



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN DE MONITOREO DE GAS  
HEXAFLUORURO DE AZUFRE.**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Ingeniero en Ejecución en  
Control e Instrumentación Industrial.

Alumno:  
Misael Andrés Garrido Riffo

Profesor guía:  
Ing. Rodrigo Méndez Leal

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El proyecto que se expone a continuación propone implementar el monitoreo continuo de la presión del gas Hexafluoruro de azufre en los transformadores de poder e interruptores de máquina de los generadores sincrónicos de la central hidroeléctrica angostura.

Actualmente la central hidroeléctrica Angostura cuenta con medición de presión en los transformadores de poder con transmisores Wika GD10-F estos entregan una señal analógica de 4 a 20 mA a los indicadores universales de procesos Novus N1500 que a través de contactos discretos activan las etapas de alarma.

Cada generador cuenta con un interruptor de máquina FKG1N de tres polos, cada polo tiene una cámara de extinción de arco eléctrico con el hexafluoruro de azufre en su interior, don el gas es medido por un manómetro local de presión en el conjunto de polos. Además, cuenta con un interruptor de densidad de dos contactos discretos en distintas presiones, siendo el más crítico el bloqueo del interruptor, no permitiendo realizar maniobras de cierre o apertura.

En base a la información, se ha realiza un estudio que busca implementar el monitoreo continuo de las presiones en cada cámara que contengan hexafluoruro de azufre, así poder mantener registros de las presiones con sus tendencias, tasas de fuga anuales.

## INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	1
OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	1
CAPÍTULO 1: EQUIPOS PRIMARIOS DE POTENCIA EN SF6 .....	2
1.1. EQUIPOS ELÉCTRICOS EN SF6 A MONITORIAR.....	3
1.1.1. Descripción de los transformadores de poder .....	3
1.1.2. Descripción de interruptores de generadores FKG1N .....	5
1.2. NORMAS AMBIENTALES RELACIONADAS A GAS SF6 .....	6
1.2.1. Aspecto medioambiental .....	6
1.2.2. Normas Internacionales de gestión .....	6
1.2.3. Normas nacionales de gestión .....	7
1.3. DEFINICIÓN DE TEMPERATURA, PRESIONES Y DENSIDADES .....	8
1.3.1. Definición .....	8
1.3.2. Temperatura .....	8
1.3.3. Presión de gas en recipiente cerrado .....	9
1.3.4. Densidad del gas hexafluoruro de azufre .....	11
1.3.4.1. Densidad del gas hexafluoruro de azufre en distintos estados .....	11
1.4. SISTEMAS DE CONTROL.....	12
1.4.1. Interfaz Hombre Maquina (IHM).....	12
1.4.2. Sistema de ingeniería (SIMATIC WinCC TIA Portal V14).....	12
1.4.3. Controlador PLC (controlador modular SIMATIC S7-1200 CPU 1214C).....	12
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.5.1. Transformadores de poder.....	13
1.5.2. Interruptores FKG1N .....	13
1.5.3. Desventajas del sistema instalado .....	13
1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO A IMPLEMENTAR.....	14
1.6.1. Ventajas del sistema propuesto .....	14
CAPÍTULO 2: MEDICIONES DE VARIABLES EN SF6.....	15
2.1. NIVELES DE FUNCIONAMIENTO.....	16
2.1.1. Supervisión del sistema .....	16
2.1.2. Nivel 0 Local .....	16
2.1.3. Nivel 1 Sala de operaciones .....	16
2.1.4. Nivel 3 servidor mantenimiento .....	16
2.2. AUTOMATISMO DE MONITOREO Y CONTROL.....	16
2.2.1. Elección del PLC.....	16

2.2.2.	Características técnicas de PLC seleccionado.....	17
2.2.3.	Módulos de entradas analógicas (SM1231 AI8 y SB1231) .....	18
2.2.4.	Módulos de salidas digitales (SM 1222 ,16 DO relé) .....	20
2.2.5.	Interface Hombre Máquina (HMI TP1500 Basic color PN). .....	21
2.2.6.	Memory card 4MB .....	23
2.3.	CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA.....	24
2.3.1.	Bloques disponibles para configuración del programa .....	24
2.3.2.	Bloque OB de Organización .....	25
2.3.3.	Bloque FC para utilizar en variable.....	26
2.3.4.	Activación etapas de alarma.....	27
2.3.6.	Instrucción DataLogCreate .....	29
2.3.7.	Instrucción DataLogOpen.....	31
2.3.8.	Instrucción RD_LOC_T.....	33
2.3.9.	Instrucción T_CONV .....	33
2.3.10.	Instrucción DataLogWrite .....	34
2.3.11.	Bloque DB para almacenamiento de datos.....	35
2.3.12.	Pantalla principal del sistema .....	36
2.3.13.	Estados de equipos en SF6 monitoreados.....	37
2.3.14.	Tendencia de presiones en compartimientos en SF6 .....	37
2.3.15.	Comunicación industrial .....	38
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS.....		39
3.1.	COSTOS DEL PROYECTO.....	40
3.1.1.	Historiales de eventos.....	40
3.1.2.	Mercado eléctrico .....	41
3.1.3.	Filosofía de mantenimiento.....	41
3.2.	COSTOS DE EQUIPOS.....	42
3.3.	COSTOS DE INSUMOS Y MATERIALES.....	43
3.4.	COSTOS DE RECURSOS HUMANOS.....	43
3.4.1.	Ingeniero en control e instrumentación .....	44
3.4.2.	Supervisor.....	44
3.4.3.	Técnico Especialista .....	44
3.4.4.	Prevencionista de Riesgos.....	45
3.4.5.	Costo total de recursos humanos .....	45
3.5.	COSTOS DIRECTOS .....	46
3.6.	COSTOS INDIRECTOS.....	46
3.7.	UTILIDADES .....	47
3.8.	RESUMEN DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Placas de características transformadores de 167,5 MVA y 60MVA.
- Figura 1-2. Vista frontal de transformadores de poder de 167,5MVA y 60MVA.
- Figura 1-3. Vista lateral de transformadores de poder de 167,5MVA y 60MVA.
- Figura 1-4. Placa de característica interruptores de maquina FKG1N.
- Figura 1-5. Vista frontal de interruptores de maquina FKG1N.
- Figura 1-6. Presión absoluta y efectiva en recipientes cerrados.
- Figura 1-7. Tensión disruptiva en función de la presión absoluta.
- Figura 1-8. Presión absoluta – Temperatura del SF6 a masa volúmica constante.
- Figura 1-9. Presión – Temperatura a masa volúmica constante.
- Figura 2-1. PLC Siemens S7 1200 conectado a varios módulos de expansión.
- Figura 2-2. Módulo de entradas analógicas SM 1231.
- Figura 2-3. Módulo de entradas analógicas SB 1231.
- Figura 2-4. Módulo de salidas digitales SM 1222.
- Figura 2-5. Panel básico HMI KTP1500 color PN.
- Figura 2-6. Memory card a utilizar de 4 MB.
- Figura 2-7. Bloque de Organización.
- Figura 2-8. Función.
- Figura 2-9. Bloque de Función.
- Figura 2-10. Bloque de Datos.
- Figura 2-11. Bloques de programa propuesto.
- Figura 2-12. Segmento N°1, entrada analógica de Interruptores 52G.
- Figura 2-13. Segmento N°2, entrada analógica de transformadores de poder.
- Figura 2-14. Segmento N°3, registro de datos en compartimientos en los interruptores.
- Figura 2-15. Segmento N°4, registro de datos en compartimientos de transformadores.
- Figura 2-16. Ejemplo de escalamiento en variable de presión en interruptores.
- Figura 2-17. Ejemplo de activación y reconocimiento de alarmas.
- Figura 2-18. Ejemplo de instrucción DataLogCreate en IT52G.
- Figura 2-19. Ejemplo de instrucción DataLogOpen en IT52G.
- Figura 2-20. Ejemplo de instrucción RD\_LOC\_T Y T\_CONV.
- Figura 2-21. Ejemplo de instrucción DataLogWrite en IT52G.
- Figura 2-22. Ejemplo de instrucción CREATE\_DB con umbrales de alarma.
- Figura 2-23. Ejemplo de pantalla principal en estación de monitoreo gas.
- Figura 2-24. Ejemplo de pantalla estado actual de los equipos.
- Figura 2-25. Ejemplo de pantalla tendencia de presiones en compartimientos de gas.
- Figura 2-26. Conexión Interface Profinet con puerto RJ-45.

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1-1. Norma IEC de aceptación calidad del SF6.
- Tabla 1-2. Especificaciones del PLC Siemens S7 1200.
- Tabla 2-1. Diferentes modelos de CPU de la familia S7 1200.
- Tabla 2-2. Diferentes modelos de módulos de entradas analógicas SM 1231.
- Tabla 2-3. Datos técnicos de módulo SB1231.
- Tabla 2-4. Datos técnicos de módulo de salidas digitales SM 1222.
- Tabla 2-5. Datos técnicos paneles de primera generación de manejo y visualización (HMI).
- Tabla 2-6. Parámetros de la instrucción "DataLogCreate".
- Tabla 2-7. Parámetros de la instrucción "DataLogOpen".
- Tabla 2-8. Parámetros de la instrucción "RD\_LOC\_T".
- Tabla 2-9. Parámetros de la instrucción "T\_CONV".
- Tabla 2-10. Parámetros de la instrucción "DataLogWrite".
- Tabla 2-11. Parámetros de la instrucción "CREATE\_DB".
- Tabla 3-1. Historial de eventos ocurrido en interruptores FKG1N.
- Tabla 3-2. Historial de eventos ocurrido en transformadores de poder.
- Tabla 3-3. Costos de equipos.
- Tabla 3-4. Costos de insumos y materiales.
- Tabla 3-5. Costos por Ingeniero en Control e instrumentación.
- Tabla 3-6. Costos por supervisión del proyecto.
- Tabla 3-7. Costos por Técnico especialista.
- Tabla 3-8. Costos por prevencionista de riesgos.
- Tabla 3-9. Costos totales Recursos Humanos.
- Tabla 3-10. Costos directos.
- Tabla 3-11. Costos indirectos.
- Tabla 3-12. Utilidades.

## **SIGLAS Y SIMBOLOGIAS**

### **SIGLAS**

AC	: Alternate Current (Corriente Alterna)
ANSI	: American National Standard Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización)
atm	: Atmósfera
AWG	: American Wire Gauge (Medida de Cable Americana)
CLP	: Chilean Pesos (Pesos Chilenos)
CF <sub>4</sub>	: Tetrafluoruro de Carbono
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de Carbono
CPU	: Central Processing Unit (Unidad Central de Proceso)
CSV	: Comma Separated Values (Valores Separados por Comas)
DC	: Direct Current (Corriente Continua)
DCS	: Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)
GIS	: Gas Insulated Switchgear (Subestación Encapsulada en SF <sub>6</sub> )
HF	: Fluoruro de Hidrógeno
IEC	: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)
IHM	: Human Machine Interface (Interfaz Hombre Máquina)
IP	: Índice de protección
IPC	: Índice de Precios al Consumidor
IVA	: Impuesto de Valor Agregado
PLC	: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
PSI	: Pounds Force per-Square Inch (Libras por Pulgada Cuadrada)
Ppm	: Partes por Millón
SEC	: Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SIC	: Sistema Interconectado Central
SF <sub>6</sub>	: Hexafluoruro de Azufre
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)
SO <sub>2</sub>	: Dióxido de azufre
UF	: Unidad de Fomento
USD	: United States Dollar (Dólares Estado Unidenses)

## SIMBOLOGÍA

°C	: Grados Celsius
°K	: Grados Kelvin
A	: Ampere
bar	: unidad de presión, equivalente a un millón de barias
cal/g	: Caloría por Gramo
cc	: Centímetros Cúbicos
dB	: Decibel
ft	: Feet (pies)
GHz	: Giga-Hertz
HP	: Horse Power (Caballos de Fuerza)
hpa	: Hectopascal
KB	: Kilobyte
Kg	: Kilógramos
Kg/cm <sup>2</sup>	: Kilogramo Fuerza por Centímetro Cuadrado
Kj/kg	: Kilojulios por Kilogramo
Km	: Kilómetros
KV	: Kilo-Volts
KPa	: Kilo-Pascal
m	: Metros
mA	: Miliamperio
mbar	: Milibares
MB	: Megabyte
MVA	: Megavoltiamperio
MW	: Megavatios
m <sup>3</sup>	: Metros Cúbicos
mm	: Milímetros
Nm	: Newton-Metros
Ns/m <sup>3</sup>	: Newton-segundos/Metro cúbico
Pa	: Pascal
s	: Segundos
v	: Velocidad
V	: Volts
W	: Watts
μ	: Permeabilidad Magnética
μs	: Micro-segundos

## **INTRODUCCIÓN**

La central hidroeléctrica angostura cuenta con tres generadores sincrónicos (dos de 140 Mw y uno de 46 Mw) de turbinas Francis, con una potencia total instalada de 326 Mw, para su transmisión se utilizan tres transformadores elevadores Hyosung de 13,8 Kv a 220 Kv, dos de una potencia de 167,5 Mva y uno de 60Mva, estos en su lado de alta tensión utiliza como medio aislante el Hexafluoruro de azufre distribuido en nueve cámaras encapsuladas independientes, a una presión relativa de 600kpa.

Los dos generadores hidráulicos de 140Mw para sincronizar con SIC tienen un interruptor FKG1N marca Alstom Grid de tensión nominal 15Kv, una corriente nominal de servicio continua a 40C° de 9000 Amper y como medios de extinguidor de arco eléctrico producido por la apertura y el cierre utilizan el hexafluoruro de azufre a una presión relativa de 750kpa.

Los equipos primarios en Hexafluoruro de azufre mencionados deben ser monitoreados de manera continua para mitigar cualquier filtración de gas que se produzca, de esta forma poder asegurar su correcto funcionamiento y anticipar una eventual falla. En la actualidad han ocurrido eventos de desconexiones erróneas en los transformadores de poder, por una supuesta baja presión en uno de sus compartimientos, ocasionando la disminución en el índice de confiabilidad en la unidad generadora. En los interruptores FKG1N las filtraciones de gas han sido diminutas y esto no permite detectarla con el manómetro local instalado, puesto que no hay una tendencia de la variable presión proyectada en el tiempo por cada compartimiento, estos eventos han producido intervenciones de curso forzoso que afectan a la disminución del índice de disponibilidad en la unidad de generadora correspondiente.

## **OBJETIVO GENERAL**

Mantener en constante monitoreo la variable presión del gas Sf6 en las cámaras encapsuladas de los transformadores de poder e interruptores de máquina, para minimizar el impacto ambiental que tendrá en la atmosfera, disminuir el costo económico por la disminución de los índices de confiabilidad y disponibilidad de las unidades generadoras.

## **OBJETIVO ESPECÍFICOS**

Dar seguimiento a la variable presión a través de una señal analógica en cada compartimiento de los transformadores y tener mediciones localizadas por polos en los interruptores FKG1N. Centralizar todos los datos de presión en una sola estación para mantener un historial con las tasas de fuga, velocidad de fuga y tendencias de su disminución o aumento proyectada en el tiempo.

Gracias a los antecedentes que se recopilaran se podrá detectar de forma anticipada cualquier falla o salida no programada que ponga en riesgo el funcionamiento de las unidades generadoras.

## **CAPÍTULO 1: EQUIPOS PRIMARIOS DE POTENCIA EN SF6**

## 1.1. EQUIPOS ELÉCTRICOS EN SF6 A MONITORIASR

### 1.1.1. Descripción de los transformadores de poder

Los transformadores con aislamiento en gas SF6 en los Bushing de alta tensión, se instalan para ser conectados en subestaciones GIS (Gas Insulated Switchgear), gracias a la compacidad se reducen espacios y pueden ser montados en instalaciones subterráneas así se reducen costos del terreno y de ingeniería civil, además los controles y ensayos son hechos en la misma planta.

Los transformadores instalados, en cada una de sus fases se encuentra subdividido en tres compartimientos (Bushing, para rayo y mufa) de esta forma es más fácil localizar las posibles fugas de gas, limitando las consecuencias de un defecto interno.

Evidentemente cada compartimiento está equipado con dispositivos indispensables como: válvulas de llenado, densímetros Sf6, membrana de seguridad, absorbedor de humedad, entre otros equipos.

En la Central Angostura hay 3 transformadores de poder correspondientes a las 3 Unidades:

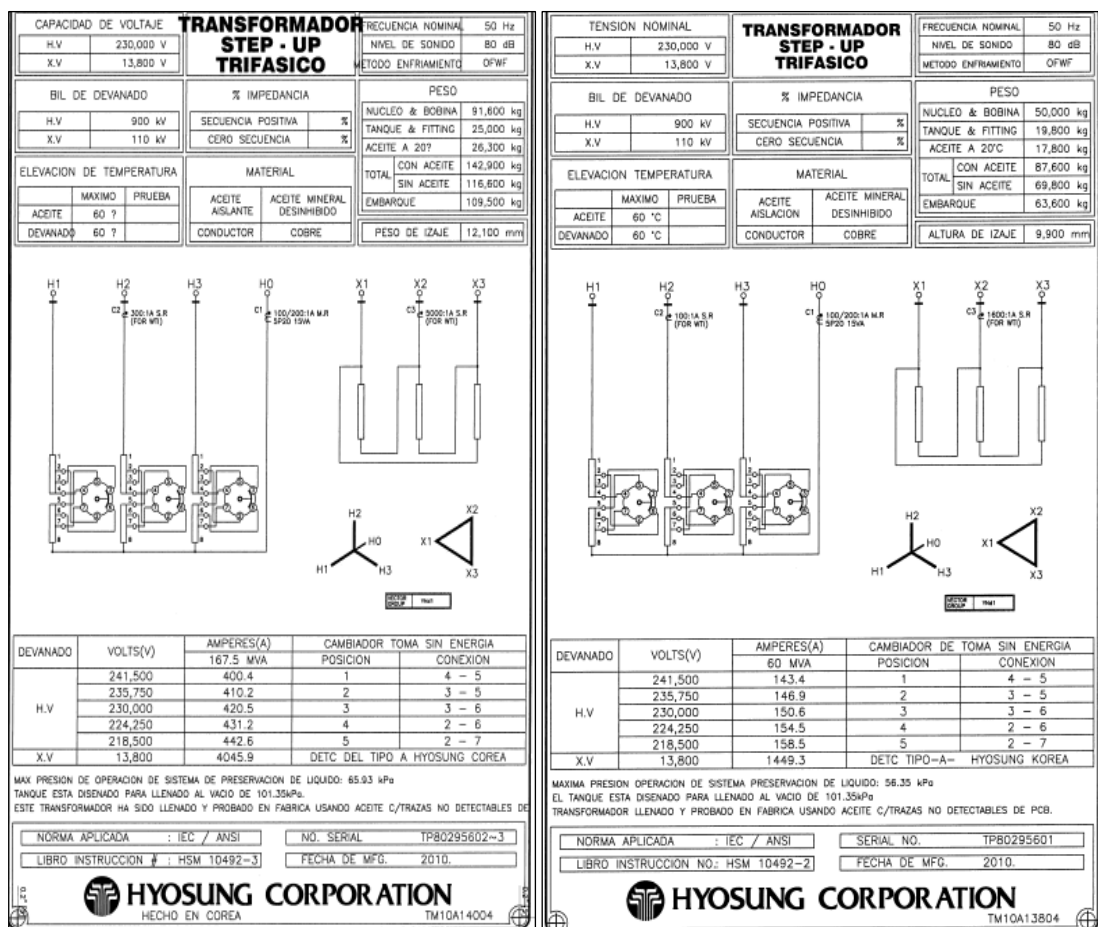


Figura 1-1. Placas de características transformadores de 167,5 MVA y 60MVA.

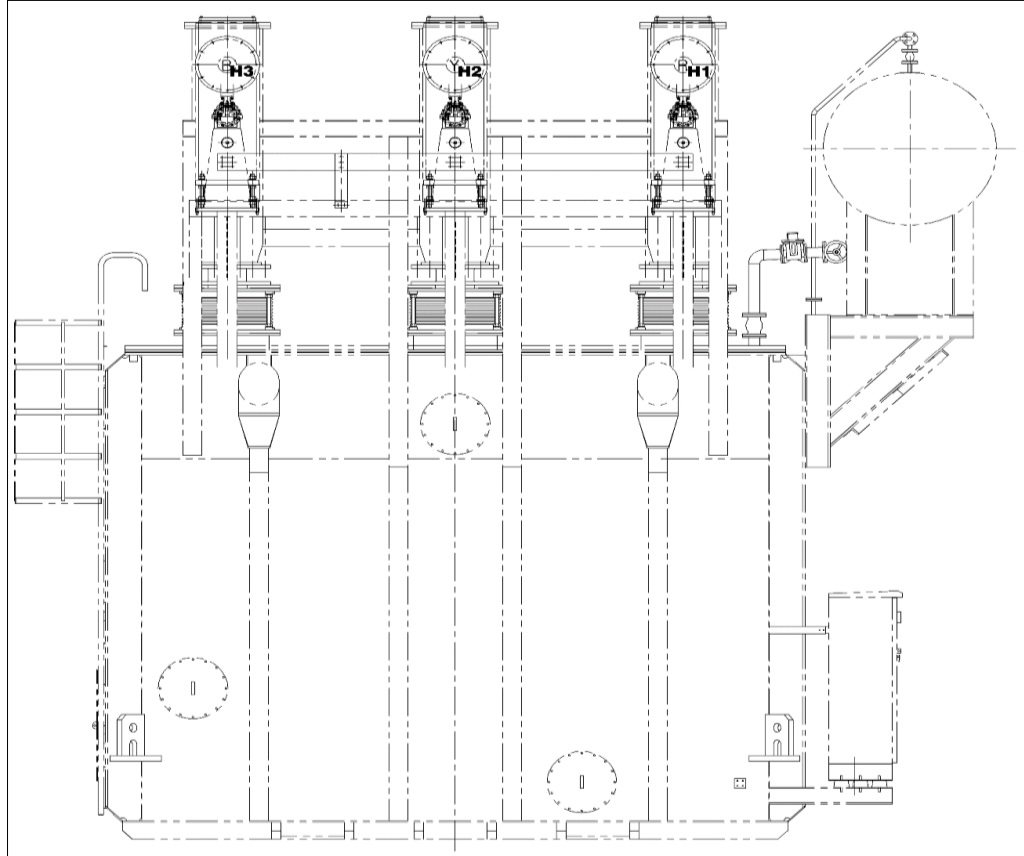


Figura 1-2. Vista frontal de transformadores de poder de 167,5MVA y 60MVA.

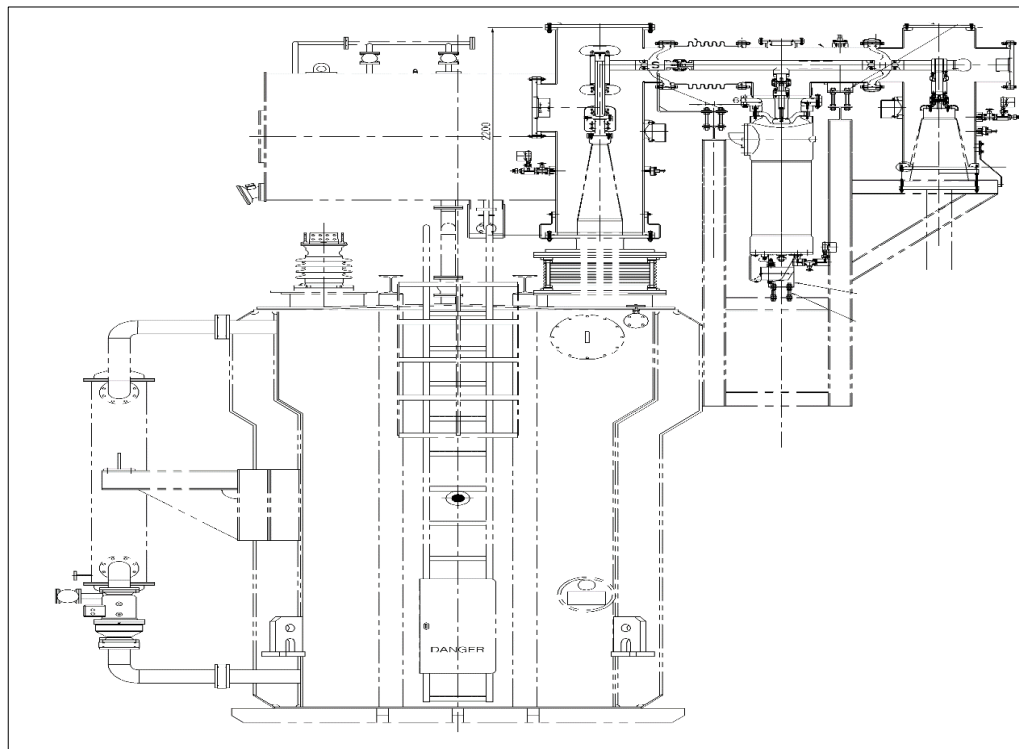


Figura 1-3. Vista lateral de transformadores de poder de 167,5MVA y 60MVA.

### 1.1.2. Descripción de interruptores de generadores FKG1N

Los interruptores de generadores están destinados a proteger y simplificar las operaciones en la central.

Los interruptores FKG1N se compone de tres polos con funda accionados por un mando tripolar de resorte, por una orden eléctrica o manual de abertura, la energía acumulada en el resorte, situado en el órgano de maniobras, se libera.

<b>INTERRUPTOR DEL GENERADOR FKG1N</b>	
TENSION DE DISEÑO	25.3 kV
TENSION NOMINAL	15 kV
FRECUENCIA NOMINAL	50 Hz
CORRIENTE NOMINAL EN SERVICIO CONTINUO	A 40°C 9 kA
NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO (BIL)	PICO 125 kV
SECUENCIA ASIGNADA EN CORTOCIRCUITO	CO-30min-CO
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO NOMINAL, SIMETRICA	100 kA
COMPONENTE CONTINUA DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	65 %
MAXIMA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO, ASIMETRICA	300 kA
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE CORTA DURACION	100 kA 3 s
CORRIENTE ASIGNADA FUERA DE SINCRONISMO	50 kA
TIEMPO DE DURACION DE CORTE	70 ms
PRESION ABSOLUTA DEL GAS SF <sub>6</sub> DEL INTERRUPTOR	850 kPa
(Presion relativa a 20°C, 1013 hPa)	750 kPa
PESO DEL GAS SF <sub>6</sub>	33 kg
PESO DEL INTERRUPTOR DE GENERADOR	5 470 kg
NUMERO DEL MANUAL DE INSTALACION	D5 402
NUMERO DE SERIE DEL FABRICANTE	117027 0100 XX
AÑO DE FABRICACION	2011

ALSTOM GRID  
Appareillage Haute Tension  
Villurbanne / France

Figura 1-4. Placa de característica interruptores de maquina FKG1N.

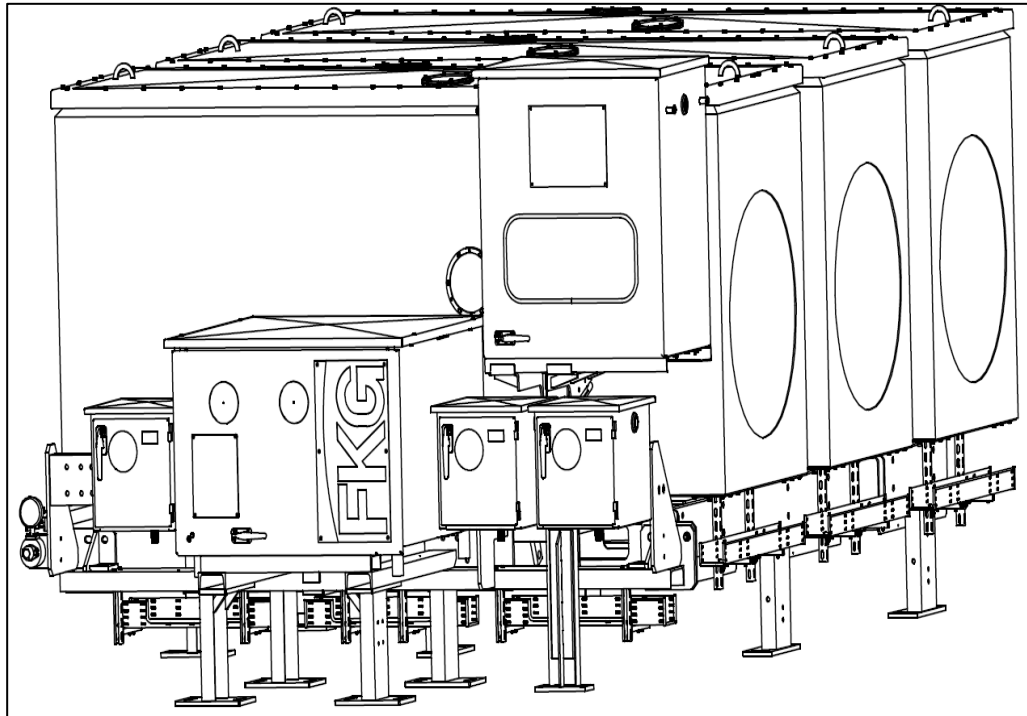


Figura 1-5. Vista frontal de interruptores de maquina FKG1N.

## 1.2. NORMAS AMBIENTALES RELACIONADAS A GAS SF6

### 1.2.1. Aspecto medioambiental

El SF<sub>6</sub> posee un potencial de calentamiento ambiental global de aproximadamente 22.200 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, la duración de permanencia en la atmósfera es de aproximadamente 3200 años.

En base a la preocupación ambiental, la comunidad internacional y especialmente la industria eléctrica, ha realizado importantes esfuerzos para controlar el impacto de este producto en el medio ambiente a lo largo de todas las etapas de su vida útil, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto.

En consonancia con estos esfuerzos, se ha prestado especial atención a los procesos de regeneración del SF<sub>6</sub> utilizado en equipos eléctricos mediante la aplicación de procedimientos que permiten la reutilización del gas, durante el mantenimiento o reparación del equipo o cuando llega al final de su vida útil. Esto incluye la especificación de límites aceptables de niveles de impurezas, de acuerdo con la experiencia adquirida por los usuarios, fabricantes y empresas eléctricas.

### 1.2.2. Normas Internacionales de gestión

**Protocolo de kyoto** - De acuerdo con el protocolo Kyoto el gas SF<sub>6</sub> pertenece a los seis gases de efecto invernadero sometidos a la supervisión. Para evitar emisiones se debe usar en un circuito cerrado. 194 países miembros han ratificado el protocolo Kyoto hasta 2020 y se han comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El acuerdo de París ha aprobado la reducción del gas de efecto invernadero en virtud de la Convención Marco las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático a partir del 2020. 195 países miembros han negociado y adaptado este Acuerdo en la 21

conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático el 12 de diciembre de 2015 en París.

**Norma IEC 60480** – Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) taken from electrical equipment and specification for its re-use (Líneas Directrices para el control y tratamiento de Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) extraído de equipos eléctricos y especificaciones para su reutilización).

Esta directiva recomienda la recuperación del gas SF<sub>6</sub> hasta un vacío final de < 20 mbar.

**Norma IEC 62271-4** - “High voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications” (Aparatos de alta tensión y de control. Parte 1: Especificaciones comunes.)

Informe Técnico IEC/TR 62271-303 (Julio 2008) – High-Voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) (Utilización y manipulación de Hexafluoruro de azufre en alta tensión).

**Norma IEC 60376** - Especificaciones para Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) de calidad técnica para uso en equipos eléctricos.

	Especificación IEC 60376 para gas SF <sub>6</sub> nuevo	Especificación IEC 60480 para gas SF <sub>6</sub> usado	Especificación IEC 62271-4 para gas SF <sub>6</sub> reutilizado
Aire / CF <sub>4</sub>	Máx. 1 vol.-%	< 3 vol.-%	< 30 vol-% aire < 5 vol-% CF <sub>4</sub>
Humedad (Punto de rocío)	-36°C* a p <sub>a</sub> 1 bar < 25 ppm (masa)	-23 °C* a < 1 bar p <sub>e</sub> (media tensión) -36 °C* a > 1 bar p <sub>e</sub> (alta tensión)	< 1,000 ppm (masa) ca. +4.5 °C a p <sub>a</sub> 1 bar
Aceite	< 10 ppm (masa)	< 10 ppm (masa)	< 1,000 ppm (masa)
HF, SO <sub>2</sub>	< 1 ppm <sub>v</sub>	< 12 ppm <sub>v</sub> SO <sub>2</sub> < 50 ppm <sub>v</sub> en total	> 12 ppm <sub>v</sub> SO <sub>2</sub> > 50 ppm <sub>v</sub> en total
* medurado a presión ambiente			

Tabla 1-1. Norma IEC de aceptación calidad del SF<sub>6</sub>.

### 1.2.3. Normas nacionales de gestión

**Decreto 349** – Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.

Se establece que solo puede existir una tasa de fuga inferior al 1% al año del total del gas en los equipos instalados.

Incluye los lineamientos principales a efectos de minimizar las pérdidas de este gas a la atmósfera, así como los principales aspectos para tener en cuenta en la disposición final de los equipos con este gas pertenecientes a la empresa.

Se debe tener registro de cantidades de SF<sub>6</sub> utilizado y estimación de fugas al medio ambiente.

### 1.3. DEFINICIÓN DE TEMPERATURA, PRESIONES Y DENSIDADES

#### 1.3.1. Definición

Como en todo proceso, es fundamental controlar y mantener estable algunas variables físicas, este caso la variable principal que se debe monitorear es la densidad.

La relación entre la masa y el volumen de una sustancia se refiere como densidad y se define por la fórmula; densidad igual a la masa dividida entre el volumen (densidad=masa/volumen). Puesto de otra manera, la densidad nos dice cuanto espacio es ocupado por una cantidad de materia dada. Tanto la temperatura como la presión afectan el volumen de la sustancia y, en consecuencia, su densidad. De esta manera, la densidad de una sustancia está dada por lo general en relación con la temperatura y presión específicas.

#### 1.3.2. Temperatura

Mientras que la temperatura de una sustancia determina de manera fundamental si será un sólido, líquido o gaseoso, determina también el volumen de los gases. Asumiendo que la presión y la cantidad del gas son constantes, un incremento en la temperatura del gas resultará en un correspondiente incremento de volumen. La relación entre la temperatura y el volumen se llama ley de Charles.

Al observar la relación entre el volumen y la temperatura de un gas, debería esperarse también que haya una relación entre la temperatura y la densidad del gas debido a que la densidad se deriva, en parte, del volumen. En términos de la teoría cinética, conforme la energía de las partículas aumenta (aumento de temperatura) se dispersan alejándose entre sí (aumento de volumen). De la misma manera, si la temperatura del gas cae, su densidad lo hará también.

Es estable en condiciones normales, y al exponerlo a elevadas temperaturas, se descompone dando lugar a productos tóxicos los cuales pueden ser corrosivos en presencia de humedad.

Un arco eléctrico desarrolla temperaturas elevadas que pueden alcanzar 15.000C°.

A esas temperaturas el SF6 sufre tensiones tales que se produce las apariciones de productos de descomposición ligados también a la presencia de los diferentes materiales utilizados en las cámaras de corte:

- El fluoruro de sulfurilo  $SO_2F_2$
- El tetrafluoruro de carbono  $CF_4$
- El tetrafluoruro de silicio  $SiF_4$
- El anhídrido sulfuroso  $SO_2$
- El Fluoruro de tionilo  $SOF_2$

#### **Propiedades físicas.**

Temperatura crítica: 45,5 ° C

Punto de sublimación a 1013 mbar: Temperatura: 209,4° K (-63,8 °C)

Grado estabilidad térmica: hasta 800 ° C

Calor latente de vaporización: 38,6 cal/g

Punto triple: Temperatura: 222,4 K (-50,8 °C)

Calor latente fusión: 34,4 kJ/kg

Estado gaseoso 1 bar y 15 °C: Densidad relativa al aire: 5,11.

### 1.3.3. Presión de gas en recipiente cerrado

La presión de un gas se origina por el choque de sus moléculas con las paredes del recipiente que lo contiene. Cuantas más moléculas choquen mayor será la presión y cuanto más rápido se muevan (que es lo mismo que estar a mayor temperatura), mayor será la presión.

Generalmente se la mide como una fuerza por unidad de área.

Puede expresarse en unidades tales como Kg/cm<sup>2</sup>; Psi (libras por pulgada cuadrada), bar, atmósferas, etc. si bien está normalizada en Pascal (Pa).

La presión puede medirse en valores absolutos o efectivos (antigua denominación presión relativa).

#### **Propiedades físicas.**

Presión vapor (20 C°): 22,77 atmósferas

Presión crítica: 37,1 atmósferas

Presión: 37,6 bar

Presión: 2,2 bar

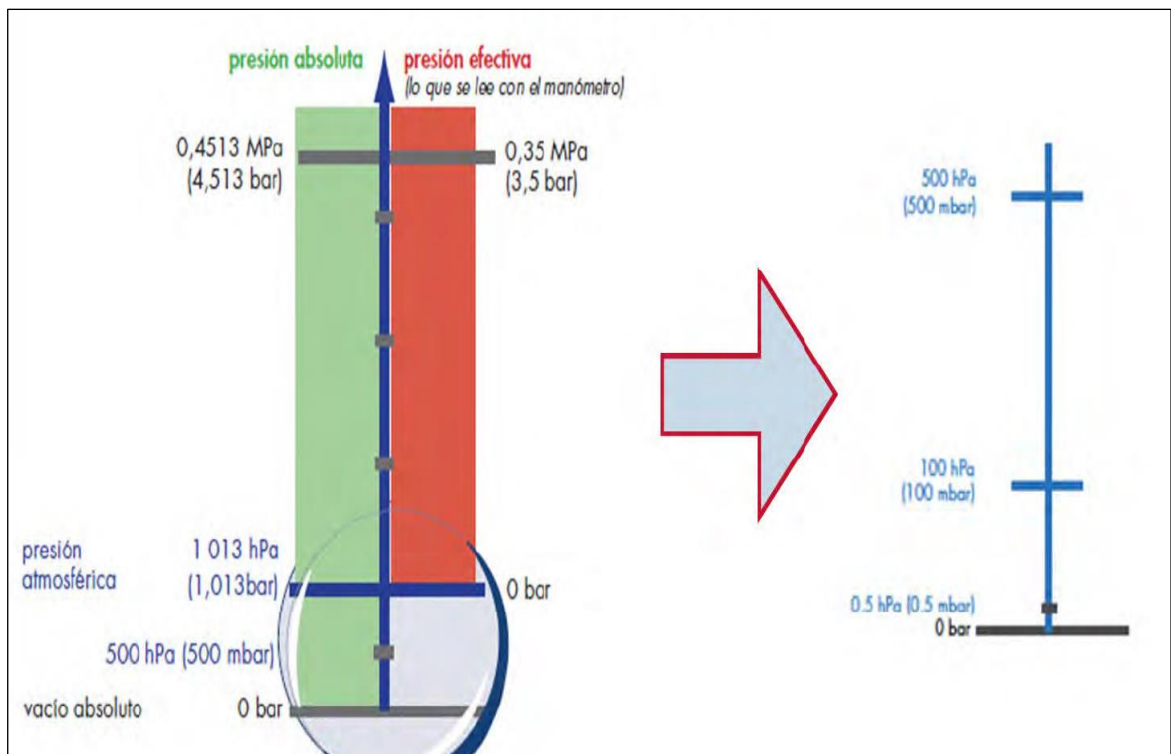


Figura 1-6. Presión absoluta y efectiva en recipientes cerrados.

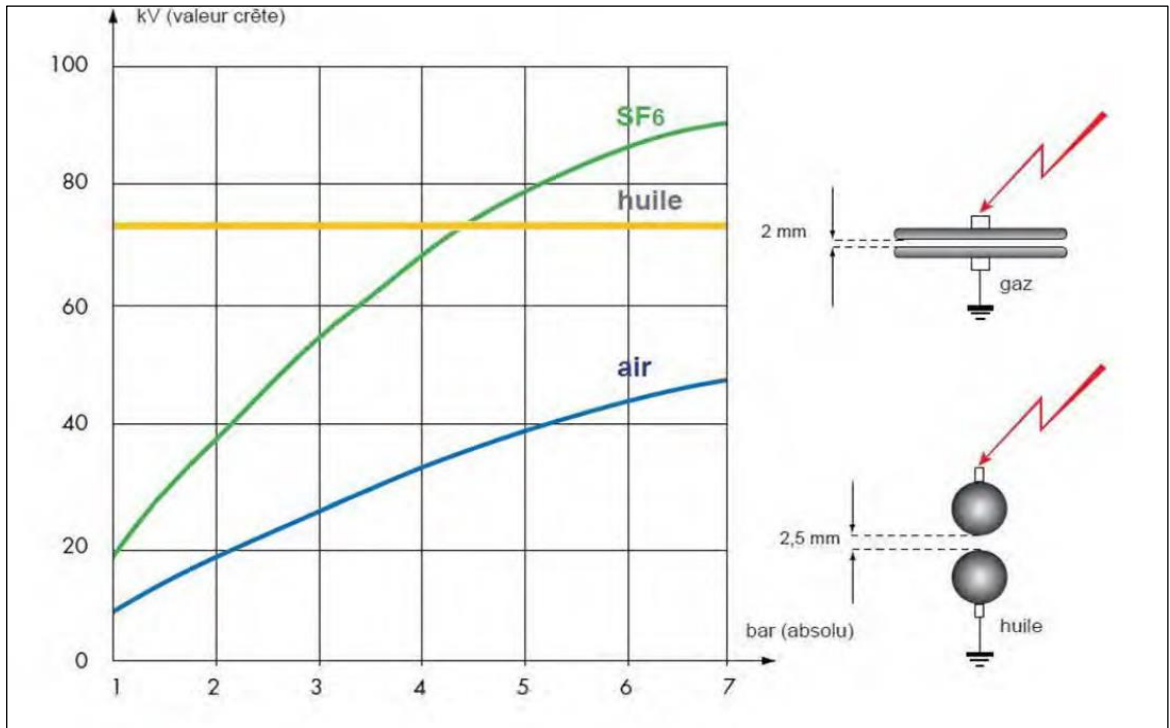


Figura 1-7. Tensión disruptiva en función de la presión absoluta.

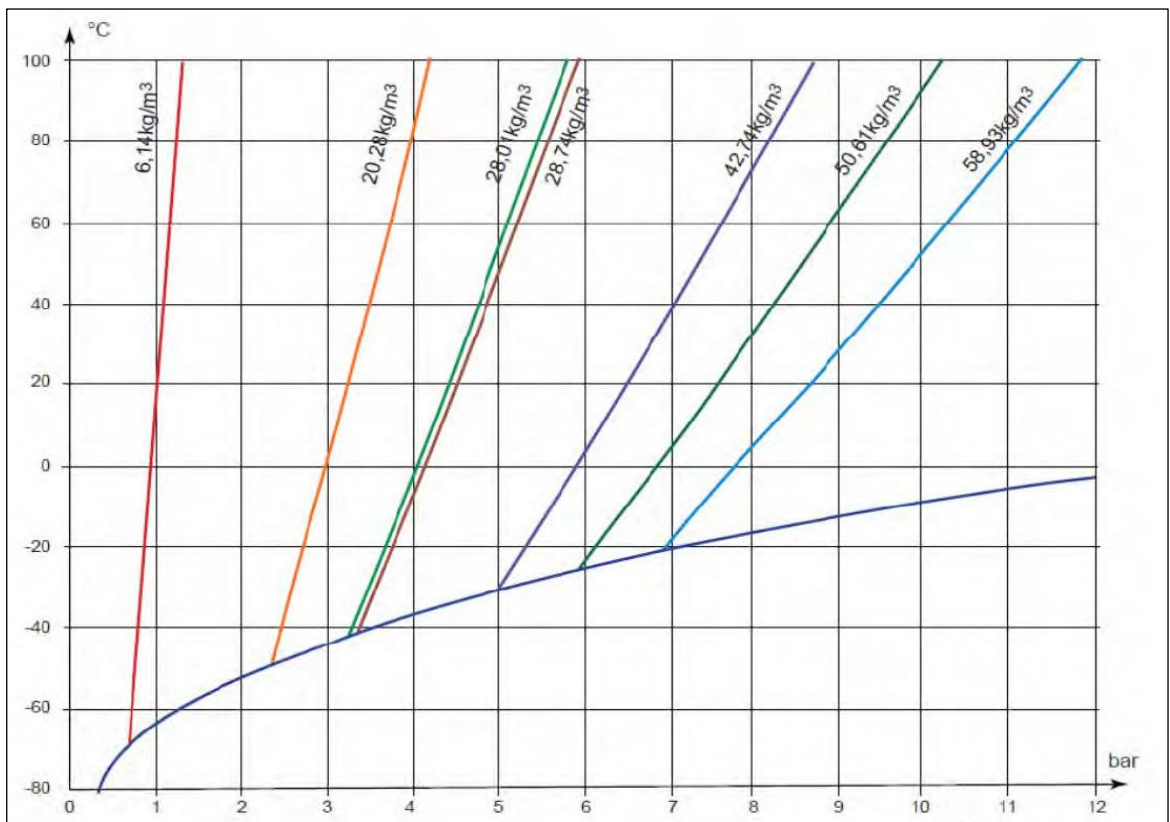


Figura 1-8. Presión absoluta – Temperatura del SF6 a masa volúmica constante.

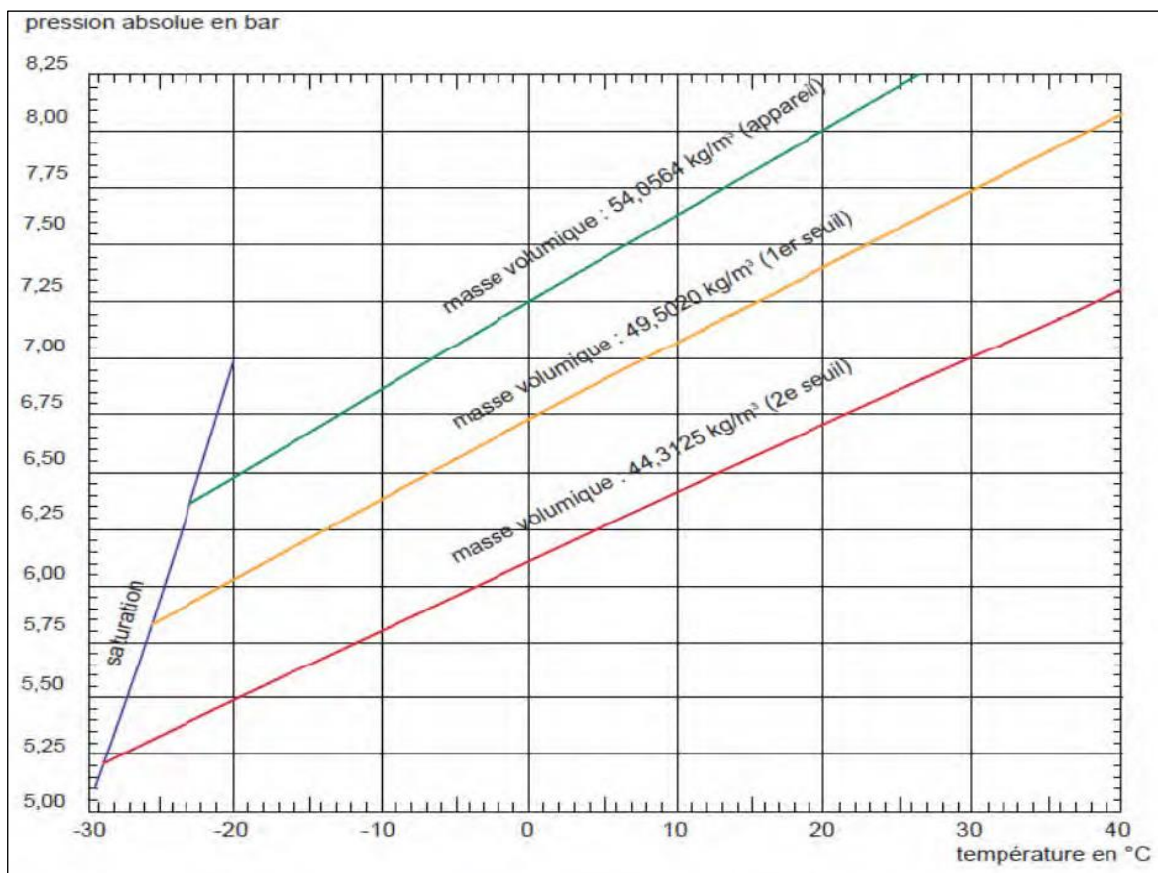


Figura 1-9. Presión – Temperatura a masa volúmica constante.

### 1.3.4. Densidad del gas hexafluoruro de azufre

La densidad es una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa que hay en determinado volumen de una sustancia, es una de las propiedades físicas de la materia, y puede observarse en sus distintos estados: sólido, líquido y gaseoso.

Es decir, la densidad se puede calcular conociendo la presión (P, en atm), la masa molecular del gas (M, g/mol), la constante de los gases ideales (R, atm·L/K·mol) y la temperatura (en K). Esta fórmula implica a unas determinadas condiciones de presión y temperatura, la densidad de un gas depende únicamente de su masa molecular, siendo ambas magnitudes directamente proporcionales. De este modo, los gases con masas moleculares menores que la media ponderada del aire serán menos densos que éste, y los gases con masas moleculares mayores serán más densos.

Considerando un gas pesado, que será por tanto más denso que el aire, como el hexafluoruro de azufre (SF6), y cuya Molécula de gas SF6 está constituido de flúor y azufre – seis átomos de flúor y un átomo de azufre el peso molecular es 146,05 g/mol, su densidad será muchísimo mayor que el aire:

$$Densidad = \frac{(P \cdot M)}{(R \cdot T)} ; \quad Densidad = \frac{(1 \cdot 146,05)}{(0,082 \cdot 273,15)} = 6,52 \text{ g/l}$$

#### 1.3.4.1. Densidad del gas hexafluoruro de azufre en distintos estados

- 6,14 g/dm<sup>3</sup> a presión atmosférica y a 20C°
- 28,5 g/dm<sup>3</sup> a presión relativa de 3.5 bar y a 20C°
- 53,2 g/dm<sup>3</sup> a presión relativa de 7 bar y a 20C°

- 1,370 g/dm<sup>3</sup> en fase líquida a 20C°

#### 1.4. **SISTEMAS DE CONTROL.**

##### 1.4.1. Interfaz Hombre Maquina (IHM)

Es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina de modo de poder ver el proceso e interactuar con él. Registrando en tiempo real e histórico de datos y manejo de alarmas.

##### 1.4.2. Sistema de ingeniería (SIMATIC WinCC TIA Portal V14)

SIMATIC WinCC es de total integración automatizada es ingeniería integrada que ofrece un entorno para programar y configurar soluciones de control, visualización y accionamiento.

WinCC en el TIA Portal es el software para todas las aplicaciones HMI desde la más simple con básico panel hasta soluciones SCADA en sistemas multiusuario basadas en PC.

##### 1.4.3. Controlador PLC (controlador modular SIMATIC S7-1200 CPU 1214C)

El autómatas a utilizar para el control y monitoreo de la estación es un modelo de PLC de Siemens, específicamente el SIMATIC S7-1200 CPU 1214C. Es del tipo modular compacto para soluciones de gama baja de automatización discreta, de diseño escalable y flexible para resolver y diagnosticar tareas.

La finalidad principal del PLC S7-1200 es monitorear los cambios de presión en los compartimientos en SF6 y activar las salidas digitales de acuerdo con la lógica de control programada, además registrará una lectura diaria por los posibles cambios de estados en los equipos.

Sus características técnicas más importantes son:

Fabricante	Siemens
Módulo central	CPU 1214C AC/DC/relé
Tensión nominal de alimentación	230 V AC
Tensión nominal de carga	24 V DC
Consumo	nominal 150 mA, máximo 150 mA
Máx. intensidad al conectar	20 A
Pérdidas típ.	14 W
Número entradas digitales	14
Número entradas analógicas	2
Número de salidas digitales	10 relé

Tabla 1-2. Especificaciones del PLC Siemens S7 1200.

## **1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.5.1. Transformadores de poder**

Los transformadores cuentan con un relé maestro 86U, es el dispositivo auxiliar de reposición manual, que es accionado por los relés de protección o los controladores detectores de falla, al presentarse condiciones anormales.

Los niveles de presión de las distintas cámaras cuentan con dos etapas: la etapa N°1 es de alarma (esta se encuentra ajustada a los 450 KPa) y la etapa N°2 (esta se encuentra ajustada a los 400 KPa) que activa una entrada del controlador de falla y este a través de una salida energiza al relé maestro 86U, desconectando el transformador del SIC.

Desde la puesta en servicio de los transformadores, el sistema presentó problemas, producto de vibraciones o cambios de potencia en la regulación de frecuencia. Se comenzó a activar la etapa N°2, sin pasar previamente por la etapa N°1 de alarma, ocasionando la desconexión del transformador, estos eventos se repitieron en los tres transformadores en reiteradas oportunidades, ocasionando la disminución del índice de confiabilidad de la central.

### **1.5.2. Interruptores FKG1N**

Los Interruptores FKG1N, trabajan a una presión relativa nominal de 750 KPa, variando según la carga que tome el generador. Este equipo primario al igual que los transformadores cuenta con dos niveles de alarma, la etapa N°1 a los 643 KPa para alertar la disminución del gas y etapa N°2 a los 613 KPa, en esta última el interruptor se bloquea, no permitiría maniobras de cierre o apertura, si este encuentra cerrado al momento de alcanzar la segunda etapa, se realiza una orden de apertura del interruptor B105-CB en la subestación que se encuentra aguas arriba.

Durante los cinco años que los FKG1N se ha encontrado en servicio se han realizado cuatro rellenos de gas en los interruptores, para su realización se crean solicitudes de desconexión por curso forzoso así poder mantener los generadores disponibles, esto se realiza sucesivamente cada vez que se alcanza la etapa N°1, hasta poder programar en la mantención mayor la reparación de la fuga.

### **1.5.3. Desventajas del sistema instalado**

Posibles pérdidas económicas en caso de desconexión por falla con apertura de compuertas

Pérdidas de potenciales clientes por bajos índices de confiabilidad

Costos no presupuestados por reparación de fugas

No existe historial de mediciones de presión en el sistema.

Mediciones en interruptor no son localizadas por cámara.

Los niveles de alarma se realizan a través de contactos discretos no por una señal analógica.

## 1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO A IMPLEMENTAR

Para lograr minimizar las salidas no programadas de los transformadores de potencia y de los generadores, por las bajas presiones en el Hexafluoruro de azufre. Se propone la instalación de un controlador SIMATIC S7-1200 con la ejecución de un programa con los niveles de alarma y disparos para la desconexión sea a través del escalamiento de la señal de 4 a 20 mA de los transmisores densidad Wika, sin utilizar contactos discretos, disminuyendo la probabilidad desconexiones erróneas producidas por las vibraciones y cambios repentinos de carga eléctrica inyectada al sistema.

La adquisición de los datos se realizará con la instrucción Data Log y almacenados en la memoria card 4 MB del controlador, registrando una lectura por día en las 33 cámaras en SF<sub>6</sub> durante un mes, la forma de acceder a los archivos registrados será a través de un servidor web o en la misma estación de monitoreo donde se encontrará la interfaz hombre máquina.

### 1.6.1. Ventajas del sistema propuesto

Disminución en desconexiones erróneas producidas por vibraciones.

Mediciones localizadas por cada compartimiento de SF<sub>6</sub> en los interruptores, con la finalidad de identificar el polo donde está la fuga de esta forma no intervenir el interruptor completo.

Historial y tendencias de la disminución en la variable presión para realizar solicitudes desconexión programada o planificar la reparación en una mantención mayor en los mejores casos.

Controlar las emisiones de gas liberado en la atmosfera, evitando posibles sanciones económicas por ser el Sf<sub>6</sub> un gas de efecto invernadero.

## **CAPÍTULO 2: MEDICIONES DE VARIABLES EN SF6**

## **2.1. NIVELES DE FUNCIONAMIENTO**

### **2.1.1. Supervisión del sistema**

El sistema de supervisión a implementar activa las salidas digitales dependiendo de las dos etapas de las señales analógicas programadas en el PLC, las salidas digitales no realizan órdenes directas a los actuadores si no a través del controlador B&R donde se procesan todas las posibles fallas que tengan relación al generador, este sistema es la unidad de control centralizado donde toda orden de desconexión a las protecciones del transformador es ejecutada por esta unidad.

Los niveles de supervisión del sistema serán los siguientes:

### **2.1.2. Nivel 0 Local**

El nivel local de supervisión es donde se encontrará la pantalla HMI y se podrá visualizar cada compartimiento con el valor de presión actual. En este nivel es solo de visualización y de toma de conocimiento de alarma entregando una fecha estimada cuando alcance la segunda etapa si existe una fuga de gas.

### **2.1.3. Nivel 1 Sala de operaciones**

La unidad de control centralizado donde se encuentra el PLC B&R es donde se maneja todo el tratamiento de entrada, salida lógico y análogo del generador, este es el encargado de reportar al DCS de la central, donde el operador de turno observara la ocurrencia de eventos de etapa N°1 o etapa N°2 en el historial de eventos reportados por el DCS en la sala de operaciones.

### **2.1.4. Nivel 3 Servidor mantenimiento**

El nivel mantenedor está pensado para realizar la descarga de los registros adquiridos por la estación, a través de un servidor web integrado para posterior mente hacer los análisis del estado de las cámaras. La adquisición se realizará usando las instrucciones Data Log, registrando una lectura por día de las 33 cámaras. Las variables adquiridas serán almacenadas por un periodo de un mes, antes de sobrescribir un nuevo registro en el dato más antiguo.

## **2.2. AUTOMATISMO DE MONITOREO Y CONTROL**

### **2.2.1. Elección del PLC**

Se selecciona un PLC por la necesidad de un sistema que garantice la detección de las bajas presiones del SF<sub>6</sub>, donde la desconexión de los transformadores se ha instantánea producto de una falla real, además de requerir una estación centralizada de todos los equipos que utilizan este gas, en el cual se pueda visualizar las distintas etapas de alarma y comportamientos del gas en la variada generación de energía eléctrica que trabajan las unidades así poder obtener una tendencia en la disminución y planificar mantenimientos anticipados.

### 2.2.2. Características técnicas de PLC seleccionado.

Los elementos condicionantes para la elección del modelo de autómatas son el tipo de estructura, el número de entradas y salidas posibles, el tiempo de ejecución de las instrucciones, la memoria disponible, el tipo de unidades especiales que se le pueden acoplar y las redes industriales de comunicación disponibles.

Todos estos criterios de selección en este proyecto se han considerado en este orden de prioridad:

#### Unidades de acoplamiento

Se han considerado las entradas analógicas y salidas necesarias para el desarrollo de la aplicación a la hora de escoger la CPU de la familia 1200. Dado a esto se ha escogido la CPU 1214C por ser la que dispone de mayor número de módulos de expansión SM que son los requeridos para la implementación del proyecto, además de las entradas y salidas incorporadas.

#### Redes industriales de comunicación

Se plantea la necesidad de conectar el PLC a una red bajo protocolo TCP/IP para poder obtener las tendencias de presión en los distintos compartimientos desde el servidor mantenimiento predictivo conectados a dicha red. Es este el motivo que nos lleva a la elección del modelo del PLC a utilizar, el Siemens S7 1200. Este dispositivo dispone de la interfaz PROFINET integrada que garantiza una simple comunicación para tareas de programación, conexión a HMI y comunicación entre CPU. Para la comunicación por red entre varios dispositivos se dispone de un switch Ethernet.

#### Tipo de estructura

Finalmente se decide utilizar un PLC de estructura compacta dada la simplificación en su montaje ya que este tipo de PLC integran en un solo bloque todos sus elementos: fuente de alimentación, CPU, puntos de entradas/salidas.



Figura 2-1. PLC Siemens S7 1200 conectado a varios módulos de expansión.

SIMATIC S7-1200	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C	CPU 1212FC	CPU 1214FC	CPU 1215FC
Tipo de CPU	DC/DC/DC, DC/DC/relé, AC/DC/relé				DC/DC/DC	DC/DC/DC, DC/DC/relé		
Interfaces Ethernet	1	1	1	2	2	1	1	2
Memoria de trabajo	50 kbytes	75 kbytes	100 kbytes	125 kbytes	150 kbytes	100 kbytes	125 kbytes	150 kbytes
E/S digitales integradas	6/4	8/6	14/10	14/10	14 <sup>1)</sup> /10	6/4	8/6	14/10
E/S analógicas integradas	2/0	2/0	2/0	2/2	2/2	2/0	2/0	2/0
Número de módulos de señal	–	2	8	8	8	2	2	8
Número de módulos de comunicación	3	3	3	3	3	3	3	3
Anchura	90 mm	90 mm	110 mm	130 mm	150 mm	90 mm	90 mm	110 mm
Condiciones ambientales	-20 °C ...+60°C (montaje horizontal)							

<sup>1)</sup> La CPU 1217 dispone además de E/S de driver de línea para el control de motores paso a paso con una frecuencia máxima de 1 MHz.

Tabla 2-1. Diferentes modelos de CPU de la familia S7 1200.

### 2.2.3. Módulos de entradas analógicas (SM1231 AI8 y SB1231)

El diseño de la estación de monitoreo de SF6 consta de 33 entradas analógicas de 4 a 20mA, la CPU 1214C cuenta con 2 entradas de tensión de 0 a 10V las cuales no podrán ser utilizadas, por lo tanto, se deberá utilizar cuatro módulos de ampliación con entradas de corriente 4 a 20mA.

Los módulos seleccionados para entradas análogas son los SM1231 AI8 (referencia siemens 6ES7231-4HF32-OXBO), este módulo es el que contiene mayor número de entradas analógicas, con cuatro de estos módulos se alcanzan un total de 32, para la entrada faltante se utiliza un módulo periférico SB1231 este cuenta con una entrada de corriente de 0 a 20 mA y es acoplado en la parte frontal de la CPU.



Figura 2-2. Módulo de entradas analógicas SM 1231.

Referencia	6ES7231-4HD32-0XB0 ENTRADA ANALOG. SM 1231, 4AI	6ES7231-4HF32-0XB0 ENTRADA ANALOG. SM 1231, 8AI	6ES7231-5ND32-0XB0 ENTRADA ANALOG. SM 1231, 4AI, 16BITS
<b>Información general</b>			
Designación del tipo de producto	SM 1231 AI 4 x 13 bit	SM 1231 AI 8 x 13 bits	SM 1231 AI 4 x 16 bits
<b>Tensión de alimentación</b>			
Valor nominal (DC)			
• 24 V DC	Sí	Sí	Sí
<b>Intensidad de entrada</b>			
Consumo, típ.	45 mA	45 mA	65 mA
de bus de fondo 5 V DC, típ.	80 mA	90 mA	80 mA
<b>Pérdidas</b>			
Pérdidas, típ.	1,5 W	1,5 W	1,8 W
<b>Entradas analógicas</b>			
Nº de entradas analógicas	4; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión	8; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión	4; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	± 35 V	± 35 V	± 15 V
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	35 V	35 V	± 35 V
Intensidad de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	40 mA	40 mA	40 mA; limitada por la resistencia de entrada de 1 Mohmios
Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción), máx.	40 mA	40 mA	40 mA
Tiempo de ciclo (todos los canales), máx.	625 µs	625 µs	100 µs
<b>Rangos de entrada</b>			
• Tensión	Sí; ± 10 V, ± 5 V, ± 2,5 V	Sí; ± 10 V, ± 5 V, ± 2,5 V	Sí; ± 10 V, ± 5 V, ± 2,5 V o ± 1,25 V
• Intensidad	Sí; 4 a 20 mA, 0 a 20 mA	Sí; 4 a 20 mA, 0 a 20 mA	Sí; 4 a 20 mA, 0 a 20 mA
• Termopar	No	No	No
• Termorresistencias	No	No	No
• Resistencia	No	Sí	No
<b>Rangos de entrada (valores nominales), tensiones</b>			
• -1,25 V a +1,25 V			Sí
• -10 V a +10 V	Sí	Sí	Sí
• -2,5 V a +2,5 V	Sí	Sí	Sí
• -5 V a +5 V	Sí	Sí	Sí

Tabla 2-2. Diferentes modelos de módulos de entradas analógicas SM 1231.



Figura 2-3. Módulo de entradas analógicas SB 1231.

Datos técnicos		Datos técnicos	
Referencia	<b>6ES7231-4HA30-0XB0</b> SIGNAL BOARD SB 1231, 1 AI	Referencia	<b>6ES7231-4HA30-0XB0</b> SIGNAL BOARD SB 1231, 1 AI
<b>Información general</b>		<b>Formación de valor analógico para entradas</b>	
Designación del tipo de producto	SB1231 AI 1x12 BIT	Principio de medición	integrador
<b>Tensión de alimentación</b>		<b>Tiempo de integración y conversión/resolución por canal</b>	
Valor nominal (DC)		• Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	11 bit; + signo
• 24 V DC	SI	• Tiempo de integración parametrizable	SI
<b>Intensidad de entrada</b>		• Supresión de perturbaciones de tensión para frecuencia perturbadora f1 en Hz	40 dB, DC a 60 Hz
de bus de fondo 5 V DC, típ.	55 mA	<b>Filtrado de valores medidos</b>	
<b>Pérdidas</b>		• parametrizable	SI
Pérdidas, típ.	0,4 W	• Nivel: ninguno	SI
<b>Entradas analógicas</b>		• Nivel: débil	SI
Nº de entradas analógicas	1; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión	• Nivel: medio	SI
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	± 35 V	• Nivel: intenso	SI
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	35 V	<b>Error/precisiones</b>	
Intensidad de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	40 mA	Error de temperatura (referido al rango de entrada), (+/-)	25 °C ±0,3 %, a 55 °C ±0,6 % todo el rango de medida
Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción), máx.	40 mA	<b>Alarmas/diagnósticos/información de estado</b>	
Tiempo de ciclo (todos los canales), máx.	156,25 µs; 400 Hz supresión	Alarmas	SI
<b>Rangos de entrada</b>		Funciones de diagnóstico	SI
• Tensión	SI; ±10 V, ±5 V, ±2,5 V	<b>Alarmas</b>	
• Intensidad	SI; 0 a 20 mA	• Alarma de diagnóstico	SI
• Termopar	No	<b>Avisos de diagnósticos</b>	
• Termorresistencias	No	• Rotura de hilo	No
• Resistencia	No	<b>LED señalizador de diagnóstico</b>	
<b>Rangos de entrada (valores nominales), tensiones</b>		• para el estado de las entradas	SI
• -10 V a +10 V	SI	• para mantenimiento	SI
• -2,5 V a +2,5 V	SI	<b>Grado de protección y clase de protección</b>	
• -5 V a +5 V	SI	Grado de protección según EN 60529	
<b>Rangos de entrada (valores nominales), intensidades</b>		• IP20	SI
• 0 a 20 mA	SI	<b>Normas, homologaciones, certificados</b>	
<b>Salidas analógicas</b>		Marcado CE	SI
Nº de salidas analógicas	0	Homologación CSA	SI
		Homologación FM	SI
		RCM (anterior C-TICK)	SI

Tabla 2-3. Datos técnicos de módulo SB1231.

#### 2.2.4. Módulos de salidas digitales (SM 1222 ,16 DO relé)

Las 2 etapas de alarma en la estación serán realizadas con 66 salidas digitales tipo relé. La CPU que se ha escogido para la estación sólo dispone de 10 salidas digitales. Por lo tanto, se requiere ampliar el número salidas de las que dispone la CPU. Para ello se deben utilizar módulos de señales (SM) de la gama que dispone la familia S7 1200.

En cuanto al número de salidas digitales es necesario ampliar a 56, la solución que ofrece siemens en cuanto a SM para la familia S7 1200, son 4 módulo de 16 salidas digitales tipo relé modelo SM 1222 ,16 DO relé (referencia siemens 6ES7222-1HH32-0XBO) es el que mejor se acomoda a nuestra necesidad.



Figura 2-4. Módulo de salidas digitales SM 1222.

Referencia	6ES7222-1BF32-0XB0	6ES7222-1BH32-0XB0	6ES7222-1HF32-0XB0	6ES7222-1HH32-0XB0	6ES7222-1XF32-0XB0
	SALIDA DIGITAL SM1222, 8 DO, 24V DC	SALIDA DIGITAL SM1222, 16 DO, 24V DC	SALIDA DIGITAL SM 1222, 8 DO, RELE	SALIDA DIGITAL SM1222, 16 DO, RELE	SALIDA DIGITAL SM 1222, 8 DQ, CONMUTADOR
<b>Información general</b>					
Designación del tipo de producto	SM 1222 DQ 8x24VDC	SM 1222 DQ 16x24VDC	SM 1222 DQ 8xRelay	SM 1222 DQ 16xRelay	Contacto inversor SM 1222 DQ 8xRelay
<b>Intensidad de entrada</b>					
de bus de fondo 5 V DC, máx.	120 mA	140 mA	120 mA	135 mA	140 mA
<b>Salidas digitales</b>					
• de la tensión de carga L+, máx.			11 mA/bobina de relé	11 mA/bobina de relé	16,7 mA/bobina de relé
<b>Pérdidas</b>					
Pérdidas, típ.	1,5 W	2,5 W	4,5 W	8,5 W	5 W
<b>Salidas digitales</b>					
Número de salidas	8	16	8	16	8
• En grupos de	1	1	2	1	1
Protección contra cortocircuito	No; a prever externamente	No; a prever externamente	No; a prever externamente	No; a prever externamente	No; a prever externamente
Limitación de la sobretensión inductiva de corte a	típ. (L+) -48 V	típ. (L+) -48 V			
<b>Poder de corte de las salidas</b>					
• con carga resistiva, máx.	0,5 A	0,5 A	2 A	2 A	2 A
• con carga tipo lámpara, máx.	5 W	5 W	30 W con DC, 200 W con AC	30 W con DC, 200 W con AC	30 W con DC, 200 W con AC
<b>Tensión de salida</b>					
• Valor nominal (DC)	24 V	24 V	5 V DC a 30 V DC	5 V DC a 30 V DC	5 V DC a 30 V DC
• Valor nominal (AC)			5 a 250 V AC	5 a 250 V AC	5 a 250 V AC
• para señal "0", máx.	0,1 V; con carga de 10 kOhm	0,1 V; con carga de 10 kOhm			
• para señal "1", mín.	20 V DC	20 V DC			
<b>Intensidad de salida</b>					
• para señal "1" valor nominal	0,5 A	0,5 A			
• para señal "1" rango admisible, máx.			2 A	2 A	2 A
• para señal "0" intensidad residual, máx.	10 µA	10 µA			
<b>Retardo a la salida con carga resistiva</b>					
• "0" a "1", máx.	50 µs	50 µs	10 ms	10 ms	10 ms
• "1" a "0", máx.	200 µs	200 µs	10 ms	10 ms	10 ms

Tabla 2-4. Datos técnicos de módulo de salidas digitales SM 1222.

### 2.2.5. Interface Hombre Máquina (HMI TP1500 Basic color PN).

Para realizar un monitoreo eficiente y dinámico de los compartimentos en SF6 en los equipos, se decide utilizar una HMI que se encuentra estandarizadas en los sistemas que son de marca siemens en la central, además de encontrarse disponible como repuesto, es acorde a las necesidades de espacio suficiente para visualizar todo el sistema, tiene una ágil interfaz de comunicación con el CPU SIMATIC S7-1200 a usar y es accesible económicamente. A continuación, podemos analizar las características básicas de las pantallas TP1500 Basic color PN disponible:

Referencia	6AG1647-0AE11-4AX0	6AG1647-0AF11-4AX0	6AG1647-0AG11-4AX0
Based on	6AV6647-0AE11-3AX0	6AV6647-0AF11-3AX0	6AV6647-0AG11-3AX0
	SIPLUS KTP1000 BASIC COLOR DP 10,4"	SIPLUS KTP1000 BASIC COLOR PN 10,4"	SIPLUS TP1500 BASIC COLOR PN 15"
<b>Condiciones ambientales</b>			
Apto para uso en interiores	Sí	Sí	Sí
Apto para uso en exteriores	No	No	No
<b>Temperatura ambiente en servicio</b>			
• En servicio (montaje vertical)	0 a +50 °C	0 a +50 °C	0 a +50 °C
- en posición de montaje vertical, mín.	0 °C	0 °C	0 °C
- en posición de montaje vertical, máx.	50 °C	50 °C	50 °C
<b>Condiciones ambientales aumentadas</b>			
• Referida a temperatura ambiente-presión atmosférica-altitud de instalación	T <sub>mín</sub> ... T <sub>máx</sub> a 1080 hPa ... 795 hPa (-1000 m ... +2000 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 10 K) a 795 hPa ... 658 hPa (+2000 m ... +3500 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 20 K) a 658 hPa ... 540 hPa (+3500 m ... +5000 m)	T <sub>mín</sub> ... T <sub>máx</sub> a 1080 hPa ... 795 hPa (-1000 m ... +2000 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 10 K) a 795 hPa ... 658 hPa (+2000 m ... +3500 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 20 K) a 658 hPa ... 540 hPa (+3500 m ... +5000 m)	T <sub>mín</sub> ... T <sub>máx</sub> a 1080 hPa ... 795 hPa (-1000 m ... +2000 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 10 K) a 795 hPa ... 658 hPa (+2000 m ... +3500 m) // T <sub>mín</sub> ... (T <sub>máx</sub> - 20 K) a 658 hPa ... 540 hPa (+3500 m ... +5000 m)
<b>Humedad relativa del aire</b>			
- Con condensación, ensayado según IEC 60068-2-38, máx.	100 %; HR incl. condensación/ congelación (sin puesta en marcha si hay condensación)	100 %; HR incl. condensación/ congelación (sin puesta en marcha si hay condensación)	100 %; HR incl. condensación/ congelación (sin puesta en marcha si hay condensación)
<b>Resistencia</b>			
- a sustancias biológicamente activas/conforme con EN 60721-3-3	Sí	Sí	Sí
- a sustancias químicamente activas/conforme con EN 60721-3-3	Sí; clase 3C4 incl. niebla salina. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!	Sí; clase 3C4 incl. niebla salina. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!	Sí; clase 3C4 incl. niebla salina. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!
- a sustancias mecánicamente activas/conforme con EN 60721-3-3	Sí; clase 3S4 incl. arena, polvo. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!	Sí; clase 3S4 incl. arena, polvo. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!	Sí; clase 3S4 incl. arena, polvo. ¡Las cubiertas de conectores suministradas deben permanecer en las interfaces no utilizadas durante el servicio!

Tabla 2-5. Datos técnicos paneles de primera generación de manejo y visualización (HMI).

En esta HMI necesitamos observar:

- ✓ Esquema mímico, de las 9 cámaras de los 3 transformadores de poder y las 3 cámaras de los 2 interruptores 52G.
- ✓ Valores actuales de las presiones por cámara, setpoint de los niveles de alarma, tasa de fuga en % por año y la velocidad de fuga por año.
- ✓ Gráficos de tendencia de presiones
- ✓ Historial de eventos y alarmas
- ✓ Estados del sistema.
- ✓ Leyenda.

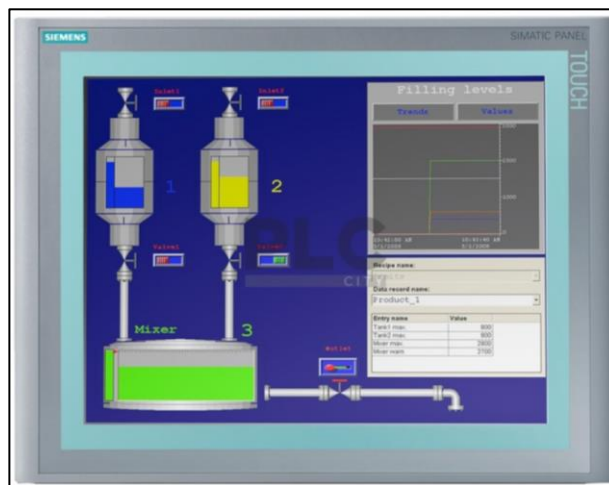


Figura 2-5. Panel básico HMI KTP1500 color PN.

### 2.2.6. Memory card 4MB

La memory card puede configurarse para diversas aplicaciones: Como memoria de carga externa y páginas Web, para copiar un programa a la memoria de carga interna de una o más CPUs sin necesidad de utilizar el sistema de ingeniería y para actualizar el firmware de la CPU y hardware S7-1200.

En este caso se utilizará como memoria de carga externa de la CPU para proporcionar mayor almacenamiento en la adquisición diaria de las presiones en los compartimentos en SF6 utilizando la instrucción Data logging en el programa. La memory card a utilizar es de 4 MB ya que los registros mensuales por equipo pesan 200kb dando un total de 1MB en datos, quedando disponible 3 MB para el programa o tener la posibilidad de extender la frecuencia en la adquisición de datos.

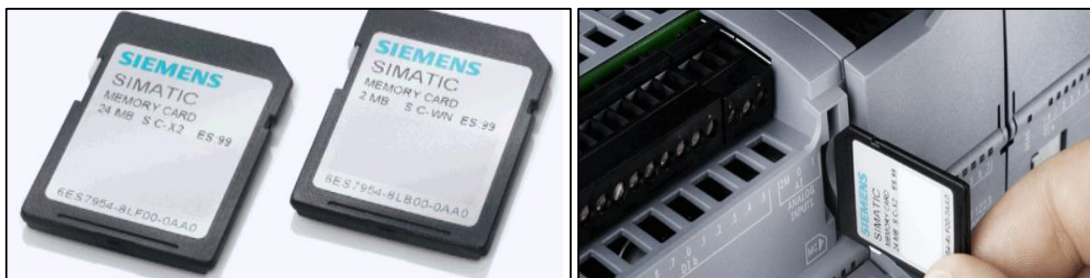


Figura 2-6. Memory card a utilizar de 4 MB.

## 2.3. CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA

### 2.3.1. Bloques disponibles para configuración del programa

Para la creación lógica del programa a ejecutar, se utilizarán los cuatros bloques de programación disponible en TIA PORTAL

**OB** es el bloque estándar para la ejecución cíclica del programa de usuario.

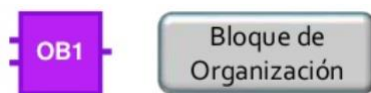


Figura 2-7. Bloque de Organización.

**FC** Es el bloque programable para datos de instancia donde se escalarán y normalizar las entradas análogas con la activación de las distintas etapas por baja presión.



Figura 2-8. Función.

**FB** Bloque de función para crear una subrutina que servirán para la adquisición de datos con la instrucción de datalog.



Figura 2-9. Bloque de Función.

**DB** Bloque de datos para almacenamiento permanente de los umbrales de activación de alarmas, fecha y hora donde los demás bloques lo podrán leer.



Figura 2-10. Bloque de Datos.

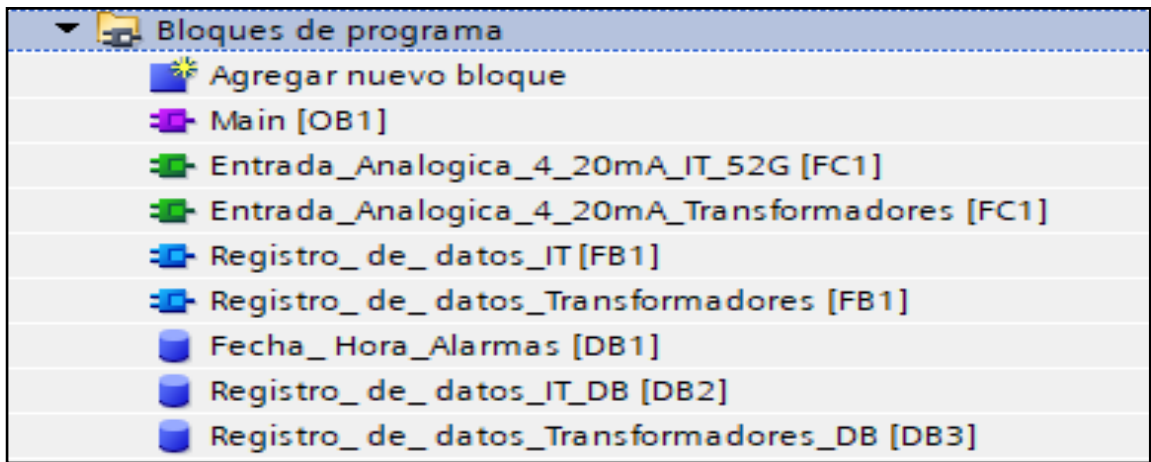


Figura 2-11. Bloques de programa propuesto.

### 2.3.2. Bloque OB de Organización

En el bloque OB de organización esta predeterminado para la ejecución cíclica del programa de usuario, es donde se realizara el llamado de los bloques FC de las entradas análogas de los interruptores y transformadores, también llamara los bloques FB de la toma de registro al bloque principal de organización, de esta forma las instrucciones serán cargada en la memoria principal del controlador y el bloque de organización racionará aun evento especifico en la CPU y podrá interrumpir la ejecución del programa de usuario.

El llamado de los bloques será realizado de la siguiente forma:

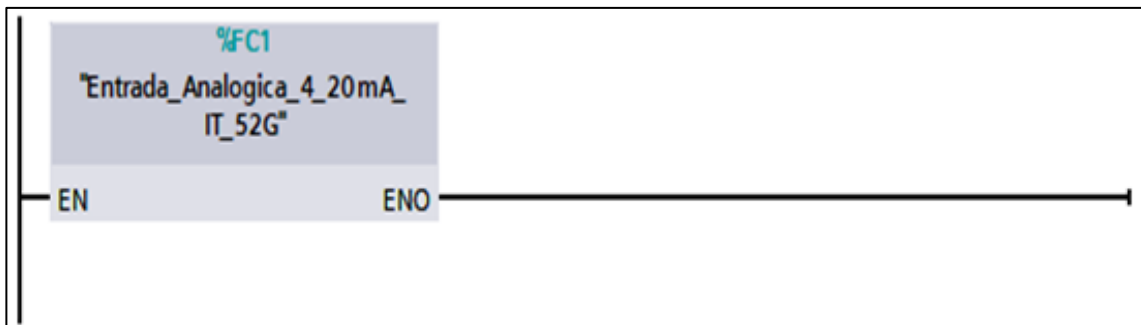


Figura 2-12. Segmento N°1, entrada analógica de Interruptores 52G.

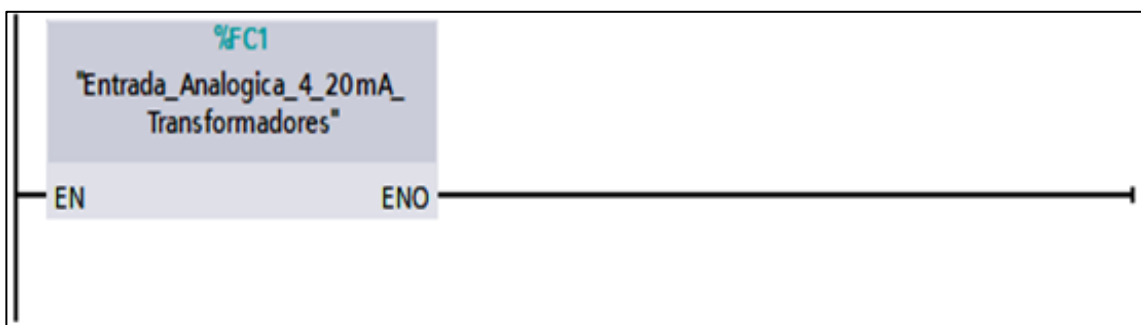


Figura 2-13. Segmento N°2, entrada analógica de transformadores de poder.

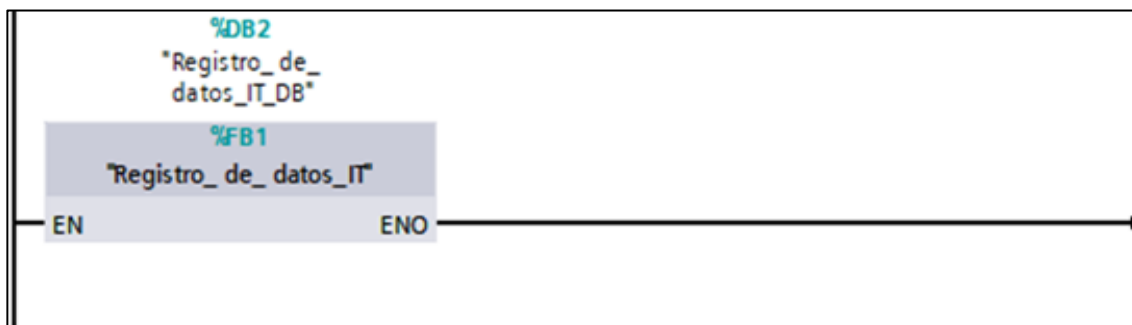


Figura 2-14. Segmento N°3, registro de datos en compartimientos en los interruptores.

En la estación del PLC en el navegador de archivo se creará el registro de los equipos, con la lógica del programa mencionada, donde existirá dos archivos CSV uno para los interruptores y otro para los transformadores

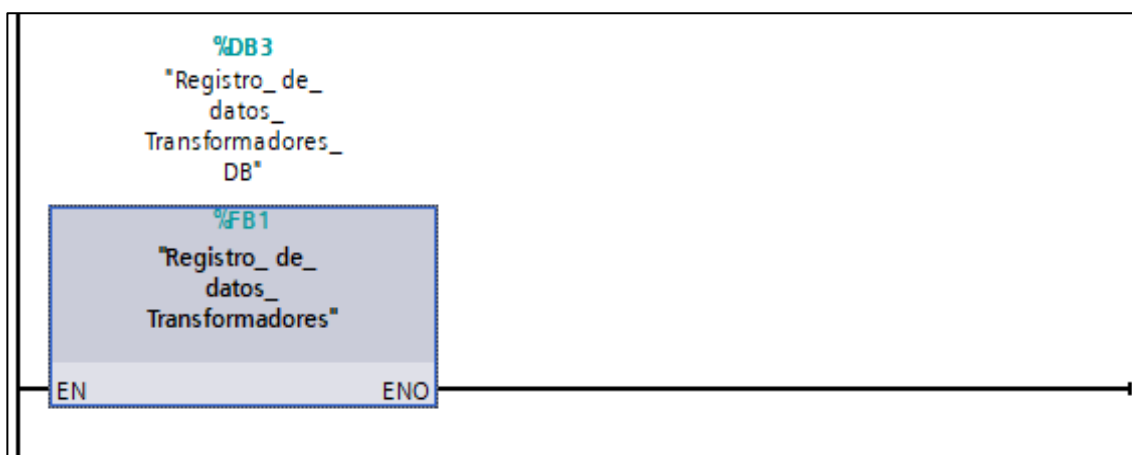


Figura 2-15. Segmento N°4, registro de datos en compartimientos de transformadores de poder.

### 2.3.3. Bloque FC para utilizar en variable

Para trabajar con señales analógicas primero se necesita normalizar el valor y luego escalarlo, el máximo permitido para los 20 mA es de 27.648 y el valor mínimo a las 4 mA es cero, la salida se guardaría en la memoria MD llamada densidad normalizada.

Este valor será escalado en el rango de trabajo de los interruptores que es entre 0 y 1000 Kilo pascal, en el caso de los transformadores será 0 a 800 kilo pascal.

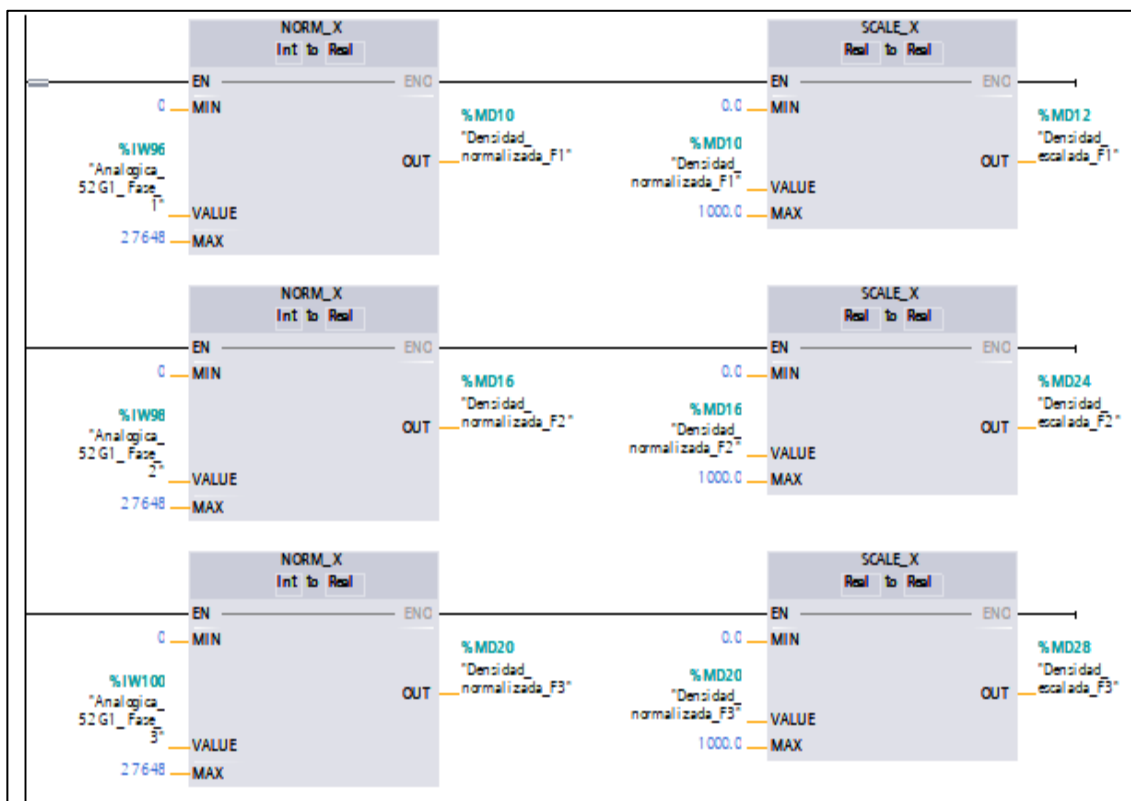


Figura 2-16. Ejemplo de escalamiento en variable de presión en interruptores.

### 2.3.4. Activación etapas de alarma

La activación de las dos etapas de alarmas en los interruptores se realizará con la comparación menor e igual a 643 kilo pascal si se cumple activara la salida Q0.0 que es la etapa N°1 y si la presión sigue bajando hasta alcanzar los 613 Kilo pascal activara la salida Q0.1 donde se ejecutaran la orden de aislamiento, bloqueando el interruptor por activación de la etapa N°2.

En el caso de los transformadores se utilizará la misma instrucción menor e igual donde los niveles de alarma serian ajustados a los 450 kilo pascal para la etapa N°1 y 400Kilo pascal en la etapa N°2, al activarse esta última se desenergizar el transformador por su lado de alta tensión.

Cuando se verifique que las presiones se encuentran en su estado nominal se podrá reconocer las alarma en la HMI reseteando la etapa que se activa.

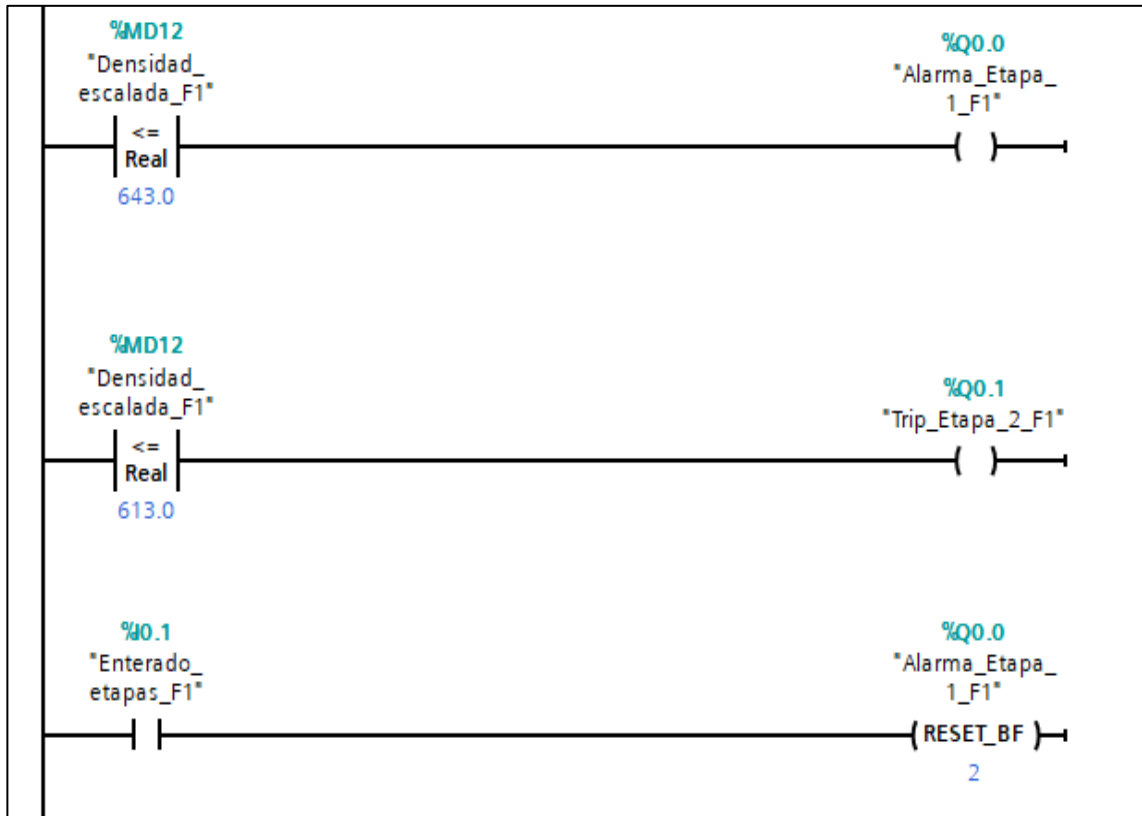


Figura 2-17. Ejemplo de activación y reconocimiento de alarmas.

### 2.3.5. Bloque FB para almacenamiento de datos

### 2.3.6. Instrucción DataLogCreate

Al momento de arrancar el PLC se ejecuta la petición de crear un registro de datos, estos serán guardados en la tarjeta de memoria externa donde el tamaño máximo del archivo CSV a generar dependerá de los datos almacenados.

El número máximo de datos que se desean a guardar se indicara en el parámetro RECORDS. Una vez alcanzado el número máximo de registros se sobrescribí en el más antiguo.

El nombre del registro de datos es asigna en la variable NAME, el formato que deseamos utilizar estará indicado con el parámetro FORMAT, donde indicaremos con el valor 1 datos separados por comas (CSV), para incluir las fechas y horas se seleccionará TIMESTAMP.

Con ID será el nombre de las variables que vamos a introducir, y DATA son los valores que se registran en cada cabecera al ejecutar la instrucción DataLogWrite.

Para identificar el estado que se encuentra la instrucción DataLogCreate, a su lado derecho se encuentran los siguientes parámetros:

DONE: La instrucción se ha ejecutado correctamente.

BUSY: La ejecución de la instrucción no ha finalizado

ERROR: 0= sin errores 1= se ha producido un error en la ejecución de la instrucción.

STATUS: es donde se encuentra la información del error.

En la siguiente tabla muestran de forma más detallada los parámetros disponibles en la instrucción DataLogCreate.

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	De entrada	BOOL	I, Q, M, L, D, T, C o constante	Ejecución de la instrucción El registro de datos se crea cuando se detecta un flanco ascendente en el parámetro REQ.
Registros	De entrada	UDInt	I, Q, M, L, D, T, C o constante	Número máximo de registros en el registro de datos  Si con la instrucción " DataLogWrite " se escriben más registros que los especificados en este parámetro, el registro más antiguo se sobrescribe.
FORMATO	De entrada	UDInt	I, Q, M, L, D, T, C o constante	Formato de datos: 0: Interno (no soportado) 1: CSV (valores separados por comas)
TIMESTAMP	De entrada	UDInt	I, Q, M, L, D, T, C o constante	Sellado de tiempo: 0: Sin sellado de tiempo 1: Fecha y hora Puedes venderlo al activado, concuerda con las columnas adicionales automáticas en el encabezado.
Nombre	De entrada	VARIANTE	L, D	Nombre del registro de datos El nombre asignado también se utiliza como nombre de archivo del archivo CSV.

				<p>En la CPU S7-1200 rigen las siguientes restricciones para el nombre del Data Log:</p> <p>El nombre no debe tener 35 caracteres. Se permiten todos los caracteres ASCII entre 0x20 y 0x7E con la excepción de \ / " ; [ ]   = . * ? &lt; &gt;</p>
ID	InOut	DWORD	I, Q, M, L, D	<p>ID de objeto del registro de datos (salida individual)</p> <p>La ID del registro de datos se necesita para otras instrucciones de registro de datos a fin de direccionar el registro de datos creado.</p>
Encabezado	InOut	VARIANTE	D	<p>Encabezado del registro de datos (opcional)</p> <p>La descripción del inserto de la instrucción.</p> <p>El encabezado se escribe en la primera fila del archivo CSV.</p>
DATOS	InOut	VARIANTE	D	<p>Puntero a la estructura de datos que debe escribir como registro al ejecutar la instrucción "DataLogWrite".</p>
HECHO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	<p>Parámetros de estado:</p> <p>0: el procesamiento todavía no ha finalizado</p> <p>1: procesamiento de la instrucción finalizado correctamente.</p>
OCUPADO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	<p>Parámetros de estado:</p> <p>0: el procesamiento de la instrucción aún no ha experimentado, ha terminado o se ha interrumpido.</p> <p>1: la instrucción se está procesando</p>
ERROR	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	<p>Parámetros de estado:</p> <p>0: error de Ningun.</p> <p>1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción.</p> <p>El parámetro ESTADO contiene información más específica.</p>
ESTADO	Salida	WORD	I, Q, M, L, D	<p>Información de estado específico:</p> <p>En el parámetro ESTADO se visualiza información de estado y error especificado. El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiar el parámetro ESTADO en un área de datos libre</p>

Tabla 2-6. Parámetros de la instrucción "DataLogCreate".

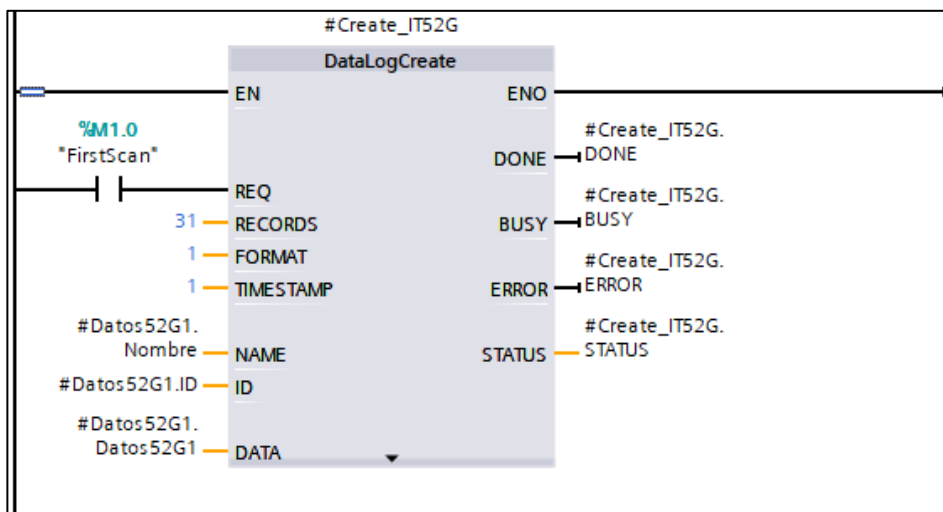


Figura 2-18. Ejemplo de instrucción DataLogCreate en IT52G.

### 2.3.7. Instrucción DataLogOpen

Antes de escribir se debe asegurar que se creó el archivo CSV, que se encuentre abierto y listo para almacenar nuevos datos en la tarjeta de memoria externa, ya que al colocar en modo STOP el PLC o una eventual pérdida de alimentación a la CPU estos archivos son cerrados. Para eso se crea el DataLogOpen con los parámetros NAME o el ID se llama al archivo CSV para registrar los nuevos datos.

La siguiente tabla muestra los parámetros de la instrucción "DataLogOpen":

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	De entrada	BOOL	I, Q, M, D, L o constante	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
MODE	De entrada	UDInt	I, Q, M, L, D o constante	Modo para abrir el Data Log:  MODE= "0" Los juegos de datos del Data Log se mantienen  MODE= "1" Los juegos de datos del Data Log se borran, el encabezado se mantiene.
NAME	De entrada	VARIANT	L, D	Nombre (de archivo) del Data Log
ID	InOut	DWORD	I, Q, M, L, D	ID de objeto del Data Log.
HECHO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	Parámetros de estado:  0: el procesamiento todavía no ha finalizado 1: procesamiento de la instrucción finalizado correctamente.
OCUPADO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	Parámetros de estado:  0: el procesamiento de la instrucción aún no ha experimentado, ha terminado o se ha interrumpido. 1: la instrucción se está procesando
ERROR	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	Parámetros de estado:  0: error de Ningun.

				I: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro ESTADO contiene información más específica.
ESTADO	Salida	WORD	I, Q, M, L, D	Información de estado específico:  En el parámetro ESTADO se visualiza información de estado y error especificado. El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro ESTADO en un área de datos libre

Tabla 2-7. Parámetros de la instrucción "DataLogOpen".

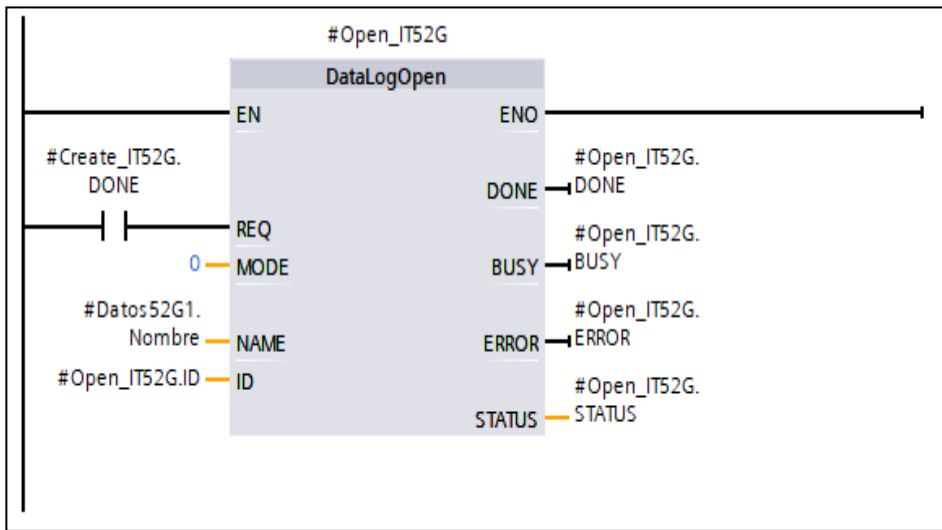


Figura 2-19. Ejemplo de instrucción DataLogOpen en IT52G.

### 2.3.8. Instrucción RD\_LOC\_T

Previamente establecida la zona horaria en la configuración reloj del PLC, se crea la instrucción RD\_LOC\_T que nos permite leer la fecha y hora actual de la CPU.

La siguiente tabla muestra los parámetros de la instrucción "RD\_LOC\_T":

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
RET_VAL	Volver	INT	I, Q, M, D, L, P	Estado de la instrucción
Fuera	Salida	DTL	I, Q, M, D, L, P *	Hora local

\* Los tipos de datos DT y DTL no pueden ser modificados para las áreas de memoria Entrada, Salida y Marca.

Tabla 2-8. Parámetros de la instrucción "RD\_LOC\_T".

### 2.3.9. Instrucción T\_CONV

A continuación, con la función T\_CONV se convierte el dato fecha y hora para la extracción de los minutos, segundos y milisegundos.

Luego con la instrucción de comparación cuando esta se igual a la hora que deseamos se activara un bit interno y se creara la orden de escribir en el registro de datos.

La siguiente tabla muestra los parámetros de la instrucción "T\_CONV":

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
En	De entrada	Enteros, TIME, fecha y hora *	I, Q, M, D, L, P o constante	Valor que se va a convertir
Fuera	Volver	Enteros, TIME, fecha y hora *	I, Q, M, D, L, P	Resultado de la conversión

\* El volumen de tipos de datos soportados depende de la CPU. Consulte en el resumen de los tipos de datos válidos los tipos de datos que soportan los módulos S7-1200.

Tabla 2-9. Parámetros de la instrucción "T\_CONV".

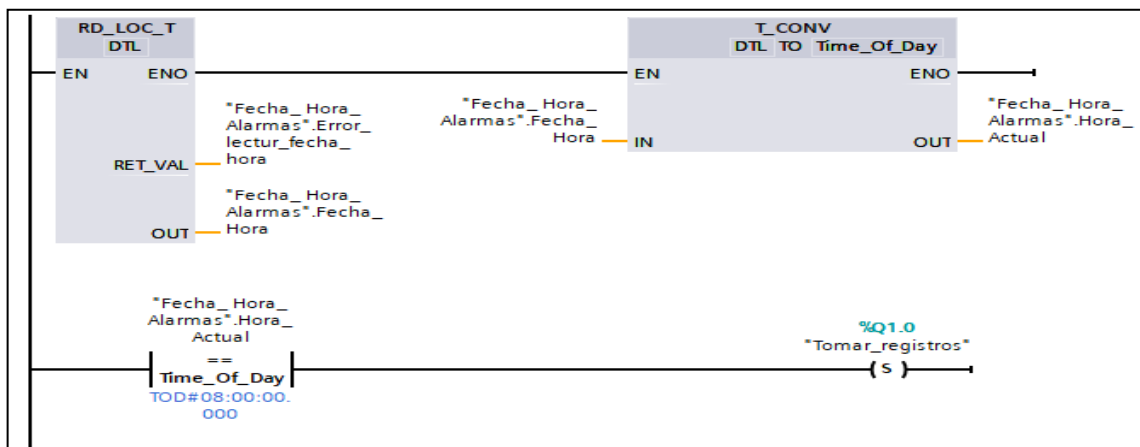


Figura 2-20. Ejemplo de instrucción RD\_LOC\_T Y T\_CONV.

### 2.3.10. Instrucción DataLogWrite

Con la instrucción "DataLogWrite", se escriben los datos en el Data Log ya creado. Por medio del parámetro ID se selecciona el registro que debe escribir. Para que esto se cumpla, el Data Log tiene que estar abierto, con la instrucción DataLogOpen ejecutada previamente ratificamos que esto se cumpla.

Antes del llamado de la instrucción "DataLogWrite" se transfieren los datos a la variable que se conecta al parámetro DATA de la instrucción "DataLogCreate". Durante la ejecución de la instrucción "DataLogWrite" los datos transferidos se copian en el Data Log deseado.

La siguiente tabla muestra los parámetros de la instrucción "DataLogWrite":

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	De entrada	BOOL	I, Q, M, L, D, o constante	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
ID	InOut	DWORD	I, Q, M, L, D	ID de objeto del Data Log.
HECHO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	La instrucción se ha ejecutado correctamente.
OCUPADO	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	Salida	BOOL	I, Q, M, L, D	Parámetros de estado:  0: error de Ningún. 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción. El parámetro ESTADO contiene información más específica.
ESTADO	Salida	WORD	I, Q, M, L, D	Parámetro de estado  El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiar el parámetro ESTADO en un área de datos libre.

Tabla 2-10. Parámetros de la instrucción " DataLogWrite ".

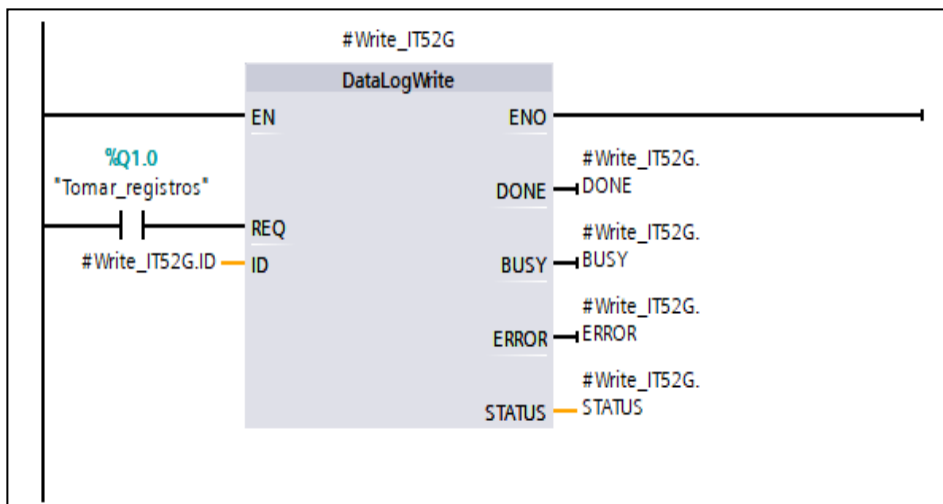


Figura 2-21. Ejemplo de instrucción DataLogWrite en IT52G.

### 2.3.11. Bloque DB para almacenamiento de datos.

Con la instrucción "CREATE\_DB" crearemos un bloque de datos en la memoria de trabajo, para almacenar en forma definitiva los umbrales de alarmas tanto para los transformadores e interruptores, además se incorpora la hora que se debe tomar los registros para el data log.

Se define este tipo de bloque para almacenar los umbrales, por sus características de permitir la eliminación de datos, solo si se realiza un borrado total de la memoria, además durante el cambio de estado de STOP a RUN su contenido no es modificado.

La siguiente tabla muestra los parámetros de la instrucción "CREATE\_DB":

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	De entrada	BOOL	I, Q, M, D, L o constante	Parámetro de control disparado por nivel "solicitud de activación"  REQ = 1: solicitud para crear el bloque de datos
LOW_LIMIT	De entrada	UInt	I, Q, M, D, L o constante	Límite inferior del área para la asignación de un número de DB. El número más bajo posible de DB es 60000.
UP_LIMIT	De entrada	UInt	I, Q, M, D, L o constante	Límite superior del área de la cual "CREATE_DB" extrae el número que se asigna al DB (número de DB más alto posible: 60999)
COUNT	De entrada	UDINT	I, Q, M, D, L o constante	El valor de contacto indica el número de bytes que se desea reservar para el DB creado. El número de bytes del número y el número de par. Los máximos largos son de 65534 bytes
ATTRIB	De entrada	BYTE	I, Q, M, D, L o constante	Con los primeros 4 bits del byte en el parámetro ATTRIB se definen las propiedades del bloque de datos.
SRCBLK	De entrada	VARIANTE	D	Puntero hacia el bloque de datos con nuestros valores se inicializará el bloque de datos que se va a crear
RET_VAL	Volver	INT	I, Q, M, D, L	Información de error
OCUPADO	Salida	BOOL	I, Q, M, D, L	OCUPADO = 1: la operación todavía no ha finalizado.
DB_NUM	Salida	DB_DYN (UINT)	I, Q, M, D, L	Número del DB creado.

Tabla 2-11. Parámetros de la instrucción "CREATE\_DB".

Fecha_Hora_Alarmas								
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	► Fecha_Hora	DTL	DTL#1970-01-01-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Alarma_Etapa_N1_IT	Int	643	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Alarma_Etapa_N2_IT	Int	613	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Alarma_Etapa_N1_Tra...	Int	450	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Alarma_Etapa_N2_Tra...	Int	400	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Error_lectur_fecha_hora	Word	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Hora_Actual	Time_Of_Day	TOD#00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 2-22. Ejemplo de instrucción CREATE\_DB con umbrales de alarma.

### 2.3.12. Pantalla principal del sistema

La HMI está pensada en el asistente de terreno donde podrá visualizar, la pantalla principal del sistema, el estado de los equipos monitoreados y las tendencias de las presiones.

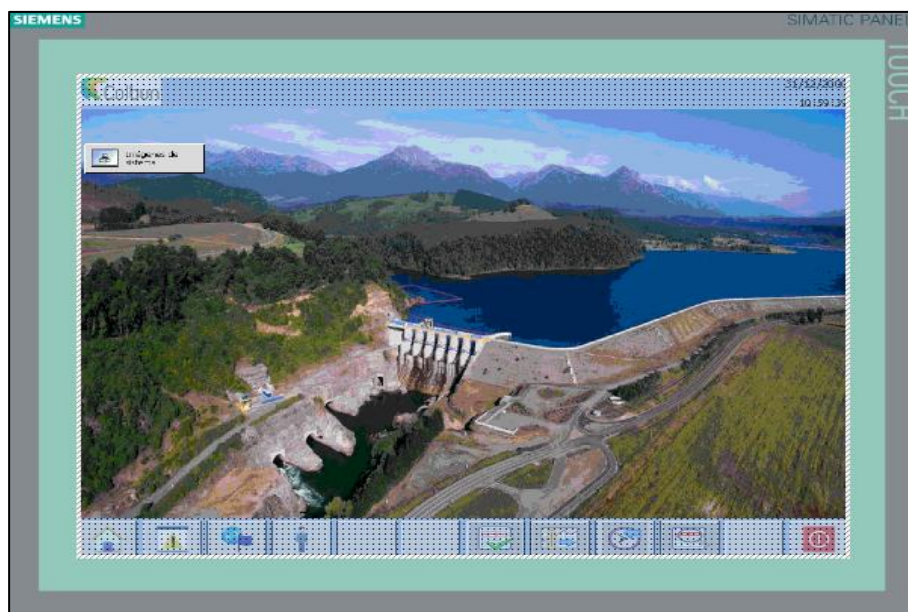


Figura 2-23. Ejemplo de pantalla principal en estación de monitoreo gas.

### 2.3.13. Estados de equipos en SF6 monitoreados

En la siguiente pantalla se visualizará el estado actual en el que se encuentran las distintas presiones de los compartimientos en SF6, si alguno se encuentra en estado de alarma el equipo se mostrara con fondo amarillo e intermitente y si este llega al siguiente estado su fondo cambiara a rojo en forma permanente.

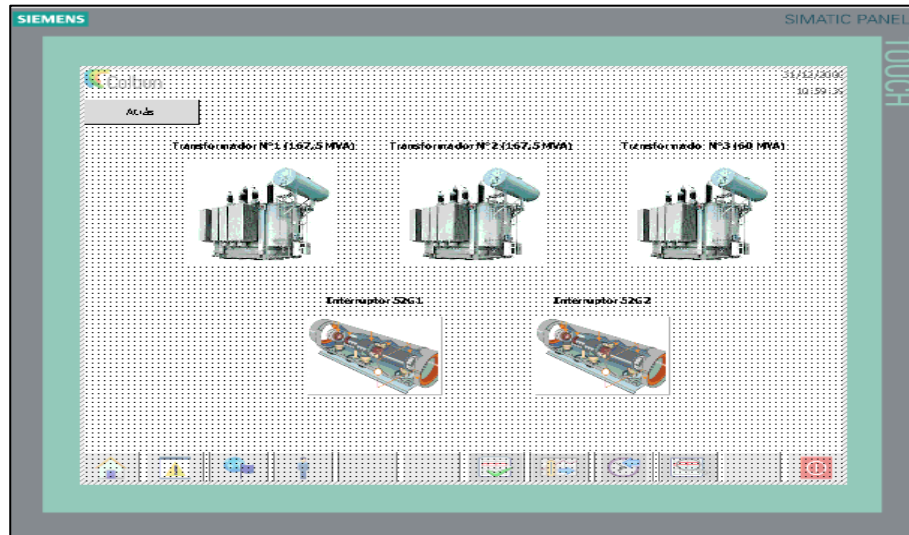


Figura 2-24. Ejemplo de pantalla estado actual de los equipos.

### 2.3.14. Tendencia de presiones en compartimientos en SF6

Para monitorear el comportamiento de las presiones en los distintos estados de funcionamiento, existirá una gráfica por equipo mostrando la presión diaria en cada uno de los compartimientos, así poder identificar posibles fugas de gas y proyectar el tiempo disponible para el siguiente cambio de estado.

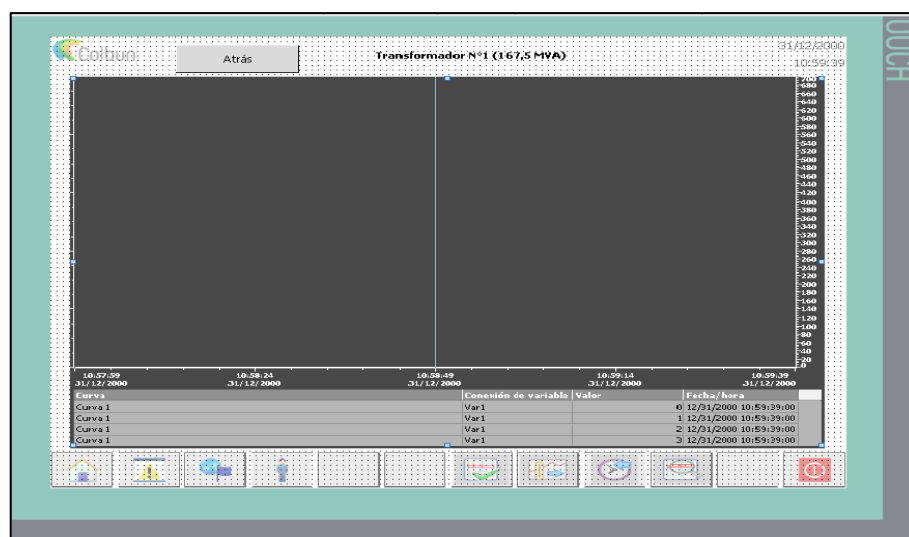


Figura 2-25. Ejemplo de pantalla tendencia de presiones en compartimientos de gas.

### 2.3.15. Comunicación industrial

Para los controladores SIMATIC S7-1200 se encuentran disponibles dos canales de comunicación profibus y profinet Siemens incorpora la interfaz PROFINET con comunicación en tiempo real a nivel de campo (HMI) hasta el nivel de gestión (Sistemas de ingeniería e informática) garantizando una comunicación ágil y rápida. Gracias a una conexión RJ45 la interfaz PROFINET integrada puede usarse indistintamente para la programación o para la comunicación HMI o de CPU a CPU u otras redes.

La interfaz PROFINET será utilizada para la conexión con HMI, será configurada en el editor de dispositivos y redes.



Figura 2-26. Conexión Interface Profinet con puerto RJ-45.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS**

### 3.1. COSTOS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realiza la identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo la ejecución del proyecto. En esta etapa se determinará si el proyecto es viable o no, ya que el factor económico determinara si es factible materializar la implantación de la estación de monitoreo. Se analiza los activos que implica el costo total para la realización del actual proyecto, se estiman los equipos disponibles, los instrumentos de campo, materiales e insumos y los recursos humanos. Esto tiene como principal finalidad determinara los costos precisos para poner en marcha la solución a los problemas mencionados con anterioridad.

Primero se mencionarán los principales motivos para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

#### 3.1.1. Historiales de eventos

Equipo	Fecha	Actividad	Tipo de Solicitud	Observación
Interruptor FKG1N 52G1	14-sep-14	Relleno de gas SF6 10 KG	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	01-nov-14	Relleno de gas sf6 4,02 KG	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	07-mar-16	Reparación de fuga	Programado M.M	Mantenimiento Mayor Programada
	01-nov-16	Relleno de gas sf6 4,4 KG	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	08-mar-17	Reparación de fuga	Programado M.M	Mantenimiento Mayor Programada
Interruptor FKG1N 52G2	22-nov-16	Relleno de gas SF6 8 KG	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	28-mar-16	Reparación de fuga	Programado M.M	Mantenimiento Mayor Programada
	21-nov-16	Relleno de gas sf6 5,4 KG	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	27-mar-17	Reparación de fuga	Programado M.M	Mantenimiento Mayor Programada

Tabla 3-1. Historial de eventos ocurrido en interruptores FKG1N.

Equipo	Fecha	Actividad	Tipo de Solicitud	Observación
Transformador N°1	10-jul-16	Operación relé maestro 86UT	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
Transformador N°2	13-ago-15	Operación relé maestro 86UT	Falla 138 MW	Posibles pérdidas económicas por compra de energía en mercado Spot.
	28-dic-15	Operación relé maestro 86UT	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios
	14-ago-18	Operación relé maestro 86UT	Falla 55 MW	Posibles pérdidas económicas por compra de energía en mercado Spot
Transformador N°3	30-jun-15	Operación relé maestro 86UT	Curso forzoso	Posibles pérdidas económicas por servicios complementarios

Tabla 3-2. Historial de eventos ocurrido en transformadores de poder.

### 3.1.2. Mercado eléctrico

Las compañías generadoras de energía eléctrica con grandes capacidades en MW instalada en el sistema, sus ganancias son obtenidas por la prestación de tres servicios:

#### **Por potencia inyectada al sistema.**

Esta es destinada a sus clientes que mantiene contratos a un precio establecidos y son grandes empresas o distribuidoras (Sus ganancias son fijas, y pueden optar a grandes créditos para futuros proyectos). La potencia que no es consumida por los clientes de la compañía es vendida en el Mercado Spot, donde el precio es transado por el costo marginal de producción de la última central que entra al sistema

#### **Por potencia Suficiencia o potencia firme.**

Son calculadas anual mente con los índices de disponibilidad y confiabilidad de la central, no deben ser menor al 70%.

#### **El último es por servicios complementarios**

Por regulación de frecuencia, donde las máquinas están ajustada a un estatismo bajo que las ase sensible a los cambios bruscos de carga, permitiéndoles tomar o disminuir potencia para mantener la frecuencia estable a 50 Hz.

Por regulación de tensión esto lo pueden realizar según el diagrama PQ de cada máquina con la inyección o absorción de reactivos del sistema.

### 3.1.3. Filosofía de mantenimiento

Hoy en día la filosofía de mantenimiento consiste en realizar un 60% en mantenimiento predictivo y un 40% en preventivo y lo más cercano a 0% en correctivo. Ya que se desea desconectar lo menos posibles los equipos del sistema para no afectar los índices de confiabilidad y disponibilidad, en particular no tener la necesidad de comprar energía en el mercado Spot para ser entregada a sus clientes en una eventual falla.

En la central hidroeléctricas cada vez se incorporan sistemas de monitoreo en línea, para cumplir los planes de mantenimiento predictivo sin tener la necesidad de intervenir los equipos, monitoreando el estado real de los equipos primarios en condiciones normales de funcionamiento de esta forma prevenir una eventual falla que podrían dejar fuera de servicio una unidad generadora ocasionando grandes pérdidas económicas a la compañía.

En la actualidad exciten instalados sistemas tales como:

-Un analizador en línea de gases disuelto en aceite de los transformadores de poder.

-Estación monitoreo de descargas parciales que se producen en los devanados de cada estator de las unidades generadoras.

### 3.2. COSTOS DE EQUIPOS

La elección de la marca siemens de los principales equipos de control a utilizar se debió al tipo de controlador seleccionado, cada equipo elegido se basó en el requerimiento específicos del proyecto y el costo individual.

Estos equipos se encontrarán instalados en la estación de monitoreo principal, donde se procesará las variables de presión de cada compartimento en SF6.

A continuación, se detallan en tabla 3.1 el costo individual de cada componente los cuales fueron cotizados en página web plcchile.com

Equipos	Código siemens	Cantidad	Valor por unidad	Valor por cantidad
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	6ES7214-1BG31-OXBO	1	\$ 277.701,57	\$ 277.701,57
HMI TP1500 Basic color PN	6AV6647-AG11-3AXO	1	\$1.998.882,62	\$ 1.998.882,62
Módulo de salidas digitales SM 1222	6ES7222-HH32-OXBO	4	\$108.098,39	\$ 432.393,58
Módulo de entradas analógicas SM1231 AI8	6ES7231-4HF32-OXBO	4	\$229.842,50	\$ 919.369,98
Módulo de entrada analógica SB1231	6ES7231-HA30-OXBO	1	\$39.260,00	\$39.260,00
Memory Card 4MB	6ES7954-8LC01-0AA0	1	\$ 50.000,00	\$50.000,00
Transmisor de densidad de gas	Modelo GD10-F	6	\$ 655.900	\$3.935.400
Total Neto				\$7.653.007,75
IVA				\$1.454.071,47
Total Más IVA				\$9.107.079,22

Tabla 3-3. Costos de equipos.

### 3.3. COSTOS DE INSUMOS Y MATERIALES

Los materiales que son necesarios para la implementación del proyecto tales como cables de instrumentación, cables de control, canalización, armarios principales. Son detallados en la siguiente tabla:

Material	Descripción	Cantidad	Valor por unidad CPL	Valor por cantidad CPL
Armario IP55 2000X800X400	Estación Principal	1 C/U	\$ 211.217	\$ 211.217
Conduit acero galvanizado 3/4	Canalización para cables de comunicación	30 mtrs	\$ 5.900 x m	\$ 177.000
Cable de 2x18 awg apantallado	Cable. Instr. Señal 4-20 [mA]	282 mtrs	\$ 380 x m	\$ 107.160
Cable Multipar de control 24x14 awg	Activaciones de alarmas y Trip	160 mtrs	\$1800 x m	\$ 288.000
Materiales y canalizaciones	Abrazaderas, unión de Conduit, etc.	1	\$ 1.250.000	\$ 1.250.000
Materiales menores	Borneras, barra tierra, etc.	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Total, Neto				\$ 2.283.377
IVA				\$ 433.841
Total, Más IVA				\$2.717.218

Tabla 3-4. Costos de insumos y materiales.

### 3.4. COSTOS DE RECURSOS HUMANOS

En el próximo apartado se describen los colaboradores que serán necesarios en el desarrollo del proyecto, se definen el número de personas y la función a desempeñar de cada integrante, con la finalidad de llevar a cabo el proyecto. Los valores se definen en pesos chilenos (CLP) y en unidades de fomento (UF) este último valor varía de acuerdo con el índice de precios al consumidor (IPC) que son valores que varían por un sin número de factores que afectan la economía y la inflación nacional que atraviesa el país en cada periodo.

Este proyecto se desarrollará en 11 principales actividades, Las etapas que considera son:

- 1- Levantamiento punto a punto de vías de alarma y control que exciten.
- 2- Diseño y confección de planos de fuerza y control.
- 3- Diseño y configuración del programa.
- 4- Canalizaciones.
- 5- Tendido de cableado de control y fuerza.
- 6- Montaje de equipos en estación principal de monitoreo.
- 7- Instalación de estación principal de monitoreo.
- 8- Configuración de estación remota de mantenimiento.
- 9- Pruebas en vías de umbrales de alarmas.
- 10- Puesta en servicio.
- 11- Entrega del sistema.

### 3.4.1. Ingeniero en control e instrumentación

Es la persona a cargo del desarrollo del proyecto, liderando en cada una de sus etapas hasta la entrega del sistema. Su trabajo consiste en el diseño del programa, la gestión del funcionamiento de los equipos e instrumentos a utilizar para monitorear los compartimientos, además de la integración de las señales hacia el PLC. Es también el encargado de la confección de los planos de control, la configuración de la estación principal y remota, gestionar los requerimientos solicitados por el administrador de contrato en planta y conocer los peligros asociados a cada actividad.

Las horas hombres del Ingeniero en control e instrumentación se detallan en la siguiente tabla.

Cargo	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días Trabajados	Total en UF	Total en CLP
Ingeniero en Control e instrumentación	\$50.000	6	36	392	\$10.800.000

Tabla 3-5. Costos por Ingeniero en Control e instrumentación.

### 3.4.2. Supervisor

Es el encargado de proporcionar toda la información al personal que se encuentra en terreno para cumplir con la entrega en las fechas acordada cada una de las etapas del proyecto, es la persona que cuenta con la experiencia, competencias para corregir y tomar las decisiones de modificar o solucionar cualquier problema que presente el proyecto en el transcurso de la ejecución. Será el responsable de verificar el cumplimiento de los procedimientos específicos de la planta, además de instruir al personal a su cargo en los ámbitos de seguridad y salud ocupacional. Los valores asociados al supervisor a cargo del proyecto se detallan en la tabla 3-6.

Cargo	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días Trabajados	Total en UF	Total en CLP
Supervisor	\$ 12.500	9	36	147	\$ 4.050.000

Tabla 3-6. Costos por supervisión del proyecto.

### 3.4.3. Técnico Especialista

Serán necesarios dos técnicos especialistas en instrumentación, esto para cumplir con las fechas establecidas de trabajo de 12 días por unidad fuera de servicio durante el transcurso de la mantención mayor. El trabajo para realizar será asignado por el supervisor a cargo del proyecto. Sus principales actividades son realizar la soporatación de las canalizaciones, el tendido del cableado de instrumentación y control, las conexiones en terreno, el montaje de los equipos, las mediciones y verificaciones de las señales análogas, así como también probar los umbrales de alarma. En la tabla 3-7. se puede apreciar los costos asociados por cada técnico especialista.

Cargo	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días Trabajados	Total en UF	Total en CLP
Técnico especialista	\$ 8.000	9	36	94	\$ 2.592.000

Tabla 3-7. Costos por Técnico especialista.

#### 3.4.4. Prevencionista de Riesgos

La principal función del prevencionista es verificar y controlar que los trabajos se efectúen en forma segura, antes de comenzar cada jornada en conjunto con el supervisor deberá planificar las actividades a desarrollar durante el día con la identificación de peligros, evaluación de riesgos y respectiva medida de control. Es el encargado de cumplir con toda la documentación legal que exige la empresa mandante por cada trabajador que ingrese a la central, tales como exámenes ocupacionales, contratos de trabajo, cotizaciones obligatorias, registro derecho a saber, etc. En la tabla 2-8. se detalla el costo de horas hombre del prevencionista de riesgos.

Cargo	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días Trabajados	Total en UF	Total en CLP
Prevencionista de Riesgos	\$ 9.000	4	36	47	\$ 1.296.000

Tabla 3-8. Costos por prevencionista de riesgos.

#### 3.4.5. Costo total de recursos humanos

El costo total asociados a recursos humanos se indican a continuación para cada una de las personas involucradas para llevar a cabo la ejecución del proyecto. La empresa contratista deberá contar con el personal adecuado para la ejecución, dirección y supervisión permanente en el trabajo. Este personal deberá cumplir cabalmente con la calidad profesional y experiencia que requiera el cargo.

El contratista estará obligado a tomar todas las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y salud de sus trabajadores y deberá proporcionar a su personal todos los elementos de protección personal que la naturaleza del trabajo y la legislación vigente establece.

La cantidad mínima de personal para realizar la ejecución del proyecto se resumen en la siguiente tabla:

Cargo	Precio por hora (CLP)	Horas por día	Días Trabajados	Total en UF	Total en CLP
Ingeniero en Control e instrumentación	\$50.000	6	36	392	\$10.800.000
Supervisor	\$12.500	9	36	147	\$ 4.050.000
Técnico especialista	\$8.000	9	36	94	\$ 2.592.000
Prevencionista de Riesgos	\$ 9.000	4	36	47	\$ 1.296.000
<b>Total, mano de Obra</b>				<b>680</b>	<b>\$ 18.738.000</b>

Tabla 3-9. Costos totales Recursos Humanos.

### 3.5. COSTOS DIRECTOS

El conjunto de costos indicados en los puntos anteriores son los que tienen directa relación para llevar a cabo la ejecución del proyecto. Para poder estimar si es rentable el proyecto todos estos costos se suman a continuación en la siguiente tabla.

Ítem	Costo UF	Costo CLP
Equipos	277	\$7.653.007
Materiales	82	\$ 2.283.377
RRHH	680	\$ 18.738.000
<b>Total</b>	1039	\$ 28.674.384

Tabla 3-10. Costos directos.

### 3.6. COSTOS INDIRECTOS

Para estimar los costos indirectos utilizaremos el valor total de los costos directos, donde se encuentran las horas hombres de cada colaborador, además los costos de equipos y materiales, ya que tienen directa incidencia sobre todas las actividades del proyecto. Para poder realizar el cálculo del costo se estima un 8 % del total del proyecto este estará disponible en caso de imprevistos que ocurran durante la ejecución o la postpuesta en marcha del proyecto. En la siguiente tabla se especifica el valor total de este ítem.

Ítem	Costo UF	Costo CLP
Equipos	277	\$7.653.007
Materiales	82	\$ 2.283.377
RRHH	680	\$ 18.738.000
Total	1039	\$ 28.674.384
8 % de costos indirectos	83	\$ 2.293.950
<b>Total con costos indirectos</b>	<b>1122</b>	<b>\$ 30.968.334</b>

Tabla 3-11. Costos indirectos.

### 3.7. UTILIDADES

Por la empresa mandante se estima un margen variable máximo de 18% en utilidades del costo total del proyecto para la empresa contratista que se lo adjudique, esta será la encargada de evaluar si le es rentable y cuenta con todos los recursos para llevar a cabo cada una de las tareas mencionadas. En la siguiente tabla se hace mención del costo total para la empresa mandante y las utilidades máxima para el contratista.

Ítem	Costo UF	Costo CLP
<b>Costo del proyecto</b>	1122	\$ 30.968.334
<b>Utilidades del 18%</b>	201	\$ 5.574.300
<b>Costo total del proyecto presupuestado</b>	<b>1324</b>	<b>\$ 36.542.634</b>

Tabla 3-12. Utilidades.

### **3.8. RESUMEN DE COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO**

Para dar como finalizado este capítulo, se obtienen el costo total que se requiere para llevar a cabo este proyecto, que es \$36.542.634, donde trabajaran 5 colaboradores durante 12 días por cada máquina, es decir, el tiempo total necesaria del proyecto es de 36 días. Las fechas proyectadas para la desconexión de cada transformadore interruptor serán informadas con un periodo de anticipación de 60 día, todos los antecedentes necesarios para realizar el ingreso a la central serán entregados por el administrador de contrato del mandante a la empresa contratista que se adjudique el servicio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el transcurso de la elaboración del proyecto, se han levantado diversos argumentos tales como: seguridad hacia las personas, cumplimientos con normativas ambientales nacionales e internacionales, además de las pérdidas económicas que podría asumir la compañía por desconexión de energía en forma repentina, todos estos son argumentos utilizados para llevar a desarrollar el proyecto propuesto.

Como solución a los problemas mencionados se presenta la implementación de la estación de monitoreo de SF<sub>6</sub>, donde fue debatida cual es la mejor alternativa para monitorear todas las variables de presión en los equipos primarios mencionados y de esta manera poder asegurar la confiabilidad y disponibilidad de la generación en la central. En esta oportunidad se selecciona la marca Siemens para el controlador y sus accesorios debido a los requerimientos que se necesitan para abarcar las treinta y tres variables de presión que son necesarias registrar tanto para mantener el servicio monitoreado en forma continua y poder prevenir con anticipación una condición subestándar relacionada a la baja presión del gas SF<sub>6</sub>.

Para determinar si es rentable desde el punto de vista económico, se estudió en el capítulo N°3 todos los costos asociados para materializar la ejecución del proyecto, entregando un valor aproximado de \$ 36.542.634. Para considerar si es factible económicamente para la compañía generadora la elaboración del proyecto se utiliza como ejemplo el evento ocurrido el 14-08-2018 “Operación de relé maestro 86UT por alarma de gas SF<sub>6</sub> transformador N°2 fase T en etapa 2”, en esta oportunidad la unidad generadora se encontraba inyectando 55 MW al sistema, que fueron desconectados de improviso por la operación errónea del indicador local en el compartimiento, las consecuencias económicas que pudieron ocasionar, que la energía no fuera suministrada de acuerdo al programa de generación del día para dar cumplimiento con los contratos establecidos. En estos casos se debe comprar la energía en el mercado spot, para determinar el valor real se considera el costo marginal de energía a la hora que ocurre el evento, que es 70 USD/MWh, la unidad se mantuvo fuera de servicio por un periodo de 4,1 horas.

En base a la información recopilada, a continuación, se calculan las posibles pérdidas económicas.

Valor del mega watts hora en pesos chileno en barra Charrúa de 220KV.

*Costo marginal del mega watts hora = 70 USD × 658,7 (Valor USD del día)*

*Costo marginal del mega watts hora = \$46.109 MWh*

Posible pérdida económica por falla ocurrida el 14-08-2018:

Pérdida económica

$$= \text{Costo Marginal } (\$/\text{MWh}) \times \text{Pot. desconectada (MW)} \\ \times \text{Tiempo fuera (Hora)}$$

$$\$10.397.579,5 = 46.109 \$/\text{MWh} \times 55 \text{ MW} \times 4,1 \text{ Hora}$$

Como se puede apreciar, un solo evento equivale al 28% del costo total del proyecto, sin considerar que la ocurrencia de una falla puede poner en riesgo el equipo y tendrá un costo más elevado pudiendo ser prevenido llevando el historial de presión de los equipos mencionados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

MANUAL DE SISTEMA SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200 2009.  
[Documento PDF]

[consulta: 20 de junio de 2019].

CATALOGO GENERAL Basic Controller SIMATIC S7-1200 2017. [Documento PDF]

[consulta: 20 de mayo de 2019].

DATA SHEET INSTRUMENTO Gas Density Switch Model 851.52.063 HS. WIKA  
2008. [Documento PDF]

[consulta: 22 de junio de 2019].

DATA SHEET INSTRUMENTO Transmisor de densidad de gas con caja de campo  
Modelo GD10-F. WIKA 2014. [Documento PDF]

[consulta: 22 de junio de 2019].