UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2020

MIGRACION DE PLCS SISTEMA DE VENTILACION DEL TUNEL DE METRO VALPARAISO S.A.

ALVARADO VARGAS, JOSE LUIS

https://hdl.handle.net/11673/49357

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

MIGRACIÓN DE PLCS SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL DE METRO VALPARAÍSO S.A.

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERÍA EN EJECUCIÓN EN CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
José Luis Alvarado Vargas

Profesor Guía
Ing. Loreto Marín Carcey

2020

RESUMEN

KEYWORDS: MIGRACION, FSM LTDA, METRO VALPARAISO, PLC, SISTEMA DE VENTILACION, CONTROL INDUSTRIAL, ABB.

FSM Ltda., es una empresa que se dedica a la venta de productos ABB y prestación de servicios de ingeniería de sistemas de control, siendo Metro Valparaíso unos de sus clientes más antiguos con el cual cuenta con un contrato de mantención al sistema de ventilación del túnel donde se toma una acción que permite darle continuidad operacional al sistema de ventilación, migrando el sistema actual por uno de actual tecnología

En adelante se detalla sobre la optimización del proceso, sobre el plan de ejecución y costos que conlleva todo este proyecto de migración.

Cabe señalar que algunas imágenes han sido editadas para proteger la propiedad intelectual de las empresas a las cuales se les prestó servicios.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 2

1. ANTECEDENTES GENERALES 3

1.1 LA EMPRESA FSM LTDA 3

1.1.1 Ubicación 4

1.1.2 Organización de la empresa 5

1.1.3 Clientes 5

1.2 CONTRATO DE MANTENCIÓN CON METRO VALPARAÍSO S.A. 6

1.2.1 Sistema de ventilación del túnel de metro Valparaíso 6

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA 8

1.4 DESCRIPCIÓN SERVICIOS 9

1.5 POSIBLES SOLUCIONES 10

1.6 PLC AC500 DE ABB 11

1.7 OBJETIVOS 11

1.7.1 Objetivo general 12

1.7.2 Objetivos específicos 12

CAPÍTULO 2: DESARROLLO GENERAL DEL PROYECTO **13**

2. DESARROLLO GENERAL DEL PROYECTO 14

2.1 ACTIVIDADES DE LEVANTAMIENTO 14

2.1.1 Levantamiento del sistema en terreno 14

2.1.2 Levantamiento de funcionalidad 15

2.2 ACTIVIDADES EN CADA ETAPA 15

2.3 IMPLEMENTACIÓN POR ETAPAS 16

2.3.1 Primera Etapa - Estación Piloto - Estación Chorrillos 16

2.3.2 Segunda Etapa - Estación Hospital 22

2.3.3 Tercera Etapa - Estación Viña del Mar 24

2.3.4 Cuarta Etapa - Estación Miramar 25

2.3.5 Quinta Etapa - Estación Chorrillos 25

2.4 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MONTAJE 25
2.4.1 Preparación al montaje del equipo 26
2.4.2 Retiro de cableado 26
2.4.3 Retiro de PLC 26
2.4.4 Montaje de nuevo PLC PM573 26
2.4.5 Cableado y conexión del PLC 27
2.4.6 Pruebas de conexionado 27
2.4.7 Pruebas de funcionamiento del nuevo PLC 27
2.5 PRUEBA COMPLETA DEL SISTEMA 28

CAPÍTULO 3: CONDICIONES COMERCIALES Y PRUEBAS FINALES 29
3 CONDICIONES COMERCIALES Y PRUEBAS FINALES 30
3.1 PRUEBAS CAT 30
3.1.1 Revisión asignación entradas y salidas digitales 30
3.1.2 Revisión asignación direcciones modbus 32
3.1.3 Revisión operacional de lógica 33
3.2 PRUEBAS SAT 34
3.1.1 Revisión operacional de comunicaciones 34
3.3 PUNCHLIST 35
3.4. COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS 36
3.5. COSTOS DE RECURSOS HUMANOS 38
3.6 COSTOS TOTAL DE PROYECTO 40

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42
BIBLIOGRAFÍA 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo Empresa. 4

Figura 1-2. Ubicación geográfica de la empresa. 4

Figura 1 3. Organigrama de la empresa. 5

Figura 1-4. Clientes de la empresa. 6

Figura 1-5. PLC AC31 ABB. 9

Figura 1-6. PLC AC500 ABB. 11

Figura 2-1. Diagramas lógicos PLC1 Chorrillos. 17

Figura 2-2. Planos disposición gabinete sala eléctrica estación chorrillos. 18

Figura 2-3. Automation Builder. 21

Figura 2-4. Planos alambrados gabinete sala eléctrica estación hospital. 23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Evaluación de alternativas. 10

Tabla 2-1. Suministros del Sistema de control ABB AC500. 19

Tabla 2-2. Suministros de la estación de ingeniera. 20

Tabla 3-1. Parámetros aprobación de señales digitales. 31

Tabla 3-2. Parámetros aprobación asignación de direcciones Modbus. 32

Tabla 3-3. Parámetros Revisión operacional de lógica. 33

Tabla 3-4. Pruebas operacionales del sistema. 35

Tabla 3-5. Pruebas pendientes. 36

Tabla 3-6. Costos suministros ABB. 37

Tabla 3-7. Costos HH de FSM 38

Tabla 3-8. Costos Servicios total de estación prototipo. 39

Tabla 3-9. Costos Servicios total de una estación normal. 40

Tabla 3-10. Costos totales del proyecto. 41

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

ABB : Asea Brown Boveri

AI : Analog input

ANSI : American National Standards Institute

AO : Analog output

CAT : Aceptacin de Configuracin

CH : Chorrillo

CPU : Unidad central de procesamiento

DCS : Sistema de control distribuido

DI : Digital input

DO : Digital output

ETH : Ethernet

FBD : Function Block Diagram

FSM : Fidel Salazar Mercado

HH : Horas Hombre

HMI : Interfaz Hombre-Máquina

HO : Hospital

IO : Input/Analog

IPC : Índice de Precios al Consumidor

ISA : Sociedad Internacional de Automatización

MI : Miramar

P&ID : Piping and Instrumentation Diagram

PCC : Puesto de comando centralizado

PLC : Controlador lógico programable

RO : Rampa oriente

RP : Rampa poniente

RTU : Unidad Terminal Remota

S.A. : Sociedad anónima

SAF : Sala alumbrado y fuerza

SAT : Site Acceptance Test

SD : Secure Digital

UF : Unidad de fomento

USD	: Dólar estadounidense
VM	: Viña del Mar

B. SIMBOLOGÍA:

%	: Porcentaje
°	: Grado
GB	: Gigabyte
Kb	: Kilobyte
mA	: Miliamperio
Mbps	: Megabytes
mm	: Milímetro
VAC	: Voltaje alterno
VDC	: Voltaje continuo

INTRODUCCIÓN

La migración, es una solución de mantenimiento preventivo muy aconsejable para solucionar problemas de actualización de Software y de Hardware, consiste en planificar el reemplazo antes de que el PLC falle, a través de un plan de ejecución que inicia haciendo una copia de seguridad del programa, una posterior conversión del mismo al entorno en el que se va a utilizar posteriormente y finalizando el reemplazo del hardware cuando los niveles de producción lo permitan.

Actualmente el sistema de ventilación del túnel cuenta con equipamiento ABB de la serie AC31 la cual está obsoleta. Es necesario tomar una acción que permita darle continuidad al soporte de hardware requerido en caso de falla de los equipos. Es por este motivo que FSM propone migrar los PLCs, tarjetas de comunicación y módulos IO en adelante “el hardware de control” o “el hardware” por equipos vigentes en mercado

El presente escrito entrega información acerca del trabajo realizado durante la migración.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

En este primer capítulo se explica el trabajo a realizar por parte de la empresa FSM Ltda., para la migración del sistema de control del túnel de metro Valparaíso, esta es una solución de mantenimiento preventivo muy aconsejable para solucionar problemas de actualización de software y de actualización de hardware.

1.1 LA EMPRESA FSM LTDA

FSM, Servicios y Aplicaciones de Ingeniería de Sistemas y Cía. Limitada, tiene por finalidad entregar soluciones en el área de la automatización de procesos industriales, desarrollando tareas que cubren ámbitos tales como:

- Ingeniería Básica
- Ingeniería de Detalles
- Capacitación
- Desarrollo de Aplicaciones de Control
- Mantenimiento y Servicios entre otras

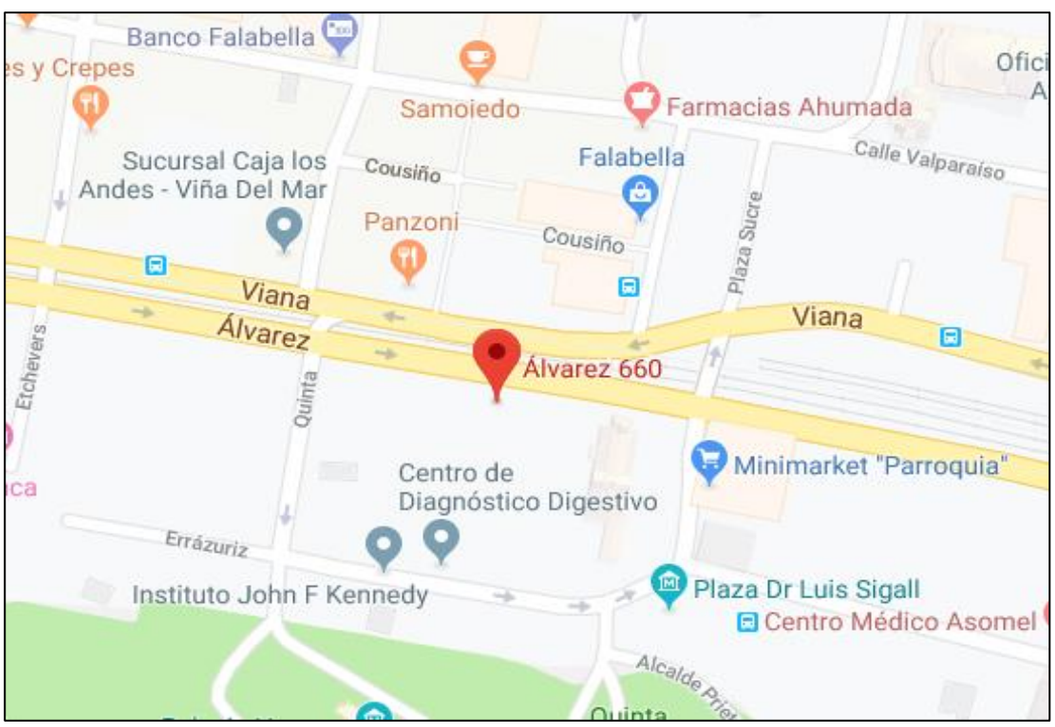
Para lograr este objetivo, FSM cuenta con los recursos humanos adecuados de manera de satisfacer las necesidades de los clientes, poniendo énfasis en ser una alternativa de calidad y altamente competitiva. Además, desde el año 2014 es distribuidor oficial de equipos de sistemas de control e instrumentación de ABB S.A. (ABB es una corporación multinacional enfocada al servicio al cliente, que ofrece soluciones de tecnología e ingeniería eléctrica, investigación, desarrollo y suministro de productos, sistemas y plantas para la amplia gama del mercado, teniendo su sede en Zúrich, Suiza. ABB S.A. establecida en Chile desde 1955). En la figura 1-1 se muestra el logo de la empresa.

Fuente: FSM Ltda.

Figura 1-1. Logo Empresa.

1.1.1 Ubicación

FSM Ltda., actualmente se encuentra ubicada en calle Álvarez 660 Departamento 71-A, en la ciudad Viña del Mar como se puede ver en la figura 1-2. Además cuenta con sucursal en San Pío X 2390, Oficina 606 en la comuna de Providencia de la cuidad de Santiago.

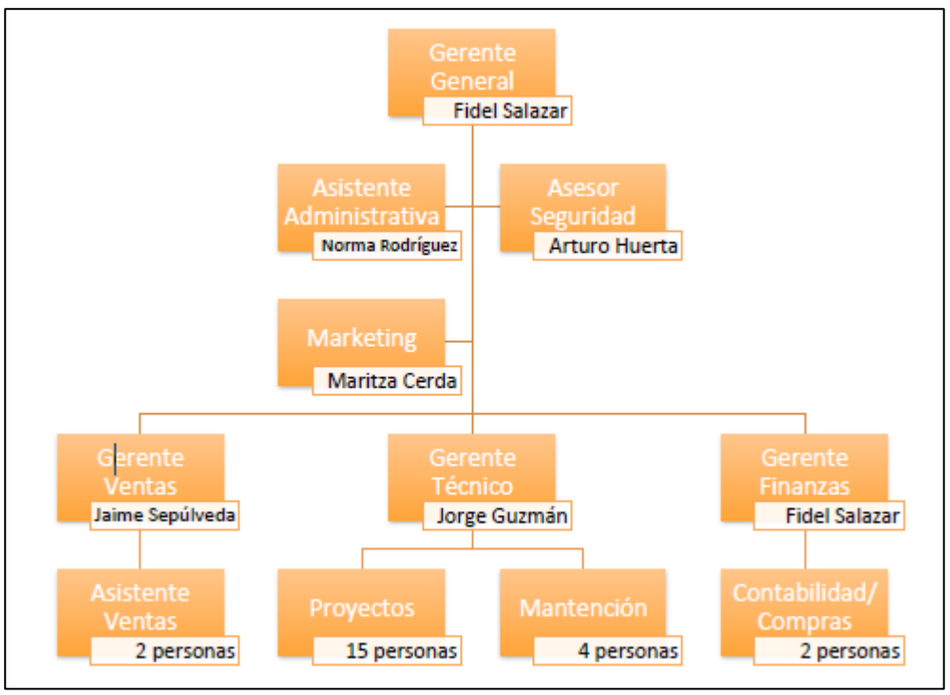


Fuente: Imagen satelital de Google maps

Figura 1-2. Ubicación geográfica de la empresa.

1.1.2 Organización de la empresa

La empresa está organizada bajo una Gerencia General a cargo del Ingeniero Civil Electrónico Fidel Salazar Mercado. La gerencia controla tres secciones que son Gerencia de Ventas, Gerencia Técnico y Gerencia Finanzas; también se cuenta con un asistente de ventas, una asesoría de prevención de riesgos y área de marketing. En la Figura 1-3 se muestra el organigrama de la empresa.



Fuente: Gentileza FSM

Figura 1-3. Organigrama de la empresa.

1.1.3 Clientes

FSM Ltda., como contratista, ha realizado innumerables proyectos en diferentes empresas, desde Ingeniería Básica y de Detalles, Integración, Servicios de Configuración, Comisionamiento, Puesta en Marcha, Capacitación, Migración y Mantención, tanto en la minería, celulosas, papeleras y otros, como algunos clientes que se pueden apreciar en la figura 1-4.

Fuente: Gentileza FSM

Figura 1-4. Clientes de la empresa.

1.2 CONTRATO DE MANTENCIÓN CON METRO VALPARAÍSO S.A.

FSM Ltda., desde el año 2008 se adjudica en licitación pública un contrato de mantención con metro Valparaíso “Servicios de mantenimiento sistema de ventilación de túnel de metro Valparaíso". EI contrato de mantenimiento del Sistema Ventilación del túnel de METRO VALPARAÍSO S.A., comprende todos aquellos trabajos de mantenimiento de tipo preventivo, predictivo, correctivo y atención de situaciones de emergencia, que permiten que el sistema esté siempre en condiciones óptimas de operación.

1.2.1 Sistema de ventilación del túnel de metro Valparaíso

EI Sistema de ventilación del túnel permite una operación confortable de las estaciones del tramo soterrado de la red ferroviaria operada por METRO VALPARAISO S.A.

EI Metro Regional de Valparaíso dispone para las estaciones soterradas de dos sistemas de ventilación, el primero corresponde a un sistema natural de ventilación y el segundo a un sistema forzado de ventilación. Ambos operan de forma intercalada en toda la extensión del túnel y que empieza por la rampa poniente (RP), luego pasa por las estaciones Miramar (MI), Viña del Mar (VM), Hospital (HO) y Chorrillos (CH), y finalmente termina en la rampa oriente (RO).

1.2.1.1 Sistema de Ventilación Natural

EI sistema de ventilación natural está compuesto por un conjunto de compuertas o chimeneas destinadas a la extracción de aire utilizando -en gran parte- el efecto pistón producido por la circulación de los automotores al interior del túnel. Estas compuertas se encuentran dispuestas en los tramos ubicados entre estaciones, existiendo un total de ocho ubicaciones que albergan cuatro compuertas cada una.

En total, dicho sistema posee 32 Compuertas (8 por estación) distribuidas a lo largo del túnel y cada una de ellas está conformada por los siguientes elementos:

- Compuerta metálica
- Ruedas y rieles
- Sistema piñón-cadena
- Motorreductor eléctrico
- Micro interruptores limitadores de carrera
- Cables alimentadores
- Tableros eléctricos para compuertas

1.2.1.2 Sistema de Ventilación Forzada

EI sistema de ventilación forzada está compuesto por un conjunto de turbo equipos electromecánicos extractores de aire, de los cuales ocho son ventiladores centrífugos y dos son ventiladores axiales. Para los ventiladores centrífugos, el flujo de aire sale en dirección normal al sentido de giro del rodete, esto es a 90° hacia arriba del túnel, en dirección al exterior, en cambio los ventiladores axiales expulsan el flujo de aire en el mismo sentido de rotación de su rodete, y este es desviado hacia la superficie por deflectores metálicos gravitacionales articulados.

Estos equipos están distribuidos en el túnel (en las inter-estaciones). Para el caso de los ventiladores axiales, estos están ubicados entre la estación Miramar y estación Viña del Mar (MI-VM) y cada uno de ellos se mantiene en una sala especialmente acondicionada para su operación. Para el caso de los ventiladores centrífugos estos se ubican entre la Rampa Poniente y estación Miramar (RP-MI), entre las estaciones Viña del Mar-Hospital (VM-HO), Hospital-Chorrillos (HO-CH) y en el sector Chorrillos-Rampa Oriente (CH-RO). Luego, existen dos equipos centrífugos por cada sala. Ambos equipos están conformados por:

- Motores eléctricos
- Carcasa
- Sistema de propulsión (correas, poleas, rodamientos, ejes, chavetas)
- Rodetes
- Filtros y celosías
- Variadores de Frecuencia (VDF)
- Cables alimentadores y de control
- Sensores
- Rejillas de admisión
- Tableros eléctricos para ventiladores

1.2.1.3 Sistema de Control de Ventiladores y Compuertas

EI sistema de ventilación de túnel posee un sistema de control que permite comandar ventiladores y compuertas de forma local en estaciones, o de forma remota, desde el puesto de comando centralizado (PCC). Dicho sistema está ubicado en cada una de las cuatro estaciones soterradas del sistema, esto es, Miramar, Viña del Mar, Hospital y Chorrillos. Los gabinetes de Fuerza y Control se ubican en cada una de las salas de alumbrado y fuerza (SAF) de las estaciones soterradas, y el comando local de operación de ventiladores y compuertas, en cada una de las boleterías de las estaciones anteriormente señaladas. EI sistema se conforma de los siguientes equipos:

- Panel View
- PLC ABB AC31
- Relés
- Cables de Alimentación y Control
- Gabinetes, Tableros Eléctricos, pilotos

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Actualmente el sistema de ventilación del túnel de Metro Valparaíso, cuenta con equipamiento de control ABB de la serie AC31 de la figura 1-5, el cual ha sido descontinuado por fábrica quedando el sistema vulnerable con incapacidad de tener un adecuado mantenimiento.

Por lo anterior es necesario tomar una acción que permita darle continuidad operacional al sistema de ventilación del túnel, migrando este sistema actual por uno de igual tecnología que brinde un sistema de control robusto con una arquitectura de control abierta, que contemple hardware y software comercial que le permita al cliente en cualquier momento incorporar nuevas funcionalidades, adicionar o cambiar instrumentos y realizar un mantenimiento apropiado.

Fuente: Pagina web new.abb.com

Figura 1-5. PLC AC31 ABB.

1.4 DESCRIPCIÓN SERVICIOS

Se propone dividir los servicios en 5 etapas correspondiente a 5 conjuntos de ventiladores. La primera etapa es la más importante, ya que, abarcará todas las actividades necesarias para implementar en una de las estaciones el nuevo equipamiento de control para el sistema de ventilación y dejarlo funcional (implementación piloto). Las siguientes etapas contemplan las actividades necesarias para replicar el funcionamiento de la primera etapa a las demás estaciones.

1.5 POSIBLES SOLUCIONES

La solución 1 contempla la familia Modicon que está asociada al software Unity que le aporta ingenio y flexibilidad, el Modicon M340 es un concentrado de potencia e innovación.

La solución 2 contempla la gama de PLC AC500 que proporciona una plataforma fiable y potente para diseñar y crear soluciones de automatización escalables, flexibles y competitivas.

La solución 3 contempla el Sistema ABB 800xA que es un poderoso sistema de control para automatización de procesos implementado con productos y soluciones Industrial IT (IIT) de ABB.

La evaluación de estas 3 diferentes alternativas en la tabla 1-1 incluyen el análisis de los efectos sobre el sistema actual, compatibilidad, innovación, viabilidad económica y beneficios. Se evalúa con una escala de 1 a 5 siendo 1 muy deficiente y 5 una alternativa óptima para la solución.

Tabla 1-1. Evaluación de alternativas.

	Solución 1: Modicon M340 Schneider	Solución 2: AC500 ABB	*Solución 3: 800xA ABB*
Innovación	4	4	5
Compatibilidad	3	5	4
Beneficio	3	4	5
Factibilidad	4	5	2
Costo	4	5	2
Total (100%)	18	**23**	18

Fuente: Elaboración propia, basada en análisis de soluciones

Según lo visto en el punto anterior la solución 2 es la que obtiene un mejor puntaje siendo esta la óptima para ser implementada en la migración.

1.6 PLC AC500 DE ABB

Las CPU AC500 presentada en la figura 1-6, han sido diseñadas para ofrecer la facilidad, seguridad y fiabilidad necesarias para adaptarse a los nuevos retos de la automatización. El uso de un solo software de ingeniería en toda la plataforma AC500 proporciona la facilidad para cubrir las nuevas exigencias. Contienen una amplia variedad de comunicaciones integradas en la base de la CPU o mediante módulos de comunicación adicionales que pueden combinarse de forma libre, permitiendo ofrecer soluciones que se adaptan a las necesidades de la arquitectura. Estas posibilidades de comunicación permiten integrar instalaciones antiguas y las mantiene actualizadas al día de hoy.

Fuente: Pagina web new.abb.com

Figura 1-6. PLC AC500 ABB.

1.7 OBJETIVOS

Para brindar un acercamiento a lo que se ha requerido en este trabajo de título y lo que se busca conseguir en su desarrollo, se presentan los siguientes objetivos.

1.7.1 Objetivo general

Migrar los PLCs del sistema actual de control del túnel de metro Valparaíso por uno más moderno que es el AC500 de ABB, permitiendo al cliente en cualquier momento incorporar nuevas funcionalidades y poder realizar un mantenimiento apropiado.

1.7.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se quieren alcanzar en el presente trabajo de título son los que se presentan a continuación:

- Describir el funcionamiento del actual sistema de control, esta información permitirá replicar la funcionalidad de los equipos de control en los nuevos PLCs ofrecidos.
- Realizar la entrega de planos de disposición y alambrado para los gabinetes de control intervenido.
- Desarrollar una solución que permita el control tanto local como remoto de los equipos asociados a los sistemas.
- Suministrar los elementos del Sistema de Control AC500 necesarios para cumplir con lo requerido.
- Describir los procedimientos necesarios para el montaje y cableado de los nuevos equipos en gabinetes existentes de la Salas eléctricas.

.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO GENERAL DEL PROYECTO

2. DESARROLLO GENERAL DEL PROYECTO

En este capítulo se dará a conocer la solución propuesta por FSM Ltda., para ser implementada en la migración del sistema de control, se propone dividir la ejecución en 5 etapas, correspondiente a los 5 conjuntos de ventiladores. El desarrollo lógico del proyecto determina que las etapas se vayan realizando de manera secuencial hasta la conclusión completa del proyecto. Dado lo anterior, en la primera etapa se realiza una implementación piloto que abarca todas las actividades necesarias para implementar, en una de las estaciones, el nuevo equipamiento de control para el sistema de ventilación. En las siguientes etapas, correspondientes al resto de las estaciones, se replica en lo esencial, la funcionalidad y estándares de ingeniería utilizados en la primera etapa. Esto permitiendo importantes sinergias de ingeniería. De acuerdo a la estrategia secuencial, se dan servicios generales, que se realizan por una única vez y sirven de base para todo el proyecto. Ese será el levantamiento que permitirá el desarrollo del Descriptivo de Control, Listado de Entrada/Salida, Mapa de Comunicaciones, Arquitectura del Sistema, Matriz de Enclavamientos, y servicios particulares propios de cada etapa entre los que se encuentra, configuración de lógicas y pantallas, pruebas CAT, configuración de comunicaciones, desmontaje y montaje de hardware, pruebas SAT, comisionamiento y puesta en marcha.

2.1 ACTIVIDADES DE LEVANTAMIENTO

El levantamiento consiste en la realización de una recopilación de ingeniería detallada del sistema, la cual se divide en dos actividades:

2.1.1 Levantamiento del sistema en terreno

Está actividad consiste en un levantamiento físico del sistema de control e instrumentación existente, con el fin de obtener toda la información necesaria para definir qué hardware del antiguo sistema se conservará y plantear una nueva arquitectura de control en base a la funcionalidad esperada por el cliente y la disponibilidad actual de instrumentación de campo.

Adicionalmente, se verifican las interfaces y protocolos de comunicación, que actualmente están siendo utilizados por el sistema de control.

El levantamiento en terreno arrojo como resultado un listado de equipos, instrumentos, y programas actualmente en uso, en conjunto también con un listado de señales transferidas por comunicación, incluyendo entradas y salidas duras. Esta información es la base para plantear el nuevo sistema basado en tecnología ABB con PLCs de la línea AC500 que mantenga la funcionalidad y se ajuste de mejor forma a las necesidades de metro Valparaíso, además, se podrán presentarse alternativas de mejora a la funcionalidad implementada.

2.1.2 Levantamiento de funcionalidad

Esta actividad consiste en entrevistas con el personal de mantenimiento y operaciones, con la finalidad de conocer a cabalidad la operación del Sistema. Lo anterior permite hacer un sondeo de posibles problemas y mejoras que se podrían solucionar o implementar. El levantamiento de esta información se utiliza para la generación del documento “Descriptivo de Control”, el cual describe en forma textual el funcionamiento de los equipos dentro del proceso de control y también la generación del documento “Matriz de Enclavamientos” el cual describe bajo qué condiciones los equipos deben detenerse, ya sea como parte del proceso o por seguridad. Ambos documentos son la base para la configuración del nuevo sistema de control.

2.2 ACTIVIDADES EN CADA ETAPA

Cada etapa contempla las siguientes actividades:

En Oficina:

- Descriptivo de Control
- Matriz de Enclavamiento
- Listado de Entrada / Salida
- Mapa de Comunicaciones
- Configuración de Lógicas
- Configuración de Mapa de Comunicaciones
- Pruebas CAT Protocolizadas
- Ingeniería de Detalle Gabinete

En Terreno:

- Desmontaje / Montaje Hardware Gabinetes
- Pruebas SAT Protocolizadas
- Listado de Entrada / Salida
- Comisionamiento y Puesta en Marcha

2.3 IMPLEMENTACIÓN POR ETAPAS

Se divide los servicios en 5 etapas que se realizan de manera secuencial. La primera etapa es la más importante, ya que abarca todas las actividades necesarias para implementar el nuevo equipamiento de control para el sistema de ventilación del túnel y dejarlo funcional, es decir, la implementación de la estación piloto. Las siguientes etapas contemplan las actividades necesarias para replicar el funcionamiento de la primera etapa a las demás estaciones.

2.3.1 Primera Etapa - Estación Piloto - Estación Chorrillos

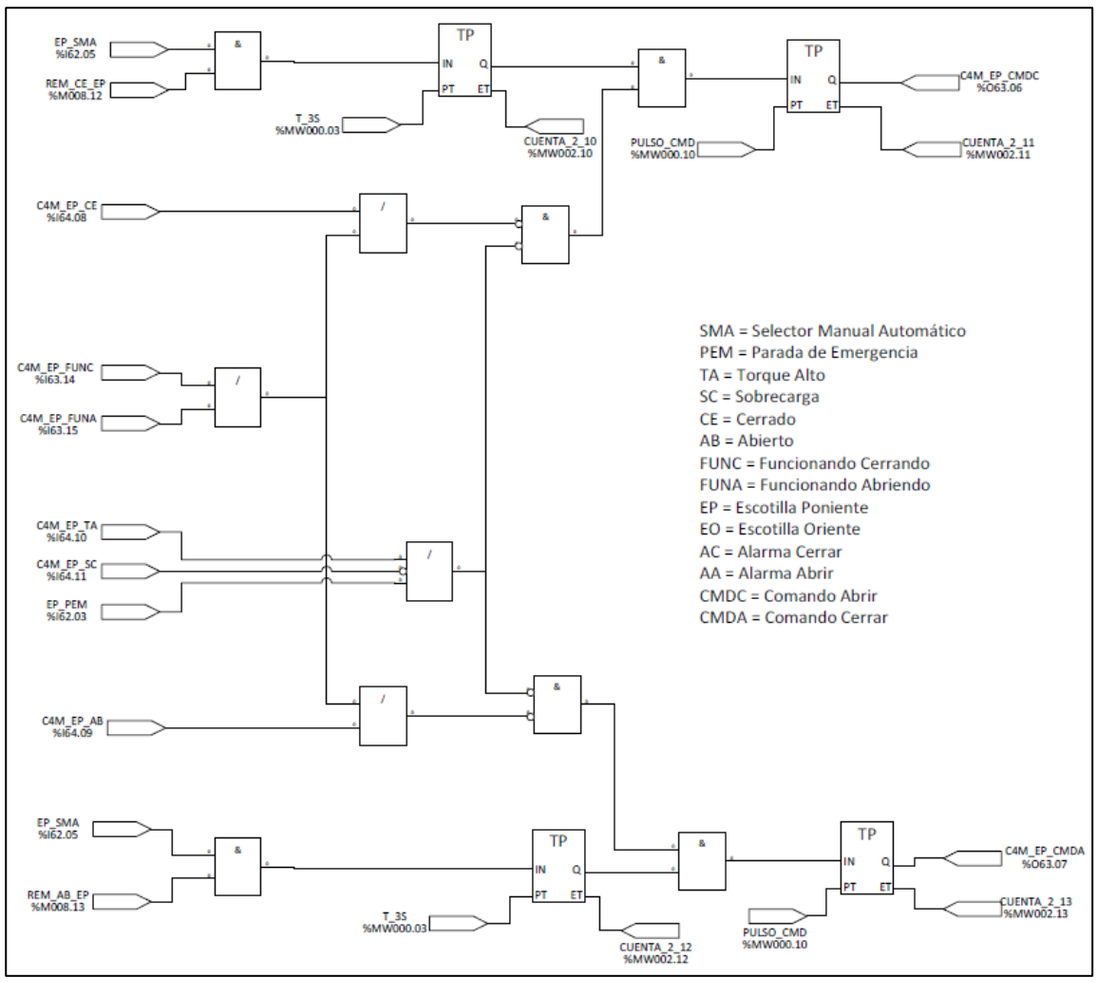
En esta etapa se consideran los servicios y suministros requeridos para implementar la migración del sistema de control de ventilación en una de las estaciones, la estación considerada en esta etapa es estación Chorrillos. Esto abarca uno de los dos PLCs que existen en esta estación y el control de los siguientes equipos.

- Compuertas Chorrillos (oriente y poniente)
- Ventiladores del Tramo Hospital-Chorrillos.

2.3.1.1 Levantamiento, estudio e ingeniería de control

En esta subetapa del servicio se considera rescatar la programación de los PLCs existentes y a partir de ésta, generar los diagramas lógicos como los que se crearon y se muestran en la figura 2-1 que reflejen la funcionalidad del sistema de control, esta información permite replicar la funcionalidad de los equipos de control en los PLCs ofrecidos. Se consideró que el trabajo requerido para completar esta etapa será de 4 semanas con trabajos en oficinas de FSM y pruebas preliminares en terreno.

Al término de esta etapa del proyecto (piloto) se entregan los diagramas lógicos en medios físicos y/o digitales.



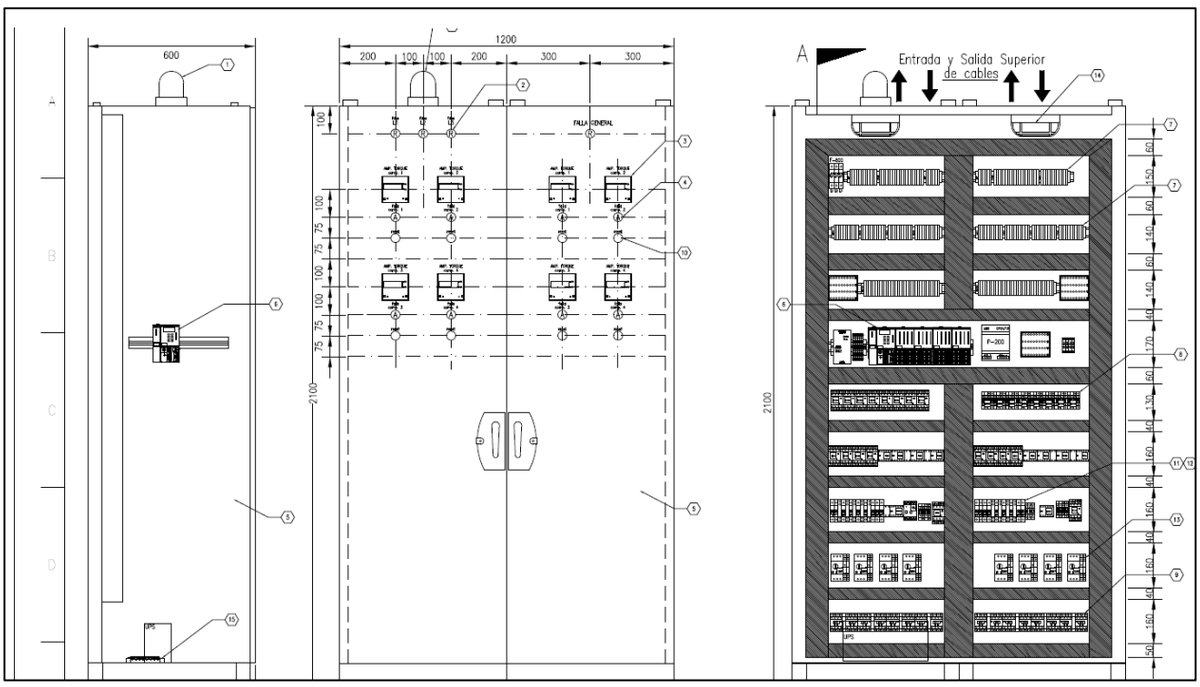
Fuente: Programa AC31 PLC1 Estación Chorrillos.

Figura 2-1. Diagramas lógicos PLC1 Chorrillos.

2.3.1.2 Ingeniería de detalles

En esta fase quedan definidos los componentes o partes que forman el sistema, y se elaboran los documentos de ingeniería para llevar el proyecto a la práctica. Se considera la entrega de los planos de disposición y alambrado que se muestran en la figura 2-2 para el gabinete de control intervenido:

- PLC ventilación estación Chorrillos.



Fuente: Planos disposición FSM

Figura 2-2. Planos disposición gabinete sala eléctrica estación chorrillos.

2.3.1.3 Programación y Configuración Sistema de Control

En este ítem se consideran todos los servicios de configuración necesarios, de manera de permitir el control tanto local como remoto (PCD) de los equipos asociados a los sistemas definidos: Compuertas Chorrillos (oriente y poniente) y ventiladores del tramo hospital-Chorrillos.

El desarrollo de la programación y configuración considera lo siguiente:

- Configuración de comunicación con equipos de red de campo bajo Modbus Serial, tales como RTU (comunicación a PCD), Panel HMI existente, y VDFs.
- Definición de estándares de bloques de programación y el uso de diferentes editores de acuerdo a las lógicas a implementar.
- Configuración del nuevo PLC con las lógicas de control en base a diagramas obtenidos en punto 2.3.1.1.

Se considera una duración de 8 semanas para esta configuración.

2.3.1.4 Hardware del Sistema de Control

Se propone reemplazar en gabinetes existentes del sistema de control de ventilación los PLCs y sus módulos de IO.

El hardware del Sistema de Control propuesto comprende los equipamientos de ABB AC500.

Las consideraciones generales son:

- La plataforma de Control será basada en PLCs AC500
- El PLC contará con su fuente de poder y las bases de montaje correspondientes.
- El PLC tendrá capacidad para comunicación Modbus RTU, Protocolo con el cual deben comunicarse los equipos al sistema de control mediante la RTU.
- El PLC tendrá sus módulos de IO necesarios para la supervisión y accionamiento de compuertas.

A continuación, se resume el suministro en la tabla 2-1 de los elementos del Sistema de Control AC500 necesarios para cumplir con lo requerido en primera etapa:

Tabla 2-1. Suministros del sistema de control ABB AC500.

Ítem	Descripción	Referencia	Cantidad
	Hardware control gabinete Control Estación Chorrillos		**1**
	D023 - SD833 Power Supply Device,	3BSC610066R1	1
	PM573-ETH AC500, Prog.Logic Controller 512kB	1SAP130300R0271	1
	TB511-ETH AC500, Terminal Base,1slot	1SAP111100R0270	1
	MC502 Memory card (2 GB SD card)	1SAP180100R0001	1
	DI524: S500, Digital Input Module 32DI	1SAP240000R0001	2
	DX522: S500, Digital I/O Module 8DI/8DO	1SAP245200R0001	2
	TU515: S500, I/O Terminal Unit,24VDC	1SAP212200R0001	2
	TU531: S500, I/O Terminal Unit,230VAC	1SAP217200R0001	2
	TA524:AC500, Dummy Coupler Module	1SAP180600R0001	1

Fuente: Elaboración propia, basada en catalogo ABB.

2.3.1.5 Estación de Ingeniería

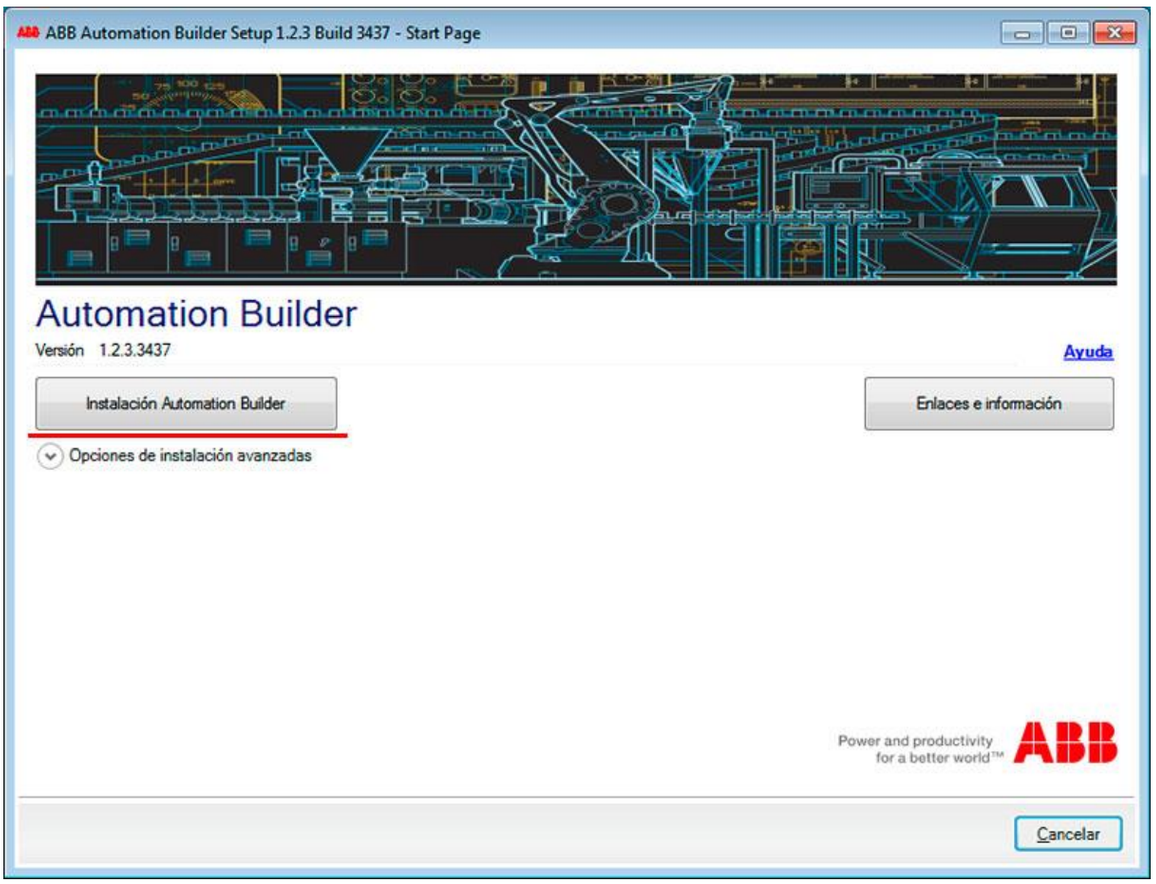
Se considera dentro del suministro un notebook estación de ingeniería con el software Automation Builder 1.2 ver figura 2-3 necesario para realizar la configuración del sistema. A continuación, se detalla en la tabla 2-2 el equipo considerado.

Tabla 2-2. Suministros de la estación de ingeniera.

Ítem	Descripción	Referencia	Cantidad
	Notebook Estación de Ingeniería		**1**
	Notebook Lenovo L450 4G 500 W8PD (*)	20DS001JCL (*)	1
	Licencia Automation Builder 1.2 - Standard	1SAS010000R0101	1

Fuente: Elaboración propia, basada en catalogo ABB.

(*) El equipo considerado tiene características iguales o similares al notebook mencionado. El modelo de notebook suministrado finalmente dependerá de la disponibilidad en el mercado.



Fuente: Pagina web new.abb.com

Figura 2-3. Automation Builder.

2.3.1.6 Simulaciones y Pruebas CAT

Estas actividades contarán con la participación de 2 especialistas de FSM en las etapas de simulación que se realicen a la lógica desarrollada, como también en las pruebas con la aplicación terminada (CAT), antes del montaje de los equipos en terreno.

Previo a estas pruebas, se presentarán los protocolos correspondientes, de manera que sean revisados por Metro Valparaíso

Estas actividades se considera que serán realizadas en las oficinas de FSM en Viña del Mar, en 3 días en su primera etapa, contando con 2 especialistas de FSM.

Para estas pruebas, se considera que el trabajo será desarrollado en jornadas de lunes a viernes, con 8 horas diarias, más una hora de colación.

2.3.1.7 Servicios en Terreno

El servicio en las instalaciones de Metro Valparaíso se considera la asistencia a terreno de 2 especialistas de FSM por un periodo de 2 semanas. Las actividades que se realizarán serán las siguientes:

- Montaje y Cableado de equipos en gabinetes existentes de Salas eléctricas en estaciones Miramar, Viña del Mar, Hospital y Chorrillos.
- Pruebas y Comisionamiento
- Puesta en Servicio
- Acompañamiento

Todas las actividades en terreno están definidas con un turno de 5x2 días, considerando 8 horas diarias de trabajo, más 1 hora de colación, en horario diurno.

2.3.2 Segunda Etapa - Estación Hospital

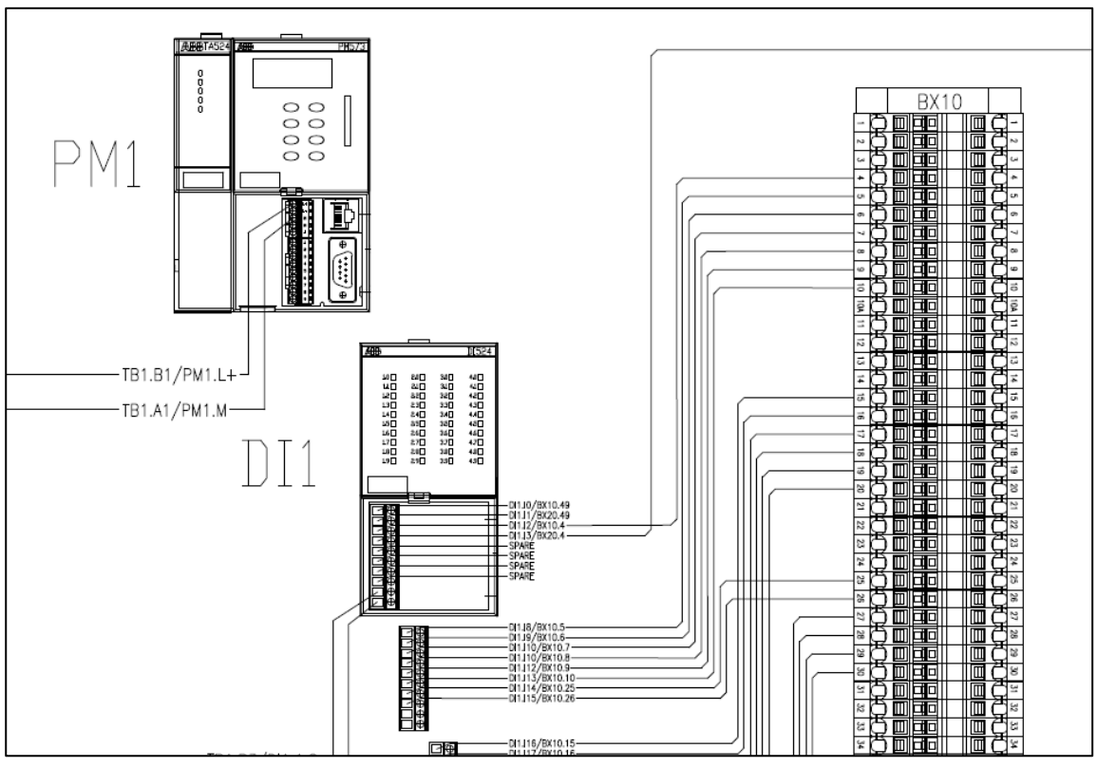
En esta etapa se consideran los servicios y suministros requeridos para implementar la migración del sistema de control de ventilación en Estación Hospital. Esto considera el PLC que existe en esta estación y el control de los siguientes equipos:

- Compuertas Hospital (oriente y poniente)
- Ventiladores del Tramo Viña del Mar - Hospital.

2.3.2.1 Ingeniería de detalles

Se considera la entrega de los planos de disposición como y alambrado como se muestra en la figura 2-4 para el gabinete de control intervenido:

- PLC Ventilación Estación Hospital.



Fuente: Planos Alambrado FSM

Figura 2-4. Planos alambrados gabinete sala eléctrica estación hospital.

2.3.2.2 Programación y Configuración Sistema de Control

Este ítem considera todos los servicios de configuración necesarios, de manera de permitir el control tanto local como remoto (PCD) de los equipos asociados a los sistemas definidos:

- Compuertas Hospital (oriente y poniente)
- Ventiladores del Tramo Viña del Mar - Hospital.

Se toma como base para la configuración la programación realizada en la primera etapa-piloto y se adapta al control de los equipos mencionados. Se considera una duración de 1 semana para esta configuración.

2.3.2.3 Hardware del Sistema de Control

Se propone reemplazar en gabinetes existentes del sistema de control de ventilación los PLCs y sus módulos de IO.

El hardware del Sistema de Control propuesto comprende los equipamientos de ABB AC500.

Las consideraciones generales son las mismas que se tuvieron en la primera etapa.

2.3.2.4 Simulaciones y Pruebas CAT

Estas actividades contarán con la participación de 2 especialistas de FSM Ltda., en las etapas de simulación que se realicen a la lógica desarrollada, como también en las pruebas con la aplicación terminada (CAT), antes del montaje de los equipos en terreno.

Previo a estas pruebas, se presentarán los protocolos correspondientes, de manera que sean revisados por Metro Valparaíso Estas actividades se considera que serán realizadas en las oficinas de FSM en Viña del Mar, en 3 día en su segunda etapa, contando con 2 especialistas de FSM. Para estas pruebas, se considera que el trabajo será desarrollado en jornadas de lunes a viernes, con 8 horas diarias, más una hora de colación.

2.3.2.5 Servicios en Terreno

El servicio en las instalaciones de Metro Valparaíso se considera la asistencia de 2 especialistas de FSM por un periodo de 1 semana. Las actividades que se realizarán serán las siguientes:

- Montaje y Cableado de equipos en gabinetes existentes de Salas eléctricas en estación Hospital.
- Pruebas y Comisionamiento
- Puesta en Servicio
- Acompañamiento

Todas las actividades en terreno están definidas con un turno de 5x2 días, considerando 8 horas diarias de trabajo, más 1 hora de colación, en horario diurno.

2.3.3 Tercera Etapa - Estación Viña del Mar

En esta etapa se consideran los servicios y suministros requeridos para implementar la migración del sistema de control de ventilación en la Estación Viña del Mar que es una réplica de los puntos de la segunda etapa donde se considera la ingeniera de detalle, programación y

configuración, hardware, simulaciones y pruebas CAT, servicio en terreno. Todo esto considera el PLC que existe en esta estación y el control de los siguientes equipos.

- Compuertas Viña del Mar (oriente y poniente)
- Ventiladores del Tramo Miramar - Viña del Mar.

2.3.4 Cuarta Etapa - Estación Miramar

En esta etapa se consideran los servicios y suministros requeridos para implementar la migración del sistema de control de ventilación en la Estación Miramar que es una réplica de los puntos de la segunda etapa donde se considera la ingeniera de detalle, programación y configuración, hardware, simulaciones y pruebas CAT, servicio en terreno. Todo esto considera el PLC que existe en esta estación y el control de los siguientes equipos.

- Compuertas Miramar (oriente y poniente)
- Ventiladores del Tramo Rampa Poniente - Miramar.

2.3.5 Quinta Etapa - Estación Chorrillos

En esta etapa se consideran los servicios y suministros requeridos para implementar la migración del sistema de control de ventilación en la Estación Chorrillos que es una réplica de los puntos de la segunda etapa donde se considera la ingeniera de detalle, programación y configuración, hardware, simulaciones y pruebas CAT, servicio en terreno. Todo esto considera el segundo PLC que existe en esta estación y el control de los siguientes equipos.

- Ventiladores del Tramo Rampa Oriente - Chorrillos.

2.4 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MONTAJE

A continuación, se detallan las actividades que conforman la migración del hardware. Esta secuencia de actividades representa, en general, el trabajo realizado en cada gabinete eléctricos de las estaciones del sistema de ventilación.

2.4.1 Preparación al montaje del equipo

Previo a realizar las tareas de desmontaje y montaje de los equipos se verifica que existan las condiciones de seguridad necesarias para la realización de las tareas:

- Fotografías de los leds de cada canal antes de la intervención (entradas digitales).
- Desenergizar el gabinete
- Chequeo de energía cero.

2.4.2 Retiro de cableado

Para poder retirar el PLC existente, se debe realizar un proceso de desconexión de este, incluyendo la desconexión de fuentes de poder y borneras. Las principales desconexiones que se realizar son las siguientes:

- Desconexión e identificación de cableado de comunicación.
- Desconexión e identificación de borneras y cableado correspondiente a entradas y salidas conectadas al PLC.

2.4.3 Retiro de PLC

Luego del retiro del conexionado, corresponde el desmontaje de los equipos y partes del tablero. Los elementos a desmontar son:

- Desmontaje de tarjetas y bases que posea el PLC existente.
- Desmontaje de PLC existente.
- Desmontaje de borneras existentes.

No se retira la fuente de poder existente para utilizarla para alimentar los circuitos de potencia. La nueva fuente que se instala, alimenta al nuevo PLC.

2.4.4 Montaje de nuevo PLC PM573

Una vez desmontado el PLC existente, se procede a las tareas de montaje del nuevo PLC AC500, PM573 con todas sus partes las que se detallan a continuación:

- Reemplazo de canaleta inferior al PLC.
- Reubicación de riel din del PLC
- Montaje de fuente de poder del PLC.

- Montaje de controlador PM573.
- Montaje de módulos de entrada y salida.
- Borneras y elementos de seguridad.

2.4.5 Cableado y conexión del PLC

Una vez instalado el PLC y las borneras, se traza el cableado para las conexiones necesarias. Considerar, en esta etapa, que cada cable debe poseer una marca que lo distinga, estas son marcas con material termo-contraíble. Como se mencionó en el punto anterior se requiere una modificación de las bandejas que soportan el cableado que llega al PLC, esta modificación consiste en cambiar la bandeja inferior (40 mm), por una de mayor capacidad (60 mm). Para el proceso de cableado se utilizarán los siguientes materiales:

- Cable 1.5 mm libre de alógenos (color negro).
- Marcas termo-contraíbles.

2.4.6 Pruebas de conexionado

Luego de conectar todos los elementos del tablero de control, es realiza una revisión según planos y pruebas punto a punto para contrastar que las conexiones estén hechas de manera correcta. En esta etapa se considera un tiempo para corrección de cableado y marcas.

2.4.7 Pruebas de funcionamiento del nuevo PLC

Es necesario que, una vez revisadas y chequeadas todas las conexiones, se realicen pruebas con el PLC para verificar el correcto funcionamiento del sistema de control. Para esta etapa es necesario coordinar con personal de Metro Valparaíso.

En primera instancia, se realizarán pruebas a nivel local comprobando el funcionamiento, desde terreno, de los VDF y compuertas que controle el PLC. Habiéndose realizado correctamente las pruebas locales con el PLC, se realizan pruebas de funcionamiento del sistema desde la sala de control.

2.5 PRUEBA COMPLETA DEL SISTEMA

Finalizada la quinta etapa se realiza una prueba global del sistema. En particular se establecen pruebas locales (desde paneles de operación en cada estación) y remotas (desde el PCC) de todas las estaciones verificando que el sistema se encuentra funcionando de acuerdo a lo esperado por Metro Valparaíso. Es una prueba protocolizada la cual es firmada por las partes y desde este momento comienza a regir la garantía del proyecto.

CAPÍTULO 3: CONDICIONES COMERCIALES Y PRUEBAS FINALES

3 CONDICIONES COMERCIALES Y PRUEBAS FINALES

En el presente capítulo se mostrarán las condiciones comerciales generales, el precio de los productos y servicios descritos en los puntos anteriores, en donde se determinará el monto y los recursos involucrados para migrar los PLCs del sistema actual de control del túnel de metro Valparaíso por uno más moderno que es el AC500. En conjunto se mostrarán los resultados obtenidos para la prueba CAT (Configuration Acceptance Test), y prueba SAT (Site Acceptance Test); el objetivo es verificar y dejar constancia que el sistema suministrado cumple con los requisitos especificados.

3.1 PRUEBAS CAT

Las actividades a realizar durante las pruebas CAT (Configuration Acceptance Test), son con el fin de dejar constancia del buen funcionamiento de la configuración del sistema de control que FSM Ltda. entrega para el proyecto, comprobando la correcta configuración de las lógicas de operación, asignación de IO alambrado y comunicaciones.

El servicio se desarrollará en las dependencias de FSM contando con al menos 1 especialista de FSM. Para la inspección se utilizará el software ABB Automation Builder 2.1 – Standard.

Ya que no se contará con un gabinete de I/O, la realimentación de las entradas y salidas fueron simuladas.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la configuración, esta quedo validada para uso como suministro del proyecto.

3.1.1 Revisión asignación entradas y salidas digitales

Utilizando el documento del listado IO generado en etapa de ingeniería del proyecto por FSM Ltda., se verificaron las configuraciones realizadas de acuerdo a los parámetros proporcionados en la tabla 3-1.

Tabla 3-1. Parámetros aprobación de señales digitales.

TAG	Descripción	Modulo AC500	Canal AC500	Dirección AC500	Aprobación		Observaciones
					SI	NO	
EP_PEM	Parada de Emergencia – Escotilla Poniente	IN1	I0	%IX0.0			
EO_PEM	Parada de Emergencia – Escotilla Oriente	IN1	I1	%IX0.1			
EP_SMA	Llave Manual/Automático – Escotilla Poniente	IN1	I2	%IX0.2			
EO_SMA	Llave Manual/Automático – Escotilla Oriente	IN1	I3	%IX0.3			
---	Reserva	IN1	I4	%IX0.4			
---	Reserva	IN1	I5	%IX0.5			
---	Reserva	IN1	I6	%IX0.6			
---	Reserva	IN1	I7	%IX0.7			
C1M_EP_CMDC	Comando Cerrar - Compuerta 1 Escotilla Poniente	OUT1	I0	%QX58.0			
C1M_EP_CMDA	Comando Abrir - Compuerta 1 Escotilla Poniente	OUT1	I1	%QX58.1			
C2M_EP_CMDC	Comando Cerrar - Compuerta 2 Escotilla Poniente	OUT1	I2	%QX58.2			
C2M_EP_CMDA	Comando Abrir - Compuerta 2 Escotilla Poniente	OUT1	I3	%QX58.3			
C3M_EP_CMDC	Comando Cerrar - Compuerta 3 Escotilla Poniente	OUT1	I4	%QX58.4			

Fuente: Elaboración propia, basada en listado IO del proyecto.

3.1.2 Revisión asignación direcciones modbus

Utilizando el documento del listado IO generado en etapa de ingeniería del proyecto por FSM Ltda., se verificaron las configuraciones realizadas de acuerdo a los parámetros proporcionados con la siguiente 3-2 para la asignación de direcciones modbus del proyecto.

Tabla 3-2. Parámetros aprobación asignación de direcciones Modbus.

TAG	Descripción	Flujo	Esclavo	Dirección	Aprobación		Observaciones
					SI	NO	
RX2_40004	Lectura – Estados VDF #1	L	2	4			
RX2_40005	Lectura – Velocidad VDF #1	L	2	5			
RX2_40006	Lectura – Potencia VDF #1	L	2	6			
RX2_40010	Lectura – Temperatura VDF #1	L	2	10			
RX2_40011	Lectura – Vibraciones VDF #1	L	2	11			
RX2_40012	Lectura- Otros modos VDF #1	L	2	12			
TX2_40001	Escritura – Comandos a VDF #1	E	2	1			
TX2_40002	Escritura – Setpoint a VDF #1	E	2	2			
RX3_40004	Lectura – Estados VDF #2	L	3	4			
RX3_40005	Lectura – Velocidad VDF #2	L	3	5			
RX3_40006	Lectura – Potencia VDF #2	L	3	6			
RX3_40010	Lectura – Temperatura VDF #2	L	3	10			
RX3_40011	Lectura – Vibraciones VDF #2	L	3	11			

Fuente: Elaboración propia, basada en listado IO del proyecto.

3.1.3 Revisión operacional de lógica

En este apartado se revisa que la lógica configurada tenga la misma funcionalidad que el sistema de origen. Se presentan estados y comandos en HMI de prueba. Estos HMI representan los puntos de operación desde PCD y Panel View de Boletería, se adicionan a estos HMI provisorios, botones e indicadores que representarán estados y comandos de terreno. Como ejemplo se muestra en la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Parámetros Revisión operacional de lógica.

Equipo	Condición	Prueba	Resultado Esperado	Aprobación		Observaciones
				Si	No	
Comp Poniente	PV en Local, compuerta cerrada, sin PEM, SMA en remoto, No sobrecarga, no torque alto.	Comando Abrir –PV	Se activa relé simulado de apertura hasta que se acciona limit switch apertura			
Comp Poniente	PV en Local, compuerta abierta, sin PEM, SMA en remoto, No sobrecarga, no torque alto.	Comando Cerrar – PV	Se activa relé simulado de cierre hasta que se acciona limit switch cierre			
Comp Poniente	PV en Local, compuerta abierta, sin PEM, SMA en remoto, No sobrecarga, no torque alto	Comando Abrir –PV	No se activa relé apertura por encontrarse abierta			
Comp Poniente	PV en Local, compuerta cerrada, sin PEM, SMA en remoto, No sobrecarga, no torque alto.	Comando Cerrar – PV	No se activa relé cierre por encontrarse cerrada			
Comp Poniente	PEM activa	Cualquier comando	No se activa ningún relé por estar activa la PEM			
Comp Poniente	SMA en local	Cualquier comando	No se activa ningún relé por estar compuerta en local			
Comp Poniente	Sobrecarga activa (lógica segura)	Cualquier comando	no se activa ningún relé por estar compuerta en sobrecarga			
Comp Poniente	Torque alto activo	Cualquier comando	no se activa ningún relé por estar compuerta en torque alto			
Comp Poniente	PV en Local, compuerta cerrada, sin PEM, SMA en remoto, No sobrecarga, no torque alto.	Comando Abrir – PCC	no se activa ningún relé por estar compuerta con comandos desde PCC			

Fuente: Elaboración propia, basada en filosofía de control del sistema.

3.2 PRUEBAS SAT

Las actividades realizadas durante las pruebas SAT (Site Acceptance Test) de comunicaciones, son con el fin de dejar constancia del buen funcionamiento de la comunicación Modbus del sistema de control que FSM Limitada entrega para el proyecto migración PLCs Ventilación Metro Valparaíso.

Se deberá constatar que el cada PLC AC500 por estación tenga comunicación Modbus RTU con cada uno de los esclavos que exista. Para esto se comprobará respuesta Modbus con cada uno de los esclavos y posteriormente se realizaron pruebas operacionales.

3.1.1 Revisión operacional de comunicaciones

Se revisa que exista comunicación con cada uno de los esclavos Modbus RTU.

Se realizan pruebas que permiten comprobar que existe comunicación con todos los esclavos en su conjunto.

A continuación, se detalla la forma en que se realizaron las pruebas:

a. Se realizarán partidas y detenciones de los ventiladores en modo remoto, considerando que no existan personas cercanas a los ventiladores.
b. Primero se realizará una partida de un VDF con el PLC Actual (antes de intervenir el gabinete) en modo remoto (desde PCD). Se visualizará las señales de este ventilador en Panel de boletería Posteriormente se dará detención del Mismo ventilador desde PCD y se observan las señales en Panel.
c. Una vez detenido el ventilador se procederá a desconectar la comunicación del PLC Actual (maestro Modbus) y se conectará el Bus Modbus al Nuevo PLC AC500. Se visualizará en línea con este PLC que exista respuesta a las tramas modbus con cada uno de los esclavos: VDF1, VDF2, panel y RTU.
d. Se realizaron las siguientes pruebas mostradas en la tabla 3-4:

Tabla 3-4. Pruebas operacionales del sistema.

Equipo	Condición	Prueba	Resultado Esperado	Aprobación		Observaciones
				Si	No	
VDF1/AC500	Ventilador detenido en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Comando Partir remoto	En Panel local debiera partir el ventilador. En PCD se visualiza equipo en funcionamiento			
VDF1/AC500	Ventilador funcionando en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Cambio de Referencia desde PCD	En Panel local debiera variar velocidad. En PCD se visualiza equipo en con nueva velocidad.			
VDF1/AC500	Ventilador funcionando en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Comando detener remoto	En Panel local debiera detenerse el ventilador. En PCD se visualiza equipo en detención			
VDF2/AC500	Ventilador detenido en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Comando Partir remoto	En Panel local debiera partir el ventilador. En PCD se visualiza equipo en funcionamiento			
VDF2/AC500	Ventilador funcionando en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Cambio de Referencia desde PCD	En Panel local debiera variar velocidad. En PCD se visualiza equipo en con nueva velocidad.			
VDF2/AC500	Ventilador funcionando en modo remoto. Panel en modo remoto. Se observa panel de boletería con PLC AC500	Comando detener remoto	En Panel local debiera detenerse el ventilador. En PCD se visualiza equipo en detención			
AC500	Comunicación Establecida con PCD	Forzar una señal en un canal de Entrada digital asignado a la apertura o cierre de alguna compuerta	Debiera mostrase en PCD el cierre o apertura de la compuerta asignada al canal forzado			

Fuente: Elaboración propia, basada en filosofía de control del sistema de ventilación.

3.3 PUNCHLIST

Los pendientes y no conformidades levantados durante el desarrollo de la inspección se dejaron registrados en la siguiente tabla 3-5, quedando a cargo de su resolución el Líder de Ingeniería del proyecto, para el caso no se registraron pendientes.

Tabla 3-5. Pruebas pendientes.

Ítem	Descripción	Solicita	Responsable	Firma	Fecha Aprobación
1					
2					
3					
4					
5					

Fuente: Elaboración propia, basada en una tabla Punchlist.

3.4. COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS

En esta sección se analizarán los costos asociados a todos los materiales e insumos que se deberán adquirir para fines de instalación, implementación y ejecución del proyecto. Para facilitar el análisis del costo del proyecto, a continuación, se realiza un listado detallando los materiales e insumos necesarios del proyecto, indicando además la cantidad requerida en la siguiente tabla 3-6. El valor en los insumos es dado por ABB a FSM como una empresa value provider los valores en dólares es con fecha 24 de abril del 2020.

Tabla 3-6. Costos suministros ABB.

Article number	Qty	Description	Unit IP [USD]	Total IP [USD]
1SAS010000R0101	1	Automation Builder 1.2 (Standard)	247,65	247,65
3BSC610066R1	5	D023 - SD833 Power Supply Device	301,09	1.505,45
1SAP130300R0271	5	PM573-ETH AC500, Prog.Logic Controller 512kB	792,49	3.962,45
1SAP111100R0270	5	TB511-ETH AC500, Terminal Base,1slot	123,83	619,15
1SAP180100R0001	5	MC502 Memory card (2 GB SD card)	72,32	361,6
1SAP240000R0001	8	DI524: S500, Digital Input Module 32DI	196,14	1.569,12
1SAP245200R0001	8	DX522: S500, Digital I/O Module 8DI/8DO	165,43	1.323,44
1SAP212200R0001	8	TU515: S500, I/O Terminal Unit,24VDC	46,56	372,48
1SAP217200R0001	8	TU531: S500, I/O Terminal Unit,230VAC	55,47	443,76
1SAP180600R0001	5	TA524:AC500, Dummy Coupler Module	6,94	34,7
			TOTAL	**10.192,15 [USD]**

Fuente: Elaboración propia, basada en costos de suministros de ABB.

3.5. COSTOS DE RECURSOS HUMANOS

En esta sección, se indicarán los costos asociados a la mano de obra del proyecto, es decir, se abordarán los costos del personal que estará involucrado en el desarrollo del proyecto.

Lo primero que se debe hacer para establecer el costo de la mano de obra requerida por este proyecto, es definir claramente las tareas que se deben realizar y determinar las HH (hora hombre) necesarias para la ejecución de estas como se muestra en la tabla 3-7.

En la tabla 3-8 se indica el costo del servicio de migración en la estación prototipo de chorrillos y en la tabla 3-9 se inda los costos que tiene el servicio en una estación normal.

Tabla 3-7. Costos HH de FSM

Horas Hombre	Total [USD]
HH Jefe Proyecto	US$ 45,00
HH Ingeniero	US$ 30,00
HH Técnico	US$ 18,00
HH Proyectista	US$ 20,00
Viáticos en Fábrica	US$ 50,00
Viático en terreno	US$ 70,00
HH Ing. Terreno	US$ 38,75
HH jefe terreno	US$ 53,75
HH Técnico Terreno	US$ 26,75

Fuente: Elaboración propia, basada en información de la empresa.

Tabla 3-8. Costos Servicios total de estación prototipo.

Cantidad	Descripción	US$/Unit.	US$/Total	Sub-Item
Manejo de Proyecto y Riesgo				**313**
1	Despacho Bodegas FSM	74,20	74,20	
45	Management	30,00	1.350,00	
0	Costo Qmarket (0,45%) o 200 USD	200,00	0,00	
Levantamiento (1 Mes)				**4.860**
180	HH Ing Levantamiento	18,00	3.240,0	
90	HH Tec Levantamiento	18,00	1.620,0	
Configuración (1 Mes)				**3.969**
180	HH Ing Configuración	18,00	3.240,00	
135	HH Tec Configuración	18,00	2.430,00	
Pruebas CAT - SAT(1 Mes)				**889**
180	HH Ing Configuración	18,00	3.240,00	
45	HH Tec Configuración	18,00	810,00	
Ingenieria de Detalles				**203**
45	Planos (5 Planos por Estación, 4 Estaciones)	18,00	810,00	
Montaje equipos Puesta en Servicio				**356**
90	1 Persona, 2 días	18,00	1.620,00	
Estación de Ingeniería				**1.479**
1	Estación de Ingeniería	247,65	247,65	
0	Recargo Hardware ABB < USD 1600 (12%)	29,72	0,00	
1	Internacion Hardware ABB (5%) Gestion de Aduana	12,38	12,38	
1	Impuesto al Software (42,86%)	106,14	106,14	
1	Nootebook	1.112,94	1.112,94	
Hardware AC500 CHO				**2.335**
1	Hardware AC500 CHO	2.223,87	2.223,87	
0	Recargo Hardware ABB < USD 1600 (12%)	266,86	0,00	
1	Internacion Hardware ABB (5%)	111,19	111,19	
	SUBTOTAL US$			**14.403**

Fuente: Elaboración propia, basada en costos de servicios FSM.

Tabla 3-9. Costos Servicios total de una estación normal.

Cantidad	Descripción	US$/Unit.	US$/Total	Sub-Item
Manejo de Proyecto y Riesgo				**313**
1	Despacho Bodegas FSM	74,20	74,20	
45	Management	30,00	1.350,00	
0	Costo Qmarket (0,45%) o 200 USD	200,00	0,00	
Configuración (1 Mes)				**479**
180	HH Ing Configuración	18,00	3.240,00	
135	HH Tec Configuración	18,00	2.430,00	
Pruebas CAT - SAT(1 Mes)				**889**
180	HH Ing Configuración	18,00	3.240,00	
45	HH Tec Configuración	18,00	810,00	
Ingenieria de Detalles				**203**
45	Planos (5 Planos por Estación, 4 Estaciones)	18,00	810,00	
Montaje equipos Puesta en Servicio				**356**
90	1 Persona, 2 días	18,00	1.620,00	
Hardware AC500 HO				**2.335**
1	Hardware AC500 HO	2.223,87	2.223,87	
0	Recargo Hardware ABB < USD 1600 (12%)	266,86	0,00	
1	Internacion Hardware ABB (5%)	111,19	111,19	
	SUBTOTAL US$			**4.573**

Fuente: Elaboración propia, basada en costos de servicios FSM.

3.6 COSTOS TOTAL DE PROYECTO

Para calcular el costo total del proyecto, se toman los datos totales de todos los puntos ya mencionados más un porcentaje razonable de ganancia para FSM, los cuales son presentados en la Tabla 3-10, Los valores se presentarán en unidades de fomento (UF) debido a que este último varía acorde al IPC (Índice de Precios al Consumidor) y a la inflación en la economía chilena.

Tabla 3-10. Costos totales del proyecto.

DESCRIPCIÓN	Total [USD] Estación Piloto Chorrillos 1	Total [USD] Estación Hospital	Total [USD] Estación Viña del Mar	Total [USD] Estación Miramar	Total [USD] Estación Chorrillos 2
Levantamiento, estudio e ingeniería de control	6.210	-	-	-	-
Ingeniería de detalles	259	272	272	272	-
Programación y configuración sistema de control	5.072	643	643	643	333
Hardware Estación Chorrillos	2.817	2.958	2.958	2.958	1745
Estación de Ingeniería	1.785	-	-	-	-
Simulaciones y Pruebas CAT	1.136	1.193	1.193	1.193	635
Servicios de Terreno	455	478	478	478	272
Total Estación	17.734	5.544	5.544	5.544	2.985
Total Proyecto				37.351 [USD]	

Fuente: Elaboración propia, basada en costos totales.

El total del proyecto es de 37.351 [USD], este valor no incluye el porcentaje del IVA que será agregado en la factura.

Se factura en su equivalente en pesos chilenos, de acuerdo al valor de la USD observado a la fecha de facturación el día 19 de noviembre del 2019 es de $773,81.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cada día que pasa, se presentan nuevos avances en la tecnología y así se demuestra en la optimización de recursos, desarrollo de tareas y es por esto que el requerimiento en estar al día de las últimas tecnologías es lo primordial para una buena empresa.

En el proyecto presentado se logra concretar con éxito todo el plan de ejecución de la migración completando los objetivos específicos y el objetivo general de migrar los PLCs del sistema actual de control del túnel de metro Valparaíso por uno más moderno que es el AC500 de ABB, permitiendo al cliente en cualquier momento incorporar nuevas funcionalidades y poder realizar un mantenimiento apropiado.

Se realiza la migración utilizando el mismo proveedor de hardware y software ayuda a optimizar el tiempo de duración del proyecto, puesto que se tiene herramientas para asegurar el funcionamiento correcto del nuevo sistema.

Con las pruebas CAT y SAT de calidad realizadas al sistema final se asegura que el sistema mantiene su capacidad, además el desempeño adecuado de los operadores con el nuevo sistema de control muestra que este es funcional.

El proceso de migración tuvo un gran éxito gracias a la planificación anticipada de cada actividad logrando con ello aprovechar los recursos asignado, teniendo con ello un sistema de control que satisface los requerimientos solicitados por el cliente Metro Valparaíso.

Cuando se trabaje con sistemas de control antiguos, en los cuales no se cuente con toda la información, es imprescindible realizar un reconocimiento y levantamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

FSM LTDA. INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL. Antecedentes de la empresa. [en línea] [Consulta: Junio del 2019]. Disponible en: http://www.fsmltda.cl

ABB. Información de la empresa y manuales del sistema 800 XA. [en línea] [Consulta: Enero del 2019]. Disponible en: http://www.new.abb.cl