de LUFP7.
6. Canalizaciones.
7. Cableados.
8. Puesta en servicio.
9. Entrega.

3.4.1. Ingeniero Electrónico

El ingeniero electrónico es la persona a cargo del proyecto, encargándose de la integración total del proyecto hasta la etapa de entrega del mismo. Su trabajo consiste en la programación de los módulos de potencia e integración de las señales de estos hacia el PLC de la planta y su conjunta integración al sistema SCADA. Es también el encargado de la modelación de los planos, la creación de las etapas con sus fechas establecidas, el encargado de contar con todos los requerimientos que Melón S.A. pide a sus contratistas para adjudicarse cualquier trabajo a realizar en la planta y conoce las medidas de seguridad, además proporciona la información al personal para la ejecución de cada una

de las etapas a realizar. En la tabla 3–3 se muestra el costo de horas hombre del Ingeniero Electrónico y el costo del total por este proyecto.

Tabla 3-3. Costos por Ingeniero Electrónico

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Ingeniero CEII	1,5	39.525	4	16	96	2.529.600

Fuente: Elaboración propia para el proyecto ventanas

3.4.2. Supervisor Instrumentista

El supervisor instrumentista es la persona que está a cargo de cada una de las etapas de ejecución del proyecto, es la cara visible en cada una de las etapas y la persona que reúne todas las competencias para liderar a la cuadrilla de trabajo. Es la persona que está en terreno realizando las integraciones de los distintos equipos y su conexionado hacia todos los puntos ya mencionados. Debe proporcionar las soluciones necesarias de los equipos y materiales a utilizar en cada una de las etapas mencionadas. Es el líder de su equipo y tiene que velar por la seguridad y salud de sus trabajadores. En la tabla 3–4 se ven los valores asociados al Supervisión de Instrumentación a cargo del proyecto.

Tabla 3-4. Costos por Supervisor

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Supervisor Instrumentista	0,28	7.500	4,5	16	20,49	540.000

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.4.3. Técnico Instrumentista

El trabajo del técnico instrumentista consiste en realizar los trabajos asignados por el super-visor de instrumentación a cargo del proyecto. Su labor consiste en realizar

las conexiones en terreno, el montaje de los equipos nuevos, la soportación de las canalizaciones, el cableado, y las mediciones que se tienen que verificar desde las celdas de media tensión hacia los PLC's que van a ser considerados en la integración del proyecto. En la tabla 3–5 se pueden apreciar los costos asociados al técnico en Instrumentación.

Tabla 3-5. Costos por Técnico Instrumentista

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Técnico Instrumentista	0.18	4.900	9	30	50,2	1.323.000

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.4.4. Costos Prevencionista de Riesgos

Por políticas de seguridad por parte de Melón S.A. se exige a todas las empresas contratistas que efectúen un trabajo en las instalaciones de la planta, contar con un prevencionista de riesgo el cual es el responsable de verificar y controlar que el trabajo que se efectúe sea de forma segura. Este debe en cada jornada tomar las medidas de seguridad adecuadas para la intervención de los equipos y cumplir con todos los estándares de seguridad que dicta Melón. Es el encargado además de cumplir con toda la documentación legal que se le exige a la empresa contratista por cada uno de sus trabajadores, cómo contratos vigentes, cotizaciones al día, seguros de vida, etc. En la tabla 3–6 se puede apreciar los costos asociados al prevencionista de riesgos.

Tabla 3-6. Costos por Prevencionista de Riesgos

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Prevencionista	0.22	6.000	2,4	30	16,39	432.000

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.4.5. Costos totales Recursos Humanos

Estos son los costos asociados a la “mano de obra” es decir a los recursos humanos, donde en la tabla 3 – 7 “Costos totales de recursos humanos” se observa ver el sub – total de cada una de las personas involucradas en efectuar el proyecto. Cómo se mencionó al principio de este capítulo la Planta de Cemento Melón, exige a sus empresas contratistas a trabajar de la manera más segura posible, dando charlas de inducción y exigiendo un prevencionista de riesgos para las labores que impliquen un riesgo asociado.

Tabla 3–7. Costos totales Recursos Humanos

Cargo	Precio por hora (UF)	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días trabajados	Total en UF	Total en CLP
Ingeniero CEII	1,5	39.525	4	16	96	2.529.600
Supervisor Instrumentista	0,28	7.500	4,5	16	20,49	540.000
Técnico Instrumentista	0.18	4.900	9	30	50,2	1.323.000
Prevencionista	0.22	6.000	2,4	30	16,39	432.000
Total mano de Obra					**183.08**	**4.824.000**

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.5. COSTOS DIRECTOS

Todos los costos analizados hasta este momento están relacionados a los costos directos que propone el proyecto, desde los equipos a utilizar, los materiales y la mano de obra. En la tabla 3-8 se hace un resumen de todos los costos directos asociados al proyecto.

Tabla 3–8. Costos Directos del Proyecto

Ítem	Costo CLP	Costo USD	Costo UF
Equipos	2.689.200	3.954,7	102,05
Materiales	5.028.200	7.394.4	190,82
RRHH	4.824.000	7.100	183,22
Total	12.541.400	18.449,1	476,09

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.6. COSTOS INDIRECTOS

En el siguiente ítem se analizan los costos indirectos asociados al proyecto total, dónde se incluyen los costos operacionales, además de los imprevistos que puedan ocurrir en el trans-curso de la puesta en marcha e implementación total de este. Se calcula que estos costos son de un 10% de los costos directos. En la tabla 3–9 se hace análisis de estos costos.

Tabla 3–9. Costos Indirectos del Proyecto

Ítem	Costo CLP	Costo USD	Costo UF
Costos Operacionales	400.000	588,23	15,18
Imprevistos	1.254.140	1.844,32	47,9
Total	1.654.140	2.432,55	63,08

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.7. CÁLCULO FINAL DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO

Finalmente, una vez calculados los costos directos, los costos indirectos y las utilidades que genera este proyecto se describe la tabla con los costos totales antes descritos. En la tabla 3–10 se puede apreciar todos los costos involucrados en el proyecto.

Tabla 3–10. Costos Totales del proyecto

Ítem	Costo CLP	Costo USD	Costo UF
Costos Directos	12.541.400	18.449,1	476,09
Costos Indirectos	1.654.140	2.432,55	63,08
Utilidad	1.254.140	1.844,32	47,9
Total	15.449.680	22.720	586,32

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

En esta tabla están todos los valores considerados con iva incluido.

3.8. UTILIDADES

Este último ítem representa las utilidades de la empresa contratista que se adjudica el proyecto y es la empresa que va a realizar todos los trabajos involucrados. Cada empresa tiene un margen de utilidad que puede ser fijo o variable, en el caso de la empresa que se adjudicó este proyecto considera una utilidad del 10 % del total de los costos involucrados en la puesta en marcha e integración del proyecto el cual se puede ver representado en la tabla 3–11.

Tabla 3–11. Costos de utilidad

Ítem	Costo CLP	Costo USD	Costo UF
Utilidad	1.254.140	1.844,32	47,9
Total	1.254.140	1.844,32	47,9

Fuente: Elaboración propia para proyecto ventanas

3.9. RESUMEN

Cómo se mencionó al inicio de este capítulo, la inversión asociada a este proyecto es de 22.000 USD que se puede exceder con un máximo del 5% de este monto asignado, es decir el costo total del proyecto no debe ser superior a 23.100 USD, cómo se presenta en el cálculo final en la tabla 3 - 11 el costo total del proyecto es de 22.720 USD el cuál se encuentra dentro del presupuesto asignado para invertir en el proyecto y considerar que es un proyecto viable en términos económicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el desarrollo de este proyecto se da una solución confiable al problema presentado en la plana de cemento Melón, la recolección de mediciones de media tensión ya que cumple un rol muy importante al tratarse de una planta diseñada para ahorro en el consumo eléctrico, ya que cuenta con un molino el cual fue diseñado con el fin de aumentar su productividad y disminuir los consumos en la producción de cemento.

Durante el desarrollo de este trabajo se realiza un análisis exhaustivo sobre los pro y contra de las alternativas presentadas, debatiendo mediante distintos criterios cuál es la mejor alternativa para lograr una solución final a este problema.

Para desarrollar esta mejora se ha implementado una puerta de enlace llamada LUFP7, la cual integra las mediciones tomadas desde las celdas de media tensión, desde aquí existe una sección que recopila todas las señales de medida tanto de voltaje y corriente por línea, y las incorpora a una de profibus-dp ya cableada desde el proyecto original.

Con la implementación se pretende incorporar esas señales al sistema SCADA de la planta, para poder visualizar esa información que es bastante relevante, para el futuro tomar decisiones importantes sobre el consumo energético total de la planta.

Con este trabajo se ha aprendido acerca del funcionamiento de las celdas de media tensión, los sistemas de recopilación de toma de datos en las celdas de media tensión llamados sepam, los integradores de medición desde una red RS232, la incorporación de una puerta de enlace LUPFT7 que es la que realiza la conectividad entre los módulos de las celdas de media tensión y la red Profibus, la configuración de un PLC maestro y un PLC esclavo y finalmente los costos asociados a esa inversión para así lograr determinar si el proyecto presentado es viable o es una inversión poco viable.

BIBLIOGRAFÍA

1. CATALOGO GENERAL MC-SET. Schneider Electric 2009. [Documento PDF] [consulta: 15 de mayo de 2017].

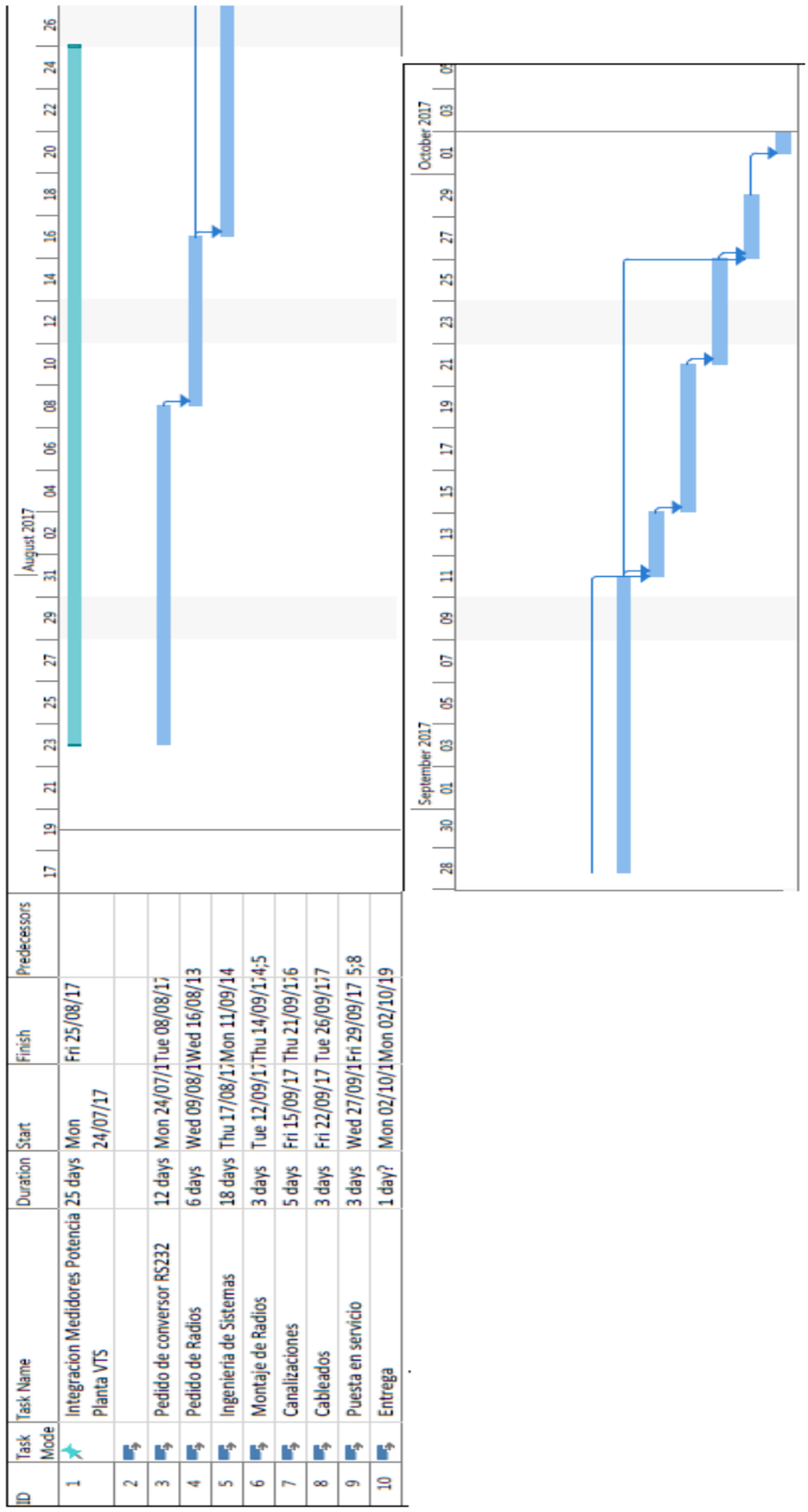
2. MANUAL DE USUARIO LUFPT7 TELEMECANIQUE GATEWAY PROFIFUS DP – MODBUS RTU. Schneider Electric 2010. [Documento PDF] [consulta: 20 de junio de 2017].

3. CATALOGO GENERAL DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN MEDIA TENSIÓN SEPAM SERIE 80. Schnedier Electric 2006. [Documento PDF] [consulta: 18 de julio de 2017].)

ANEXOS

ANEXO A: CARTA GANTT DESARROLLO DE ACTIVIDADES

ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1		Integracion Medidores Potencia Planta VTS	25 days	Mon 24/07/17	Fri 25/08/17	
2						
3		Pedido de conversor RS232	12 days	Mon 24/07/1	Tue 08/08/17	
4		Pedido de Radios	6 days	Wed 09/08/1	Wed 16/08/13	
5		Ingenieria de Sistemas	18 days	Thu 17/08/1	Mon 11/09/14	
6		Montaje de Radios	3 days	Tue 12/09/1	Thu 14/09/1	4;5
7		Canalizaciones	5 days	Fri 15/09/17	Thu 21/09/1	6
8		Cableados	3 days	Fri 22/09/17	Tue 26/09/17	7
9		Puesta en servicio	3 days	Wed 27/09/1	Fri 29/09/17	5;8
10		Entrega	1 day?	Mon 02/10/1	Mon 02/10/19	



ANEXO B: COTIZACIÓN DE IMPLEMENACIÓN DEL PROYECTO

PROELEC INGENIERIA

RUT 76.102.334-9

13/07/2017

N° 623

FORMULARIO DE COTIZACIÓN

Supervisor	:	**Juan Carlos Carmona**
Obra	:	**Integracion de Medidores de Potencia a Soada y PI Planta VT8**
Empresa	:	**Proelec**
Supervisor Contratista	:	**Hugo Ojeda**

Materiales	Cantidad	Unidad	Precio Unidad	Total $
Fibra optica 4 Hilos 62.4uN	100	Mts	2600	$ 260.000
Fusiones con cabezeras	1	Mts	425000	$ 425.000
CAG 3/4	80		5900	$ 472.000
Soportacion canalizacion	1		240000	$ 240.000
Conversores FO-Ethernet	2		135000	$ 270.000
Alimentacion Conversores	1		135000	$ 135.000
Gabinetes	1		195000	$ 195.000
Instalacion de Seccionadores Trifasicos	1	gl	745800	$ 745.800
Modulos lectura analogo BMX 0800	1	c/u	798200	$ 798.200
Tranductores 0-500A	6	c/u	285200	$ 1.711.200
Materiales de Instegracion	1	gl	1727000	$ 1.727.000
Sensores Inductivos	3	c/u	259600	$ 778.800
Materiales y canalizaciones	1	gl	799400	$ 799.400
Materiales Menores	1		165000	$ 165.000
Total Materiales				$ 8.722.400
Ingeniero	1	gl	2540000	$ 2.540.000
Trabajo Supervisor	72		7500	$ 540.000
trabajo Supervisor HH extras			11200	$ 0
Trabajo en HH Normal	288		4900	$ 1.411.200
Trabajo en HH Extra	10		6800	$ 68.000
Prevencionista de Riesgo	72		6000	$ 432.000
Planos y esquemas				$ 0
Colacion				
Sub-Total de Mano de Obra				$ 4.991.200
Costos Directos			Total	$ 13.713.600
Gastos Operacionales				$ 400.000
Confirming				$ 155.000
Camion Alza Hombre				
Costos indirectos			Total	$ 555.000
Utilidad			Total	$ 1.426.860
			NETO	**$ 15.695.460**
			IVA	$ 2.982.137
			TOTAL BRUT	$ 18.677.597