UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

MEJORAS EN LOS PROCESOS DE CHANCADO DE MINERAL COBRE EN TINTAYA MEDIANTE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

ELIZABETH MARÍA GAYOSO VELÁSQUEZ

Asesor:
Manuel Martín Ego-Aguirre Madrid

Lima – Perú
2018

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

……
Presidente

……
Jurado 1

……
Jurado 2

Entregado el: 17 de Julio del 2018

Aprobado por:

……..	**…….**
Graduando	**Asesor de Tesis:**
Elizabeth María Gayoso Velásquez	**Manuel Martín Ego-Aguirre Madrid**

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERIA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Elizabeth María Gayoso Velásquez, identificado/a con DNI Nº 42524569. Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi Informe Final – Trabajo de Suficiencia Profesional titulada:
MEJORAS EN LOS PROCESOS DE CHANCADO DE MINERAL COBRE EN TINTAYA MEDIANTE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de Informe Final – Trabajo de Suficiencia Profesional es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 17 de Julio de 2018.

……..……..
Elizabeth María Gayoso Velásquez
DNI N° 42524569

DEDICATORIA

A Carlos, mi esposo, por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS 7
ÍNDICE DE TABLAS 9
INTRODUCCIÓN 10
GENERALIDADES DE LA EMPRESA 11
Datos generales 11
Nombre o razón social de la empresa 11
Ubicación de la empresa 11
Giro de la empresa 11
Tamaño de la empresa 12
Breve reseña histórica de la empresa 12
Organigrama de la empresa 14
Misión, Visión y Política 14
Productos y clientes 14
Premios y certificaciones 14
Relación de la empresa con la sociedad 15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA QUE FUE ABORDADO 16
Caracterización del área en que se participó 16
Antecedentes y definición del problema 16
Objetivos. General y específicos. 18
Justificación 18
Alcances y limitaciones 19
MARCO TEÓRICO 20
Sistemas de Control Industrial 20
Definiciones 23
Componentes de un sistema de control 23
Proceso productivo del cobre 25
Proceso de Concentradora Tintaya 27
DESARROLLO DEL PROYECTO 33
Sistema de control distribuido planta Tintaya 33
Elementos que conforman el DCS SYMPHONY 35
Sistema de control - área Chancado 35
Oportunidades de mejora 44
Migración de la plataforma del sistema de control distribuido del área de chancado 45
Gestión del proyecto 47
ANÁLISIS Y RESULTADOS 69
Migración de señales 69
Migración de pantallas 74

Faceplates de Motores 75
Estaciones de trabajo y servidores 78
Conclusiones 81
Recomendaciones 82
REFERENCIAS 83
ANEXOS 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de Participación en Producción de Cobre según empresa 12
Figura 2. Organigrama de Compañía Minera Antapaccay 14
Figura 3. Niveles jerárquicos sistema de control distribuido 21
Figura 4. Arquitectura sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) 22
Figura 5. Instrumentos de Campo 23
Figura 6. Módulo de Entrada digital 24
Figura 7. Módulo de Entrada digital 24
Figura 8. Centro de Comando Foxboro 25
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de chancado planta Tintaya. 28
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de molienda planta Tintaya. 30
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de flotación planta Tintaya. 32
Figura 12. Arquitectura de control planta Tintaya 34
Figura 13. Gabinete de comunicación chancado primario 36
Figura 14. Gabinete de control chancado primario 37
Figura 15. Controlador BRC410 37
Figura 16. Módulos Serie System800xA 38
Figura 17. PLC marca Allen Bradley – Planta de agua. 39
Figura 18. Conexión PLC marca Allen Bradley – Planta de agua 40
Figura 19. Conexión PLC marca Allen Bradley – Chancadora Raptor 44
Figura 20. Nueva Arquitectura de control planta Tintaya 46
Figura 21. EDT proyecto 47
Figura 22. Diagrama GANTT del proyecto 48
Figura 23. Organigrama de proyecto 48
Figura 24. Field Controler Procesor FCP280 51
Figura 25. Estación de Operación H92 52
Figura 26. Servidor de Aplicación H90 53
Figura 27. Switch P0973JM 53
Figura 28. Switch P0973KJ 54
Figura 29. Arquitectura de control Foxboro - Área de Chancado 56
Figura 30. Proceso de configuración de lógica de control. 60
Figura 31. Proceso de configuración de pantallas para interface gráfica. 61
Figura 32. Diagrama Gantt de actividades Etapa 0 63
Figura 33. Cronograma de actividades Etapa 1 65
Figura 34 Cronograma de actividades Etapa 2 67
Figura 35. Diferencia de señales en Sistema de control del área Chancado. 70

Figura 36. Interfaz gráfica antes de la migración 75
Figura 37. Interfaz gráfica después de la migración 75
Figura 38. Faceplate de control de motores antes de la migración 77
Figura 39. Faceplates de control de motores después de la migración 77
Figura 40. Ciclo de Vida equipos Foxboro instalados 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulos en el gabinete de control chancado primario 38
Tabla 2. Características estación de operación COND27 39
Tabla 3. *Módulos en el gabinete de control chancado secundario* 42
Tabla 4. *Características estación de operación COND28* 43
Tabla 5. *Remplazo de módulos de entradas y salidas* 51
Tabla 6. *Características estación de trabajo H92* 52
Tabla 7. Características servidor H90 53
Tabla 8. Características Switch P0973JM 54
Tabla 9. *Características Switch P0973KJ* 55
Tabla 10. *Componentes gabinete de control* 57
Tabla 11. Componentes gabinete de comunicación 58
Tabla 12. *Componentes gabinete de control* 58
Tabla 13. *Componentes gabinete de comunicación* 58
Tabla 14. Componentes gabinete de comunicación Sala de servidores 60
Tabla 15. *Cantidad de señales antes y después de la migración del DCS* 69
Tabla 16. *Lista de señales adicionadas en el control de chancado primario* 70
Tabla 17. *Lista de señales adicionadas en chancado primario (continua)* 71
Tabla 18. *Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario* 71
Tabla 19. *Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario (continua)* 72
Tabla 20. *Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario (continua)* 73
Tabla 21. *Datos de faceplates de motores antes y después de la migración* 76
Tabla 22. *Cantidad de faceplate de control de motores por área* 76
Tabla 23. *Comparación de características estaciones de operación* 78
Tabla 24. *Estaciones y servidores remplazados / agregados al DCS* 79

INTRODUCCIÓN

A medida que pasan los años los sistemas de control industrial avanzan de la mano con la tecnología, esto permite que los usuarios puedan contar con mayores beneficios, como velocidades de procesamiento de datos, integración total de la planta, redundancia de procesamiento, entre otros.

Contar con un sistema de control industrial obsoleto está bastante relacionado a contar con equipos electrónicos obsoletos en nuestra vida diaria, probablemente seguirán funcionando después de la vida útil determinada por el proveedor, sin embargo, cuando fallan ya no se cuenta con el soporte técnico, ni con los repuestos para ponerlos nuevamente en funcionamiento, esto llevado a una planta industrial significa tiempos muertos y por ende perdidas económicas.

El presente trabajo busca explicar cómo se optimizó el proceso de planta Tintaya por medio de la migración de su sistema de control obsoleto a un sistema de control moderno, cuáles fueron los beneficios de esta migración y las razones por las que se optó por la migración.

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Datos generales

Compañía Minera Antapaccay es una de las operaciones de Glencore plc en Perú, produce concentrado de cobre, el cual es trasladado al puerto de Matarani para luego ser exportado a los países clientes.

Nombre o razón social de la empresa

Razón Social: Compañía Minera Antapaccay S.A.
RUC: 20114915026

Ubicación de la empresa

Departamento: Cusco
Provincia: Espinar
Distrito: Espinar
Altura: 4100 m.s.n.m.
Ubicado a 250 km al suroeste de la ciudad de Cusco y a 260 km de la ciudad de Arequipa.

Giro de la empresa

Glencore plc es una de las compañías productoras y comercializadoras más importantes de materia prima del mundo, dentro de sus principales productos tenemos: Minerales y Metales (cobre, níquel, aluminio, zinc), Energía (carbón y petróleo), Agricultura (cereales, algodón, aceites), tiene operaciones en 36 países. Las operaciones con las que cuenta Glencore en Perú son:

Perú Bar S.A., realiza operaciones logísticas para el sector minero.

Los Quenuales, tiene 78% de participación, tiene las operaciones mineras de Yauliyacu e Izcaycruz.

Antamina, socio con el 33.75%, es uno de los mayores productores de concentrado de cobre y Zinc.

Antapaccay, Compañía Minera Antapaccay S.A. es el quinto productor de cobre de nuestro país, tiene una participación del 8.44%. El año 2017 tuvo una producción de 206,493 TMF de cobre

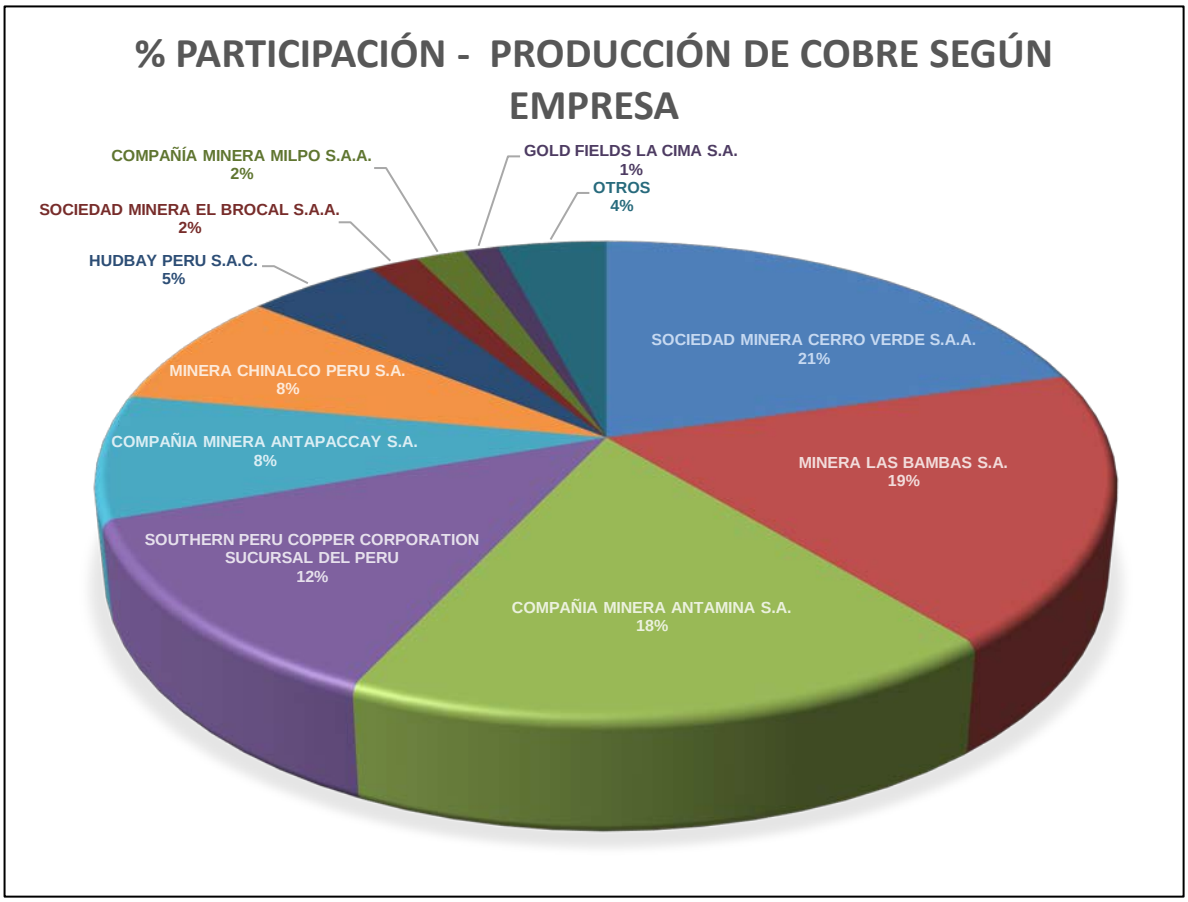


Figura 1. Porcentaje de Participación en Producción de Cobre según empresa
Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Tamaño de la empresa

Compañía Minera Antapaccay es considerada una gran empresa, en el 2016 registró 1375 trabajadores directos y llegan a 3500 trabajadores con contratistas.

Breve reseña histórica de la empresa

Las operaciones en Mina Tintaya iniciaron el año 1984 como propiedad de la empresa estatal Empresa Minera Especial Tintaya S.A. en ese entonces Mina Tintaya producía

1.6 millones de toneladas de cobre y 500000 onzas de oro. En 1994, como parte de las políticas del gobierno de la época, reducción de participación de capitales públicos, la empresa norteamericana Magma Cooper se adjudicó la buena pro de la unidad minera. El año 1996 la australiana Broken Hill Propetary Inc. (BHP), dedicada a la explotación de minerales y petróleo, adquiere Magma Cooper Company. En el 2001 mediante una fusión estratégica se una a Billinton y en Perú estarían representadas por BHP Billinton Tintaya S.A.

A 10 km de la operación Tintaya se inician las exploraciones de Antapaccay desde esta fase fue gestionado por BHP Billinton Tintaya hasta el año 2006 que Xstrata adquiere las operaciones en Perú que incluyen Mina Tintaya y el proyecto Antapaccay, cuya construcción inicia el año 2010 y producción el año 2012 como Compañía Minera Antapaccay S.A, así mismo Mina Tintaya inicia su fase de cierre de mina. En el 2013 Glencore indirectamente adquiere compañía minera Antapaccay como parte de la adquisición de Xstrata plc, desde la fecha hasta hoy Compañía Minera Antapaccay cuenta con la operación de Antapaccay y Tintaya que es indirectamente de propiedad absoluta de Glencore plc.

Organigrama de la empresa

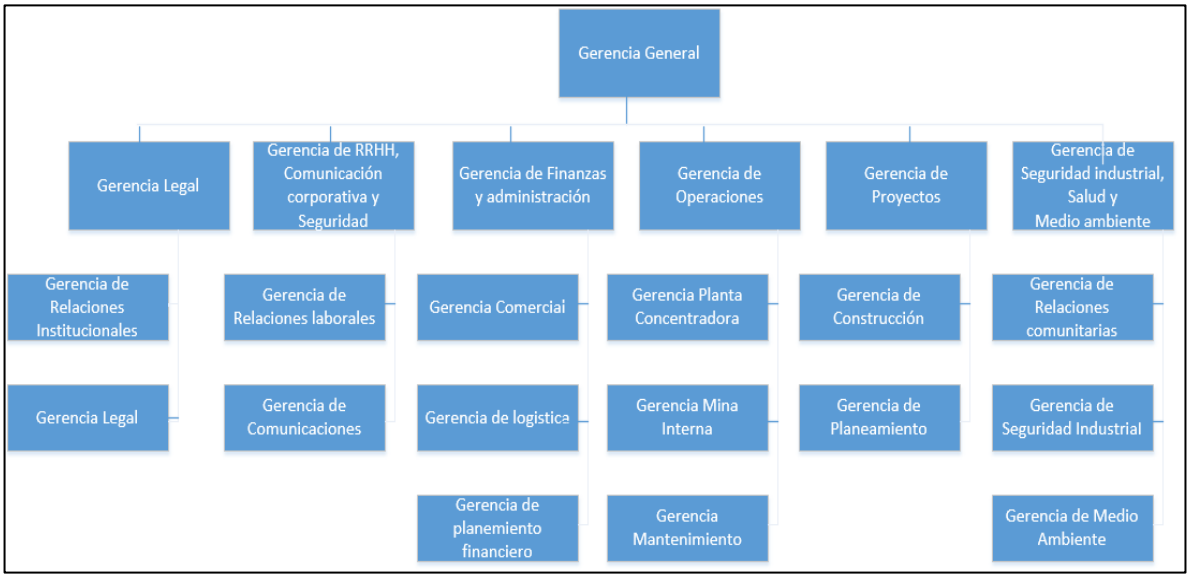


Figura 2. Organigrama de Compañía Minera Antapaccay

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Misión, Visión y Política

Glencore tiene como misión: “Crear valor, satisfacer la demanda mundial, el desarrollo sostenible como modelo y la excelencia como exigencia”.

Compañía Minera Antapaccay se maneja bajo los siguientes valores: “Seguridad, espíritu empresarial, simplicidad, responsabilidad y transparencia”.

Productos y clientes

Dentro de los productos de Compañía minera Antapaccay se encuentran:

Concentrado de cobre, zinc, oro y plata.

Premios y certificaciones

Compañía Minera Antapaccay S.A. cuenta con las siguientes certificaciones internacionales:

OHSAS 18001 Sistemas de Gestión de la Seguridad y salud en el trabajo

ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental

Relación de la empresa con la sociedad

Compañía Minera Antapaccay tiene un acuerdo con la provincia de Espinar denominado Convenio Marco, este acuerdo fue suscrito en 2003 y representa la experiencia de concertación más importante entre nuestra empresa y los pueblos de Espinar. El Convenio Marco es administrado por un Comité de Gestión integrado por las autoridades locales y provinciales, por representantes de las comunidades, organizaciones de la sociedad civil y la empresa.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA QUE FUE ABORDADO

Caracterización del área en que se participó

Compañía Minera Antapaccay S.A., en su operación de Antapaccay cuenta con un sistema de control distribuido de la marca Foxboro de Schneider Electric (Foxboro Control Software) instalado el 2012 con la puesta en marcha de la operación, el sistema de control distribuido permite integrar en una sola base de datos todas las señales, alarmas, variables, gráficos de las diferentes áreas. Esta plataforma de control con el pasar de los años se ha ido modernizando es así como todos los equipos se encuentran en etapa preferida, de acuerdo con el ciclo de vida de equipos Foxboro, quiere decir que se pueden continuar usando.

Por otro lado, en la operación de Tintaya se cuenta con un sistema de control distribuido de la marca ABB (Bailey Infi 90), el cual fue instalado entre el año 1998 y 2003, sin embargo, este sistema no ha sido actualizado de acuerdo con las recomendaciones de la marca. Una razón adicional que no permitió se realice la actualización adecuada de la plataforma es que se tenía pensado realizar el cierre de mina Tintaya el año 2012, año en el cual inicia producción Antapaccay, durante dos años la planta concentradora de Tintaya estuvo detenida, es el año 2015 que se evalúa usar la planta concentradora de Tintaya para procesar parte del mineral de la operación de Antapaccay ya que con ello podían elevar su producción de mineral concentrado. A partir de esa fecha parte del mineral de la operación de Antapaccay es llevado a la planta concentradora de Tintaya para obtener concentrado de cobre.

Antecedentes y definición del problema

Con la planta concentradora de Tintaya nuevamente en operación el área de mantenimiento eléctrico e instrumentación de Compañía Minera Antapaccay realizó la evaluación de actualizar su sistema de control ABB o migrar la plataforma al sistema de control de Foxboro, encontrando mayor beneficio en migrar la plataforma ya que con ello pueden manejar bajo una misma plataforma ambas operaciones.

Dentro de los puntos fundamentales que se tomaron en cuenta para la migración del sistema de control se tiene:

El hardware del sistema de control fue instalado entre los años 1995 y 2003, teniendo en algunos casos más de 20 años de antigüedad. Actualmente no se pueden conseguir los repuestos del hardware del sistema de control ya que los productos han sido descontinuados. Al hablar del hardware del sistema de control se hace referencia a los procesadores de control, módulos de entradas y salidas, módulos de comunicación, estaciones de operación.

El software del sistema de control fue migrado a una versión más reciente, sin embargo, presenta problemas con la comunicación modbus, ya que el hardware no es compatible. Cuando nos referimos a Software hablamos de la aplicación que se usa para el control y monitoreo (cliente), así como para el desarrollo de estos (ingeniería).

El personal de mantenimiento no cuenta con las nociones básicas para realizar modificaciones simples en el sistema de control, como adicionar una nueva señal, agregar alarmas, modificar señales, etc. Por la antigüedad de la planta el personal ha ido rotando y hoy se cuenta con 1 persona por turno que no cuenta con la capacitación necesaria para poder solucionar los problemas que se presentan o los cambios que se requiere realizar.

De los aspectos listados líneas arriba se desencadenaban los siguientes problemas:

No contar con remplazo de hardware (módulos de entradas, salidas, comunicaciones), ya que los productos fueron descontinuados por la marca. Algunos módulos son vendidos por otros proveedores, pero a 10 veces su precio y no cuentan con garantía de producto. Esto encarece el mantenimiento del hardware e incluso dejar inoperativo un módulo de señales y trasladar las señales a otro modulo con canales disponibles; demandando paradas de planta para realizar estas actividades.

El proveedor del sistema de control vigente realizó la actualización del software a una versión más nueva en el año 2008, sin embargo, esta presentó problemas con las comunicaciones modbus que existían en algunas áreas, esto llevó a perder comunicación con áreas auxiliares. Es decir que ya no se puede monitorear las áreas auxiliares y se tiene que movilizar personal para monitorear localmente los instrumentos de campo.

Documentación del sistema de control desactualizada, con el paso de los años se realizaron algunas modificaciones en el hardware del sistema de control, sin embargo, no se vieron reflejados en los planos ni documentos del sistema de control, por lo que de requerirse realizar alguna modificación en este se tiene que realizar durante una parada de planta o área programada ya que podría verse afectado un equipo que no corresponde.

Falta de identificación de cables en los gabinetes de control (hardware), al igual que el caso anterior a medida que se han realizado modificaciones en el hardware (agregar, quitar señales) no se han realizado las identificaciones de los cables, esto dificulta poder identificar un problema en el cableado de un instrumento de campo, aumentando las horas para la corrección de fallas.

Objetivos. General y específicos.

Objetivo general: Optimizar el proceso de la planta concentradora Tintaya mediante la migración del sistema de control a la plataforma Foxboro de Schneider Electric.

Justificación

Al realizar la migración del sistema de control a la plataforma Foxboro de Schneider Electric el usuario final contará con los siguientes beneficios:

Mejorar el proceso de planta Tintaya, ya que se tendrá comunicación directa con planta Antapaccay y puede manejarse en tiempo real los datos de producción de ambas plantas.

Reducir los tiempos de parada de planta por fallas en el sistema de control.

Sistema de control de hardware actualizado con una vida útil de 12 años para controladores y módulos, 5 años para estaciones y servidores. Podrá manejar el mismo listado de repuestos para ambas operaciones, ya que cuenta con los mismos controladores, módulos, estaciones y servidores. Contar con una versión de software actualizada.

Documentación y planos actualizados de acuerdo con la implementación de equipos. Los cuales podrán ser actualizados por el mismo personal o como actividad de mantenimiento.

Personal de operación de Antapaccay puede realizar modificaciones o mejoras ya que se manejará el mismo hardware y software en la operación de Tintaya.

Soporte de fábrica para ambas plataformas de control.

Alcances y limitaciones

El alcance del proyecto fue migrar la plataforma de control del área de chancado de la planta concentradora Tintaya, la cual involucra el hardware (estaciones, servidores, controladores, módulos de entradas y salidas, módulos de comunicación) y software.

No involucra cambios en los equipos y/o instrumentos de campo.

MARCO TEÓRICO

OGATA (2003) nos dice que “el control automático ha desempeñado un papel de vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Además de su gran importancia en los sistemas de vehículos espaciales, de guiado de misiles, robótico y analógico, el control automático se ha convertido en una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de fabricación”.

Los inicios de la automatización industrial se remontan al siglo XVIII en el Reino Unido durante la revolución industrial, uno de los ejemplos más claros fue el regulador de velocidad centrífugo de James Watts para una máquina de vapor. Hasta los años 60 la automatización industrial se basaba en señales por relés o neumáticas, a partir de los años 60 se introdujo el uso de computadoras digitales en los sistemas automáticos para poder manejar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requisitos más crecientes sobre la precisión.

Sistemas de Control Industrial

En el mundo de la automatización industrial el sistema de control es el cerebro con el que se realiza el proceso de una planta, es un término que abarca los Sistemas de control de supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), Sistemas de Control Distribuido (DCS) y Controladores Lógicos Programables (PLC).

Los Sistemas de control industrial ya son parte fundamental de cualquier manufactura tales como electricidad, agua, petróleo, gas, minería, alimentos, industrias farmacéuticas, etc. Gracias a los sistemas de control industrial se puede tener un control más preciso de las variables de cada proceso y a su vez estas pueden estar siendo visualizadas en tiempo real desde donde se requiera.

Sistemas de Control Distribuido

DCS por sus siglas en inglés, se denominan de esta manera ya que fueron diseñados para controlar diferentes sistemas dentro de un mismo proceso y una misma arquitectura de control, pero usando varios controladores comunicados entre sí. La característica principal de este sistema de control es que se puede realizar mantenimiento de un área de la planta mientras la otra continúa funcionando ya que tienen diferentes controladores.

Los niveles de jerarquía de un sistema de control Distribuido son:

Nivel 0: Instrumentos, es el nivel más bajo del DCS y contiene los instrumentos de campo, los cuales recolectan las señales de las variables medidas y controladas.

Nivel 1: Procesadores, son los que aportan el control de proceso. Es el cerebro del sistema de control, donde es ejecutada la lógica automática de acuerdo como fue configurada.

Nivel 2: Control y supervisión, contempla las estaciones para realizar el monitoreo y control del proceso.

Nivel 3: Optimización y planificación, este nivel permite observar de manera histórica la data fundamental del proceso y en base a ella tomar decisiones de producción, implementar mejoras, etc.

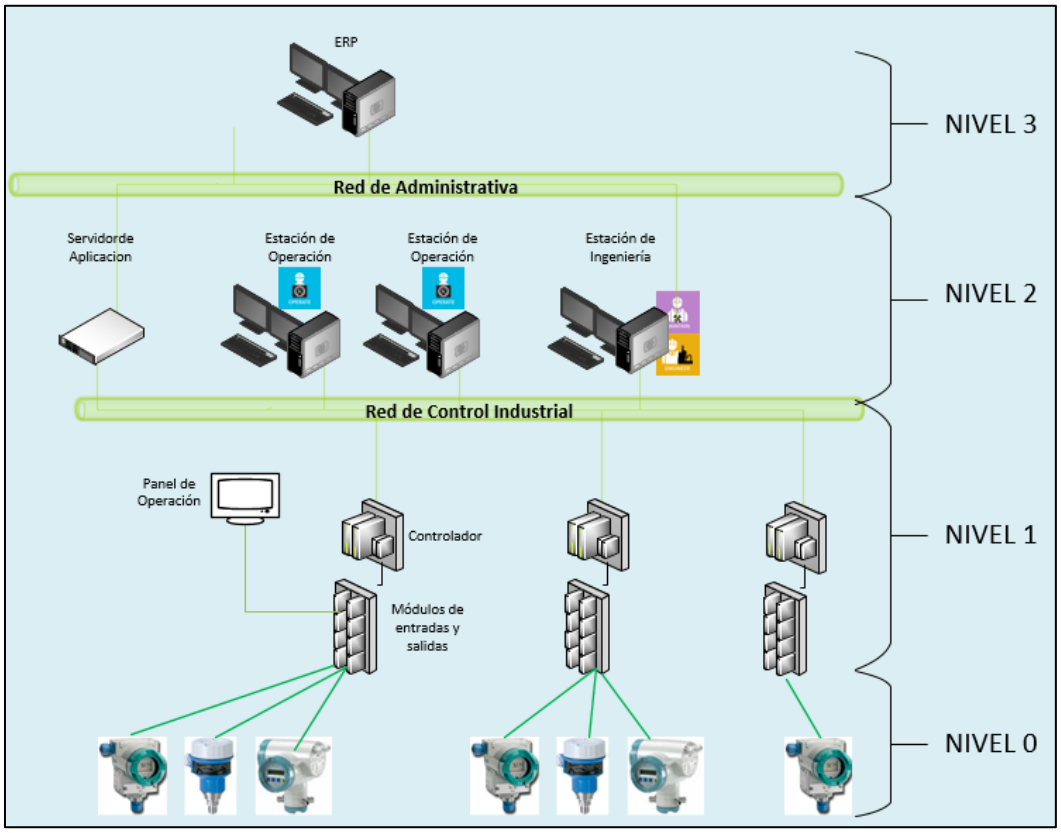


Figura 3. Niveles jerárquicos sistema de control distribuido

Fuente: Propia

Sistemas de Control, Supervisión y Adquisición de Datos

SCADA, se usan para controlar equipos cuya ubicación geográfica es dispersa en miles de kilómetros cuadrados, donde se requiere que la adquisición y control de datos se centralice para que el sistema pueda operar.

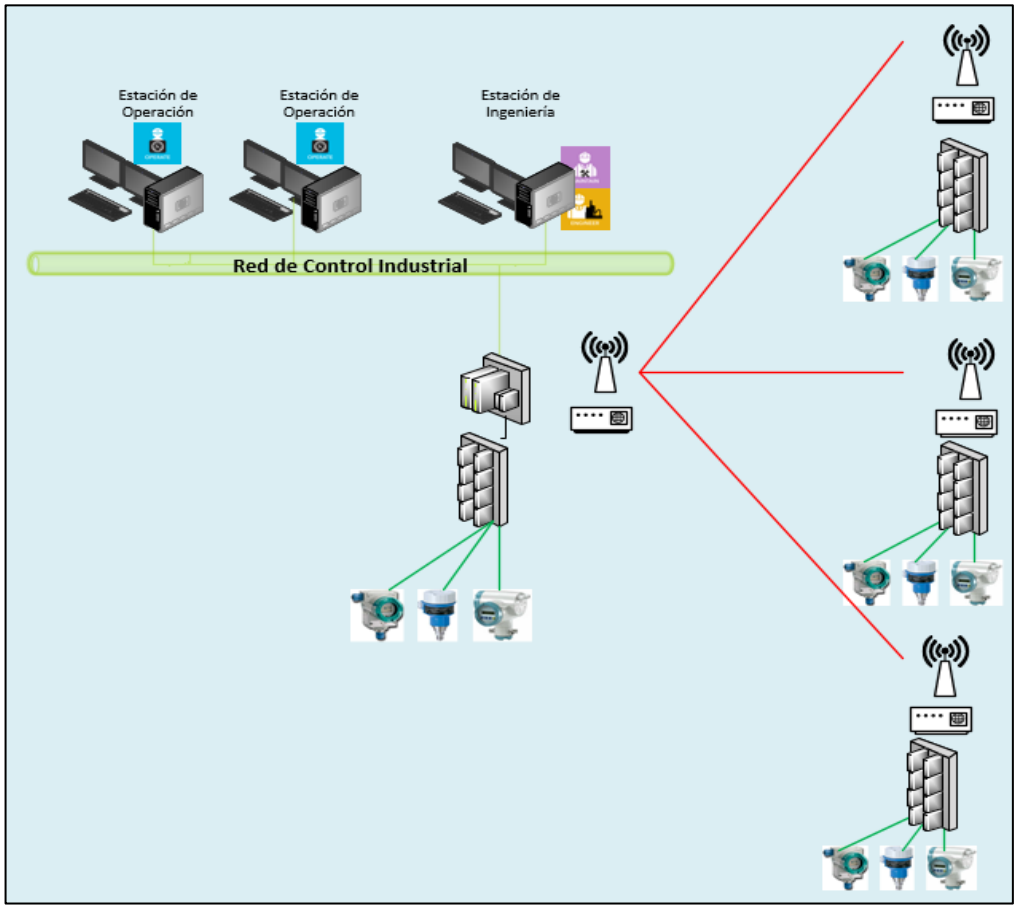


Figura 4. Arquitectura sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA)
Fuente: Propia

Controlador lógico programable

PLC, es un dispositivo basada en computadoras, controlan los instrumentos de campo y de esta manera los procesos industriales. Los PLC son componentes de los Sistemas de Control Distribuido (DCS) y de los sistemas SCADA dependiendo de la arquitectura de control definida, en otros casos los PLCs son el componente principal de un sistema de control pequeño.

Los componentes del sistema de control industrial pueden encontrarse en diferentes marcas, cada una de ellas tiene sus propias características, así mismo cada una usa los protocolos de comunicación de su preferencia. Sin embargo, a la fecha la mayoría de los protocolos de comunicación son abiertos y no propietarios como solía ser anteriormente.

Definiciones

Sistema: es una combinación de diferentes componentes físicos los cuales actúan de manera conjunta para lograr un objetivo.

Sistema de control: es un arreglo de diferentes elementos físicos conectados de tal manera que permitan regular, comandar o dirigir su sistema o algún otro.

Planta: es una porción de un sistema el cual es controlado o regulado, también se le denomina el proceso.

Controlador: Es un elemente del sistema o externo a él, permite regular el proceso.

Entradas: Es una señal (voltaje. corriente, dato, etc.) que ingresa al controlador para que se pueda ejecutar la regulación del proceso.

Salidas: En una señal (voltaje, corriente, dato, etc.) que sale del controlador como respuesta a la entrada, de esta forma se cierra el lazo de control.

Componentes de un sistema de control

Instrumentos y actuadores de Campo: son equipos que cuentan con transmisor y sensor de variables, las que pueden ser de presión, nivel, flujo, temperatura, corriente, velocidad, entre otras variables. Mientras que los actuadores son los equipos que controlan directamente una variable, estos actuadores pueden ser: motores, válvulas, etc.

Figura 5. Instrumentos de Campo

Fuente: www2.emersonprocess.com

Módulos de entradas y salidas: son elementos que permiten recibir las señales de los instrumentos de campo y entregar las señales a los actuadores. Dependiendo de los tipos de instrumentos y actuadores de campo son los módulos estos pueden ser digitales, analógicas, de comunicación, variando su rango de voltaje, corriente, resistencia, datos, etc.

Figura 6. Módulo de Entrada digital
Fuente: www.schneider-electric.com

Controladores: son los encargados de realizar la secuencia de control preconfigurada de acuerdo con la filosofía de control de la planta. Por cada cambio en las entradas se tiene establecida una respuesta inmediata que es ejecutada por este equipo.

Figura 7. Módulo de Entrada digital
Fuente: www.new.abb.com

Estaciones de operación: es un computador asignado al operador de planta, tienen instalado el software encargado de supervisar el proceso de manera gráfica con

datos en tiempo real, en base a la información mostrada (alarmas, tendencias, etc.) le permite al operador tomar una mejor decisión para arrancar o detener un equipo, así como regular un lazo.

Figura 8. Centro de Comando Foxboro
Fuente: www.schneider-electric.com

Estaciones de ingeniería: es un computador usado para la configuración, tiene el software que permite programar de la base de datos del DCS, es decir crear, modificar la configuración de los controladores y HMI. Dependiendo de la arquitectura del sistema de control la estación de ingeniería puede compartirse con una estación de operación usando los permisos adecuados.

Servidores de aplicación: es el servidor principal del sistema de control, tiene el software el cual almacena toda la información de configuración de la plataforma instalada.

Adicional a los equipos mencionados y dependiendo de la arquitectura de control se puede contar con equipos o softwares adicionales como servidores de diagnóstico, históricos, comunicaciones, etc. Estos son dedicados a una tarea específica y permite contar con más información para el operador, personal de mantenimiento y supervisión.

Proceso productivo del cobre

El cobre es un elemento metal de transición de color pardo rojizo, una de las características más importantes es que es un excelente conductor de la electricidad. El proceso de producción de una mina de cobre tiene las siguientes etapas:

Perforación y voladura, es la parte inicial del proceso productivo, esta etapa es necesaria para extraer el mineral del subsuelo y fragmentarlo. Una vez que el material

es fragmentado por el minado se procede a cargar el mineral, mezclado con piedras y tierra, mediante las palas y cargadores.

Chancado, en esta parte el mineral es acarreado hacia la chancadora primaria donde los grandes bloques de mineral son reducidos, en el caso de mina Tintaya se cuenta con chancado secundario y terciario para asegurar que el mineral reduzca al tamaño deseado. De esta manera quedan en óptimas condiciones para ser trasladados mediante fajas transportadoras a la planta concentradora.

Molienda, la planta concentradora se encarga de la recepción del mineral enviado por el área de chancado y almacenarla en stockpiles (pilas de mineral) al exterior de la planta. Luego, el mineral ingresa al molino de bolas y se reduce su tamaño de acuerdo con los requerimientos de la siguiente etapa de flotación.
Flotación, en esta etapa se ejecuta el traspaso de la pulpa (agua y mineral) a las celdas de flotación donde se recupera el cobre, plata, plomo y molibdeno, según corresponda el plan de minado. Luego, la pulpa es espesada para reducirles el agua y proporcionar un transporte económico y adecuado. En el caso de Tintaya se obtiene un concentrado al 36% de Cu fino y 9% de humedad.

Para el caso de Compañía Minera Antapaccay el concentrado de cobre es llevado hacia el puerto de Matarani en Arequipa de donde es distribuido a sus diferentes clientes.

Proceso de Concentradora Tintaya

Chancado: el circuito inicia con la descarga de mineral de los camiones provenientes del tajo en el chancador primario, el tamaño del mineral es menor a 54” (F80 24”) y la capacidad del chancador primario es de 1200TMPH, el chancador primario reducirá el mineral a P80 < 6”, el cual es transportado por medio del alimentador de placas y las fajas Nro. 1 y 2 a la ruma de gruesos. De la ruma de gruesos por medio de alimentadores vibratorios y las fajas Nro. 3 y 3A el mineral es transportado a la zaranda primaria donde el mineral será separado de acuerdo con su tamaño, el mineral menor ½” es enviado por medio de las fajas Nro. 9, 10 y 11 a la ruma de finos, mientras que el mineral de mayor dimensión es enviado al chancadora secundario que reducirá a 1 ½” el mineral, seguidamente pasa por una zaranda secundaria la cual segregará el mineral mayor a ½” es enviado a las tolvas de almacenamiento A y B por medio de las fajas Nro. 4, 5 y 6, mientras que el mineral menor a ½” es enviado a la ruma de finos por medio de las fajas Nro. 9, 10 y 11. De la tolva de almacenamiento el mineral es enviado a los chancadores terciarios 1 o 2, dependiendo del operador, el cual reducirá el mineral a ½”, esto será verificado por las zarandas terciarias las cuales enviaran el mineral menor a ½” a la ruma de finos y el mineral mayor a ½” nuevamente a las tolvas de almacenamiento.

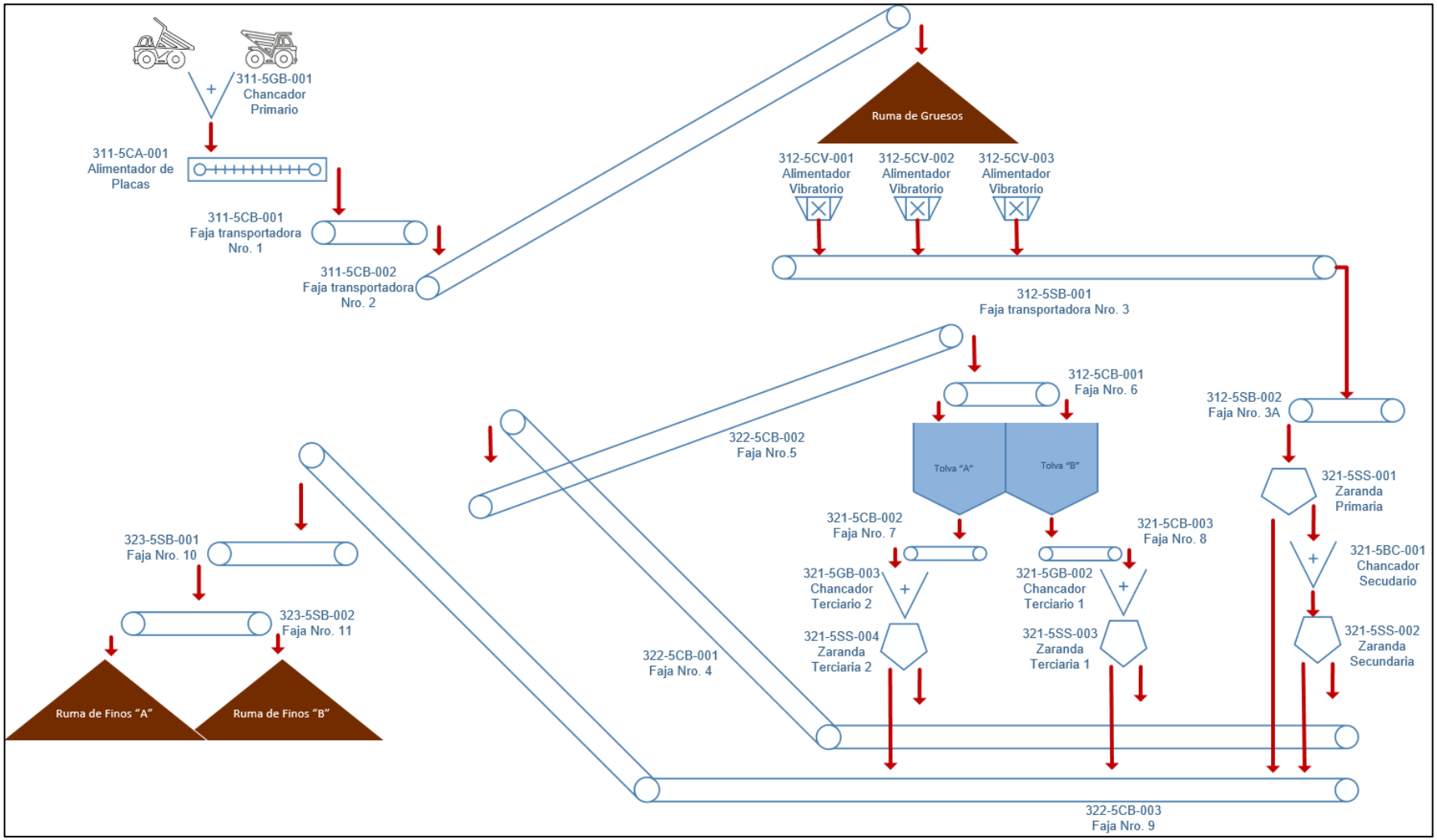


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de chancado planta Tintaya.

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Molienda: En la planta concentradora se tienen operando tres molinos en paralelo en circuito cerrado tal como se indican: (02) molinos de bolas del mismo tamaño 16’ x 20’ de 3000HP, que operan en circuito cerrado cada uno con un nido de 4 ciclones, uso de bombas de 560 HP con velocidad variable, sus productos (rebose de los ciclones) son evacuados directamente hacia las celdas del circuito de flotación a una granulometría promedio de 37% en la malla +150.

El tercer molino es de 16’ x 24.5’ cuenta con un motor de 4000 HP que opera en circuito cerrado con un nido de 4 ciclones y uso de bombas de velocidad variable con 600 HP de potencia. El producto final alimenta al circuito de flotación, manteniendo una granulometría promedio de 37% y flujo uniforme de material.

Existe también un 4to molino de bolas 9’x12’ de 450 HP que toma una parte del mineral que alimenta al molino 1 (Aproximadamente 500 TMSD de capacidad).

Además dentro del circuito de molienda se tiene instalado 03 concentradores gravimétricos de oro de 100 TM/H de capacidad en el molino 1, 2 y 3, el flujo de alimentación a estos, es un porcentaje de la carga circulante de cada molino (flujo inferior de los ciclones), en la que por medio de zarandas vibratorias se clasifica los finos de los gruesos, los gruesos ingresan nuevamente al molino y los finos (100% -10 tyler) ingresan a la etapa de concentración gravimétrica y de allí retornan en forma de pulpa al cajón de la bomba de cada molino respectivamente. Los productos de los concentradores son almacenados en un almacén de concentrados de oro para su posterior comercialización con una ley promedio de oro de 9.64 oz/TM de Au y un promedio de producción de 0.5 TM/día/concentrador.

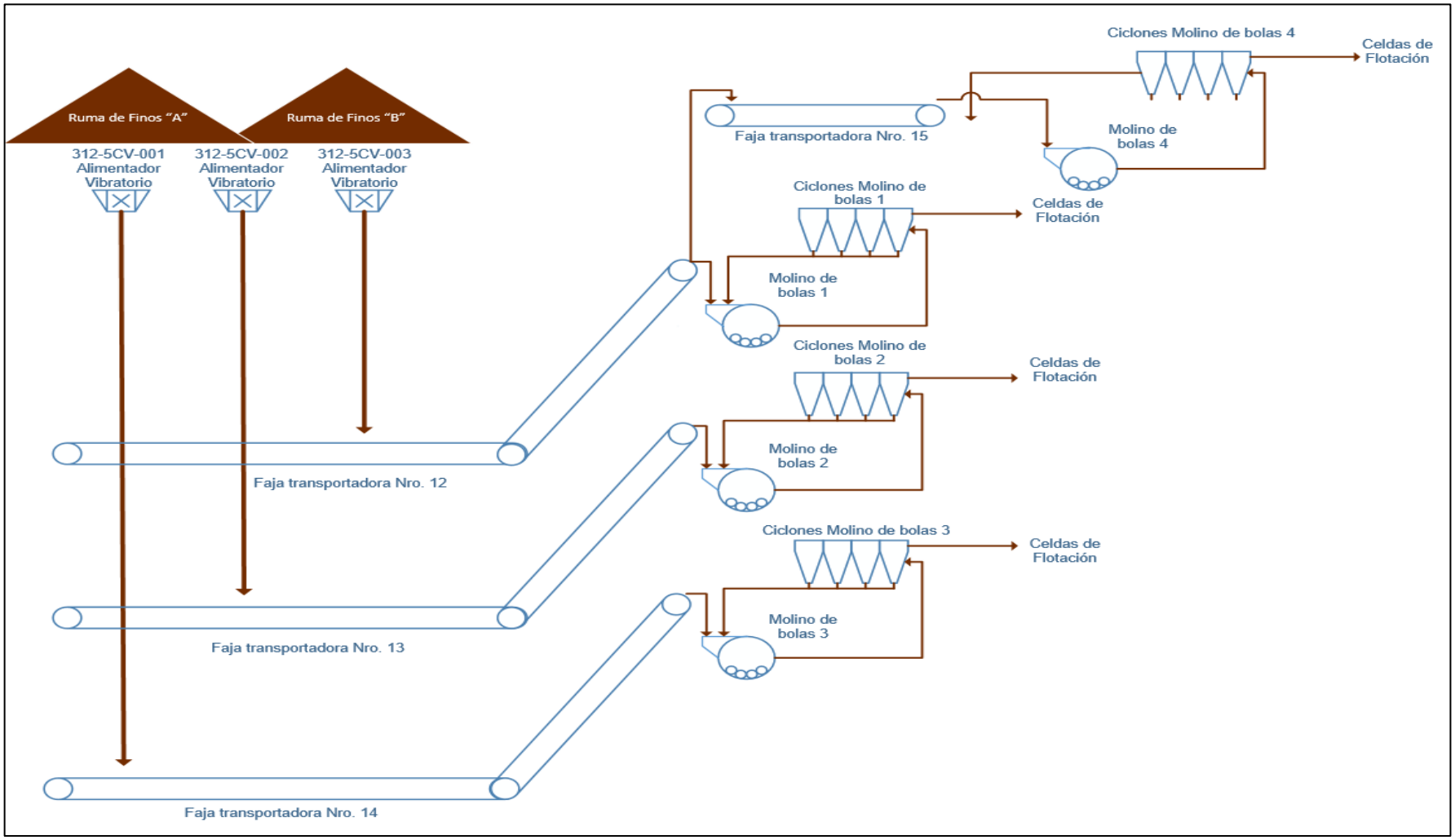


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de molienda planta Tintaya.

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Flotación: Se tiene en operación 5 celdas tipo tanque marca Svedala de 103 m3 de capacidad cada una que hacen la etapa de Rougher y 12 celdas Outokumpu OK-38 de 38 m3 que hacen la función de Scavengher, los concentrados alimentan al circuito de limpieza que consta de 1 celda Wemco de 130m3 y 3 celdas Svedala de 130 m3 que alimentan a 4 celdas columna de 12m x 2.5m cuyas espumas son el concentrado final. El circuito Rougher –Scavengher proporciona 25 minutos de tiempo de retención y satisface los requerimientos de flotación de los minerales de Tintaya de acuerdo con las pruebas cinéticas desarrolladas para este fin, garantizando una máxima recuperación de sulfuros de cobre. Con una ley de concentrado de 32% Cu. Se tiene implementado un circuito de flotación versátil para tratar minerales con diferente cinética y características mineralógicas, desde minerales con alta proporción de óxidos, como minerales con alto contenido de cobre nativo, calcopiritas y gangas variables desde monzonitas, piroxenos, granatitas, magnetitas, caliza, piritas, etc. Para efectos de asegurar la liberación correcta en el circuito de limpieza se tiene instalado además un molino vertical de 200 HP que trata las colas de las celdas columna.

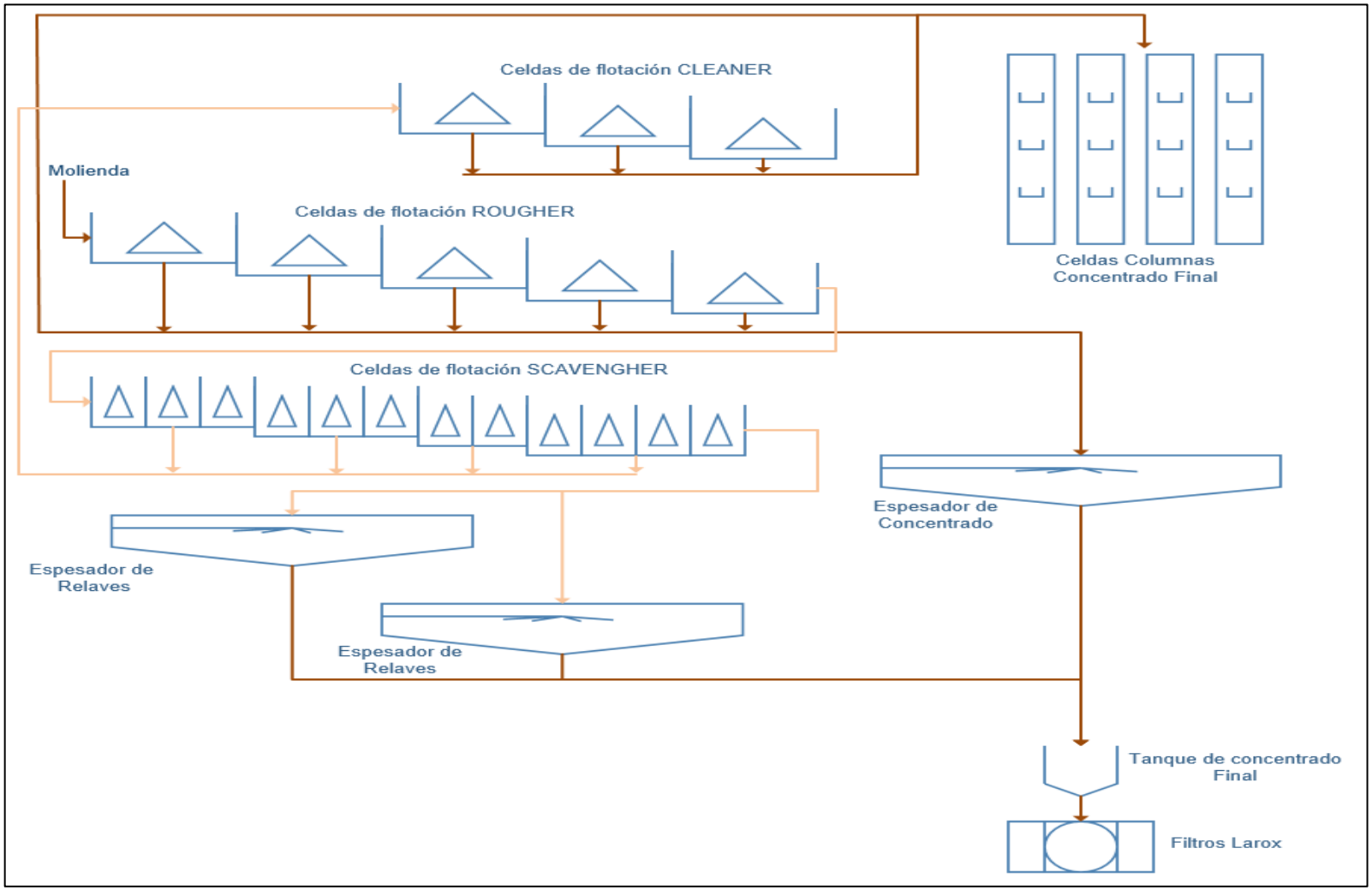


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de flotación planta Tintaya.

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

DESARROLLO DEL PROYECTO

Como mencionamos al inicio la planta concentradora de Tintaya fue puesta nuevamente en operación para aumentar la producción de mina Antapaccay.

Sistema de control distribuido planta Tintaya

La planta de concentradora Tintaya cuenta con una plataforma de control de la marca ABB denominada SYMPHONY, el cual fue instalado entre 1998 y 2003. Dentro de las características de esta plataforma tenemos:

Control redundante (2 controladores).

Control en una consola o computadora conectada a través de una unidad de interface de red.

Comparte información entre módulos de diferentes nodos.

Realiza configuración y mantenimiento de la configuración de control desde una consola o computadora.

La red de comunicación INFINET, tiene capacidad para soportar hasta 250 lazos con 250 nodos por lazo, con una velocidad de 10Mbps, protocolo ethernet, medio fibra óptica, lazo unidireccional y redundante.

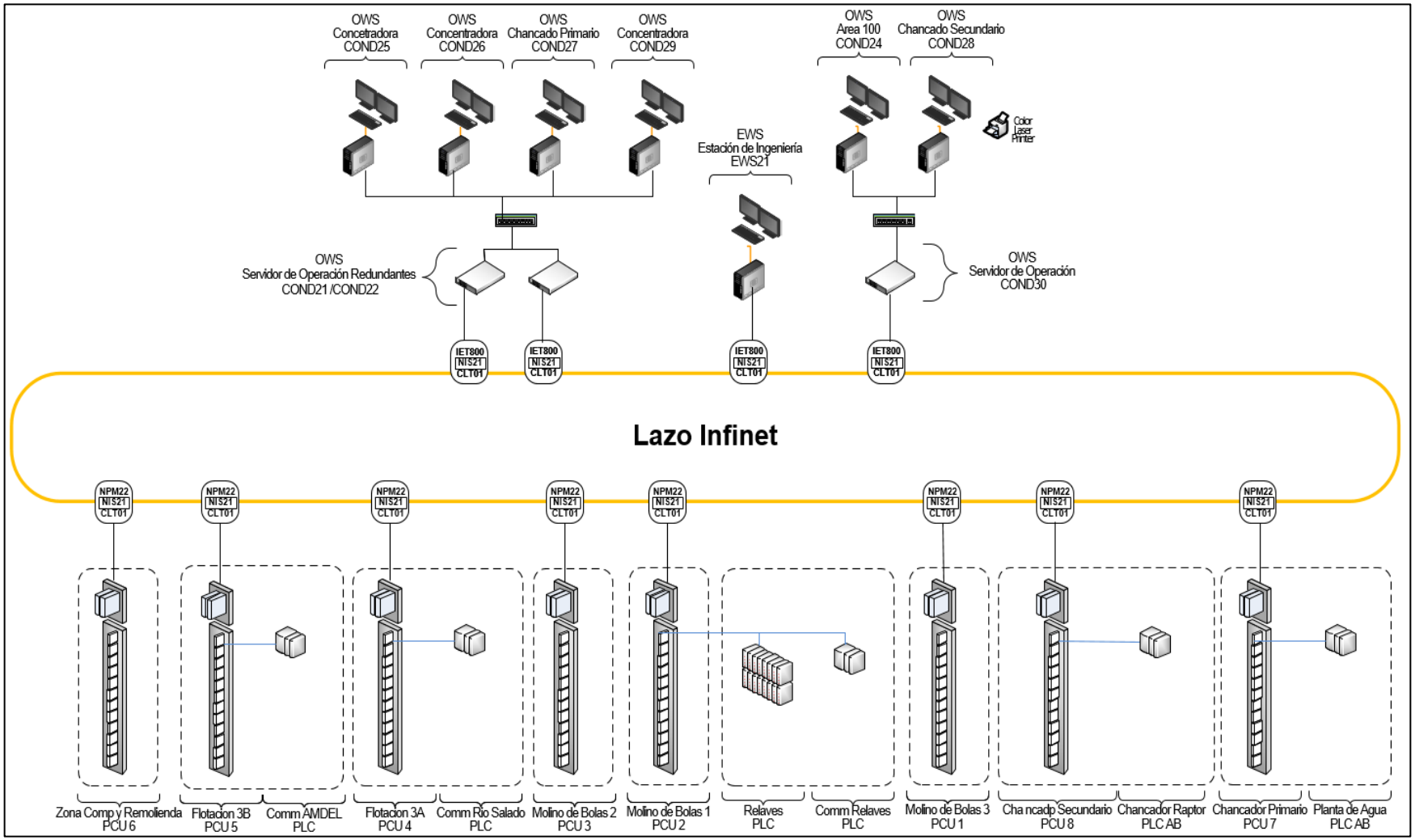


Figura 12. Arquitectura de control planta Tintaya

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Elementos que conforman el DCS SYMPHONY

La red de comunicación INFINET, conformada por las tarjetas de comunicación NTCL01, NIS01, IET800 o NPM22. Estas se encuentran en cada uno de los nodos y permiten la comunicación de los módulos en entradas y salidas con otros controladores. Como se observa en el gráfico de la arquitectura de control se tiene un lazo en anillo el cual permite la redundancia del medio físico de la red de comunicación (Fibra óptica). No usa switches para la comunicación entre áreas.

Los PCU´s (Process Control Unit), son los módulos controladores, los cuales ejecutan los programas de control, recolectan la información de cada uno de los módulos de entradas y salidas y los comunican al Symphony.

Estaciones de Operación (OWS Operator Work Station), son las estaciones donde se puede supervisar y controlas por medio de una interface gráfica el proceso, el software de la interface gráfica es el Conductor NT.

Estaciones de ingeniería (EWS Engineering Work Station). Es la estación de ingeniería usada para la configuración, mantenimiento y diagnóstico de la red, el software encargado de realizar estas funciones es el Composer.

Sistema de control - área Chancado

El área de chancado se divide en dos subsistemas chancado primario y chancado secundario y terciario, cada subsistema cuenta con un control independiente, pero se comunican entre sí ya que es un solo proceso continuo.

Chancado Primario.

El subsistema chancado primario, controla los siguientes equipos principales:
311-5CA-001 Alimentador de Placas
311-5CB-001 Faja transportadora Nro. 1
311-5CB-002 Faja transportadora Nro. 2

El sistema de control en el área de chancado primario cuenta con 01 gabinete de comunicación, 01 gabinete de control, 01 estación de operación y 01 PLC de la marca Allen Bradley para la comunicación con el área de Agua de servicio.

Gabinete de comunicación.

Contiene: una fuente de alimentación general, un rack de módulos de comunicación Symphony, 02 controladores redundantes, 02 tarjetas NTCL01 para la red INFINET.

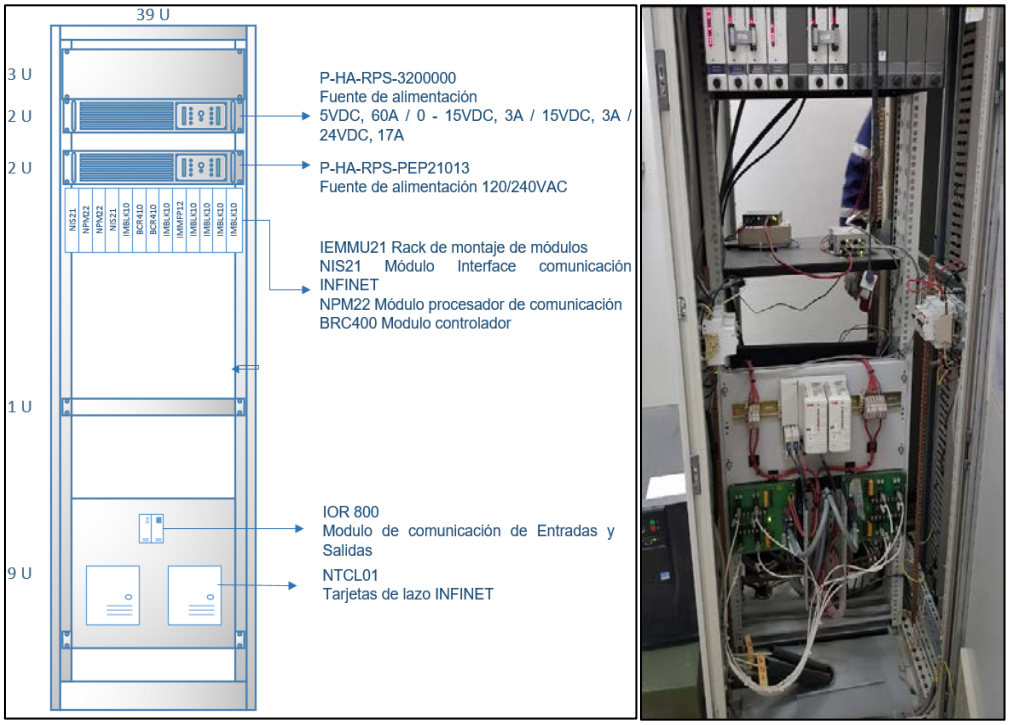


Figura 13. Gabinete de comunicación chancado primario

Fuente: propia

Gabinete de control.

Contiene los módulos de comunicación con los controladores, módulos de entradas analógicas y digitales, módulos de salidas analógicas y digitales.

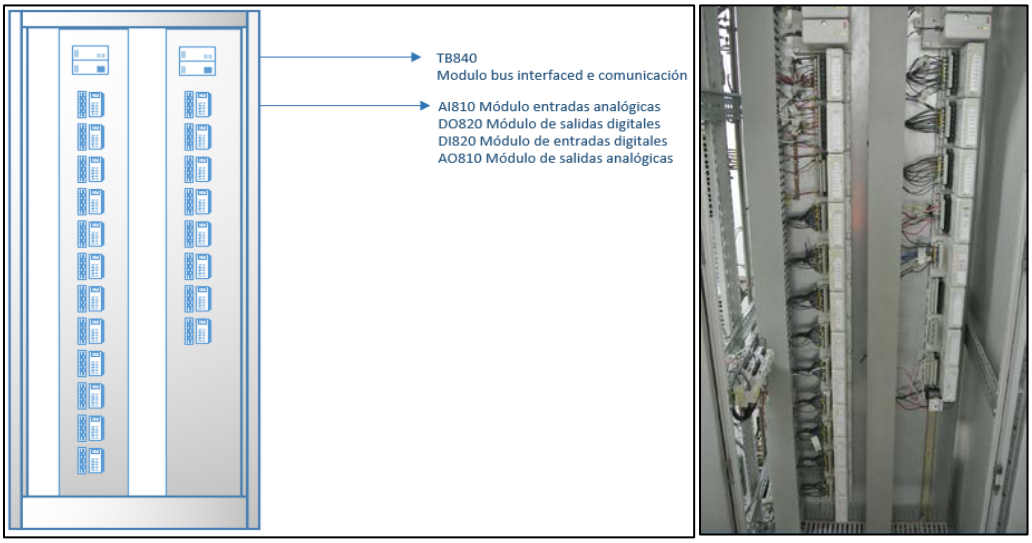


Figura 14. Gabinete de control chancado primario
Fuente: propia

Controlador BRC410.

Controlador de alto rendimiento, basado en un procesador Freescale Coldfire de 32 bits y 160 MHz, memoria de configuración NVRAM de 2 MB, compatibilidad con 30.000 bloques de funciones, control de bucle cerrado para 2.000 puntos de E/S en menos de 250 ms, Puerto 100 MB Ethernet con el protocolo Modbus TCP, alta disponibilidad y tolerancia a fallos en una configuración de par redundante.

Figura 15. Controlador BRC410
Fuente: ABB

Módulos en el gabinete de control.

A diferencia de los controladores los módulos de comunicación del área de chancado son de última generación del DCS de ABB, de la serie ABB Ability System 800xA.

Figura 16. Módulos Serie System800xA

Fuente: ABB

Tabla 1.

Módulos en el gabinete de control chancado primario

Módulo	Descripción	Cantidad	Terminal de conexión	Características
AI810	Módulo de Entradas Analógicas	3	TU838	8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.
AO810	Módulo de salidas Analógicas	1	TU830V1	8 canales de 4 -20 mA
DI820	Módulo de Entradas digitales	11	TU831V1	8 canales, 250 VAC, 3A.
DO820	Módulo de salidas digitales	4	TU837V1	8 canales, 250 VAC, 3A.
AI830	Módulo de Entradas analógicas tipo RTD	1	TU830V1	8 canales, tipo RTD 3 hilos

Fuente: propia

Estación de Operación.

Denominada COND27, se encuentra ubicado en la sala de control de chancado primario, y tiene como servidor a las estaciones COND21 y COND22. En ella el operador puede controlar los equipos de chancado primario y visualizar las demás áreas para que decida la estrategia de operación más conveniente.

Tabla 2.

Características estación de operación COND27

Características	Descripción
Modelo	Compaq 6200
Controlador	i3-2100 / 3.10 GHz
Sistema operativo	XP Professional 2002 SP3
RAM	3.16 GB
Disco duro	470 GB
Tarjeta de video	Integrated Intel HD, AMD FirePro 2270 (512MB)
Puertos	10 USB 2.0, 1 PS/2 keyboard, 1 PS/2 mouse, 1 DisplayPort, 1 VGA 1 DVI, 1 microphone/headphone jack, 1 line in, 1 line out, 1 RJ-45
Drivers	CD/DVD; USB
Conectores	Integrated Intel 82579LM Gigabit Ethernet, 802.11 b/g/n wireless
Tipo de nodo	Conductor Client

Fuente: HP

PLC de tercero.

Para el control del área de agua de servicio se usa un PLC marca Allen Bradley, este PLC se comunica por medio de modbus serial al SCD de planta. Actualmente no se encuentra operando.

Figura 17. PLC marca Allen Bradley – Planta de agua.

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

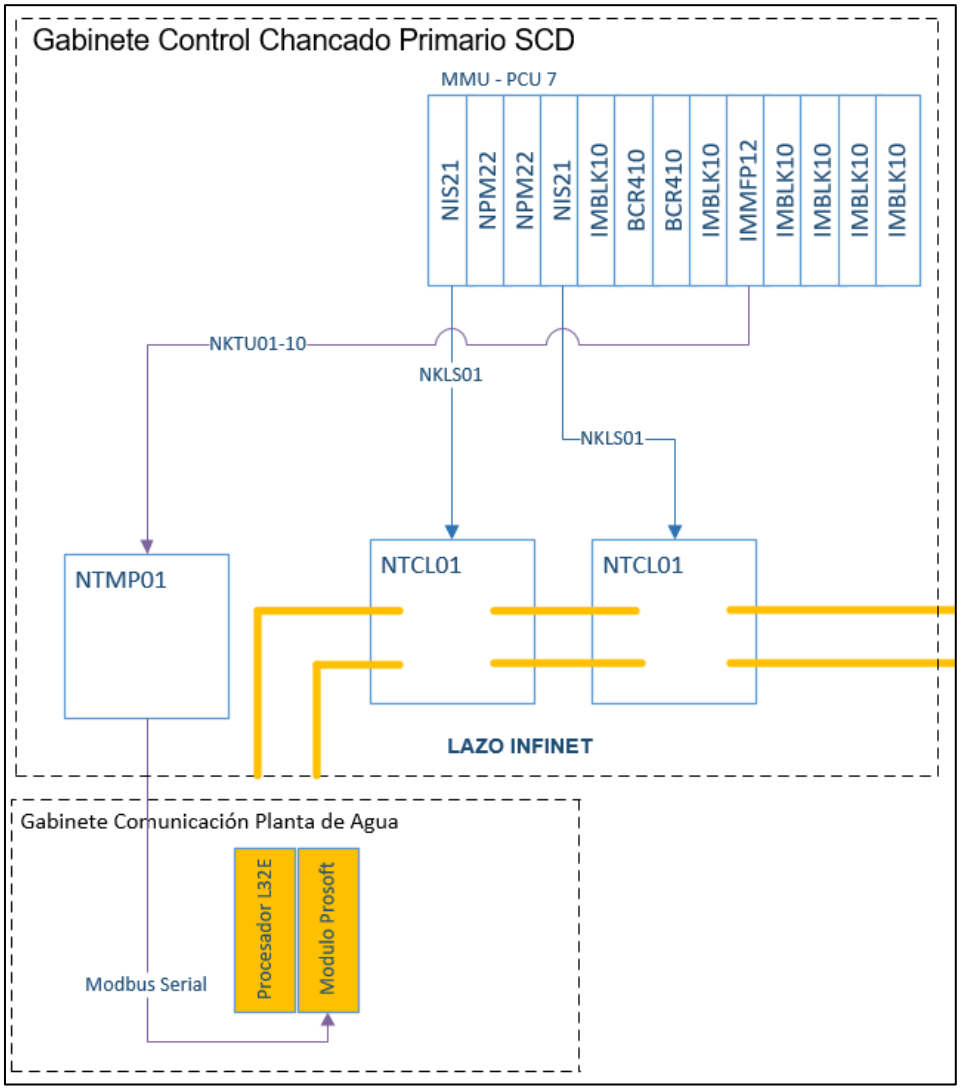


Figura 18. Conexión PLC marca Allen Bradley – Planta de agua

Fuente: propia

Chancado Secundario y Terciario.

El subsistema de chancado secundario, controla los siguientes equipos principales:

312-5CV-001 Alimentador Vibratorio 1

312-5CV-002 Alimentador Vibratorio 2

312-5CV-003 Alimentador Vibratorio 3

312-5SB-001 Faja transportadora Nro. 3

312-5SB-002 Faja Nro. 3A

321-5SS-001 Zaranda Primaria

321-5BC-001 Chancador Secundario

321-5SS-002 Zaranda Secundaria

322-5CB-001 Faja Nro. 4

322-5CB-002 Faja Nro.5
312-5CB-001 Faja Nro. 6
321-5CB-002 Faja Nro. 7
321-5CB-003 Faja Nro. 8
321-5GB-003 Chancador Terciario 2
321-5GB-002 Chancador Terciario 1
321-5SS-004 Zaranda Terciaria 2
321-5SS-003 Zaranda Terciaria 1
322-5CB-003 Faja Nro. 9
323-5SB-001 Faja Nro. 10
323-5SB-002 Faja Nro. 11

El sistema de control en el área de chancado secundario cuenta con 01 gabinete de comunicación, 02 gabinete de control, 01 estación de operación y 01 PLC marca Allen Bradley para la comunicación con la chancadora Raptor.

Gabinete de comunicación chancado secundario

Gabinete de 800x800x2000 mm (An x Pr x Al), contiene: una fuente de alimentación general, un rack de módulos de comunicación Symphony, 02 controladores redundantes, 02 tarjetas NTCL01 para la red INFINET.

Gabinete de control chancado secundario

Dos gabinetes de 800x800x2000mm contienes los módulos de comunicación con los controladores, módulos de entradas analógicas y digitales, módulos de salidas analógicas y digitales.

Módulos en el gabinete de control chancado secundario

Tabla 3.

Módulos en el gabinete de control chancado secundario

Módulo	Descripción	Cantidad	Terminal de conexión	Características
AI810	Módulo de Entradas Analógicas	6	TU838	8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.
AO810	Módulo de salidas Analógicas	3	TU830V1	8 canales de 4 -20 mA
DI820	Módulo de Entradas digitales	49	TU831V1	8 canales, 250 VAC, 3A.
DO820	Módulo de salidas digitales	11	TU837V1	8 canales, 250 VAC, 3A.
AI830	Módulo de Entradas analógicas tipo RTD	1	TU830V1	8 canales, tipo RTD 3 hilos

Fuente: propia

Estación de Operación

Denominada COND28, se encuentra ubicado en la sala de control de chancado primario, y tiene como servidor a la estación COND30. En ella el operador puede controlar los equipos de chancado primario y visualizar las demás áreas para que decida la estrategia de operación más conveniente.

Tabla 4.

Características estación de operación COND28

Características	Descripción
Modelo	Compaq 6200
Controlador	i3-2100 / 3.10 GHz
Sistema operativo	XP Professional 2002 SP3
RAM	3.16 GB
Disco duro	470 GB
Tarjeta de video	Integrated Intel HD, AMD FirePro 2270 (512MB)
Puertos	10 USB 2.0, 1 PS/2 keyboard, 1 PS/2 mouse, 1 DisplayPort, 1 VGA 1 DVI, 1 microphone/headphone jack, 1 line in, 1 line out, 1 RJ-45
Drivers	CD/DVD; USB
Conectores	Integrated Intel 82579LM Gigabit Ethernet. 802.11 b/g/n wireless
Tipo de nodo	Conductor Client

Fuente: HP

PLC de tercero

Para el control del área de agua de servicio se usa un PLC marca Allen Bradley, este PLC se comunica por medio de modbus TCP/IP al SCD de planta. Actualmente no se encuentra operando.

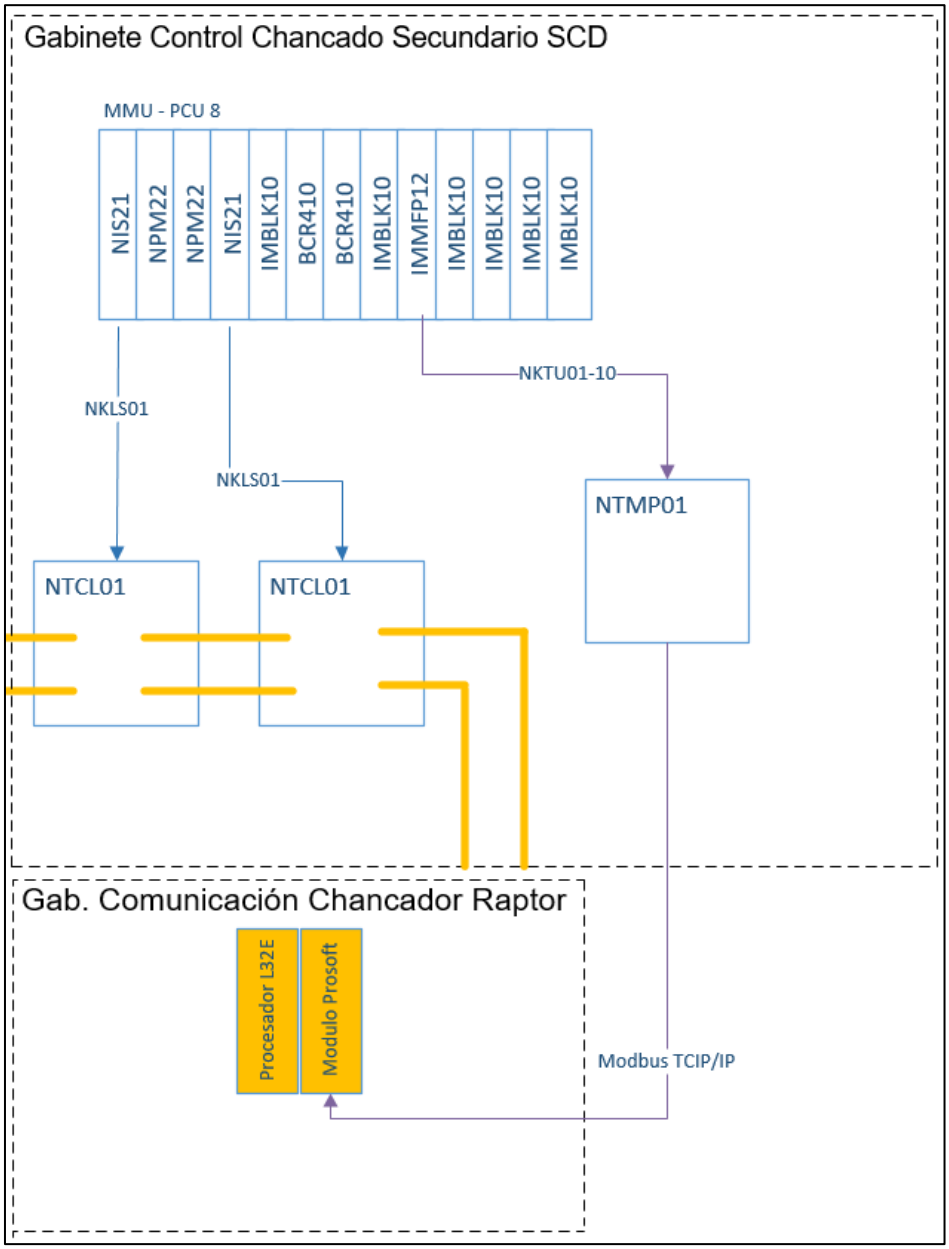


Figura 19. Conexión PLC marca Allen Bradley – Chancadora Raptor

Fuente: propia

Oportunidades de mejora

La planta concentradora de Antapaccay no tiene monitoreo del proceso de la planta concentradora de Tintaya. Compañía Minera Antapaccay busca que ambas plantas operen sobre una misma plataforma para proyectos de ampliación a media plazo.

Las estaciones de operación tienen sistemas operativo XP Professional 2002 SP3 que ya no cuentan con soporte.

Las tarjetas de comunicación están obsoletas y adquirir repuestos tiene un mayor costo.

Las pantallas de la interface gráfica (HMI) no está diseñada bajo un estándar. Se sugiere usar los lineamientos de ASM (Abnormal Situation Management), con los cuales también se trabaja en la operación de Antapaccay.

Los reportes de turno del sistema de control son realizados de manera manual.

Los totalizadores y horómetros del sistema de control no se encuentran operativos.

Las comunicaciones con los equipos de terceros (PLCs Allen Bradley) no se encuentran operativas

Las tendencias son almacenadas en las estaciones de operación de cada subsistema, las cuales tienen más probabilidad de falla ya que están expuestas a polvo.

Migración de la plataforma del sistema de control distribuido del área de chancado

El alcance de la migración involucró el área de chancado, cuyos subsistemas son chancado primario y chancado secundario y terciario. En estos puntos se remplazarán los gabinetes de control, comunicaciones y las estaciones de operación, adicional a ello se instalará los servidores de aplicaciones, históricos y estación de operación en la sala de control principal de planta Tintaya.

La arquitectura final del sistema de control contempla la coexistencia de la plataforma de control Foxboro y la plataforma de control ABB, de esta forma puedes seguir compartiendo información mediante protocolo OPC (Servidor Rovisys), y se puede continuar la migración de las demás áreas (molienda y flotación).

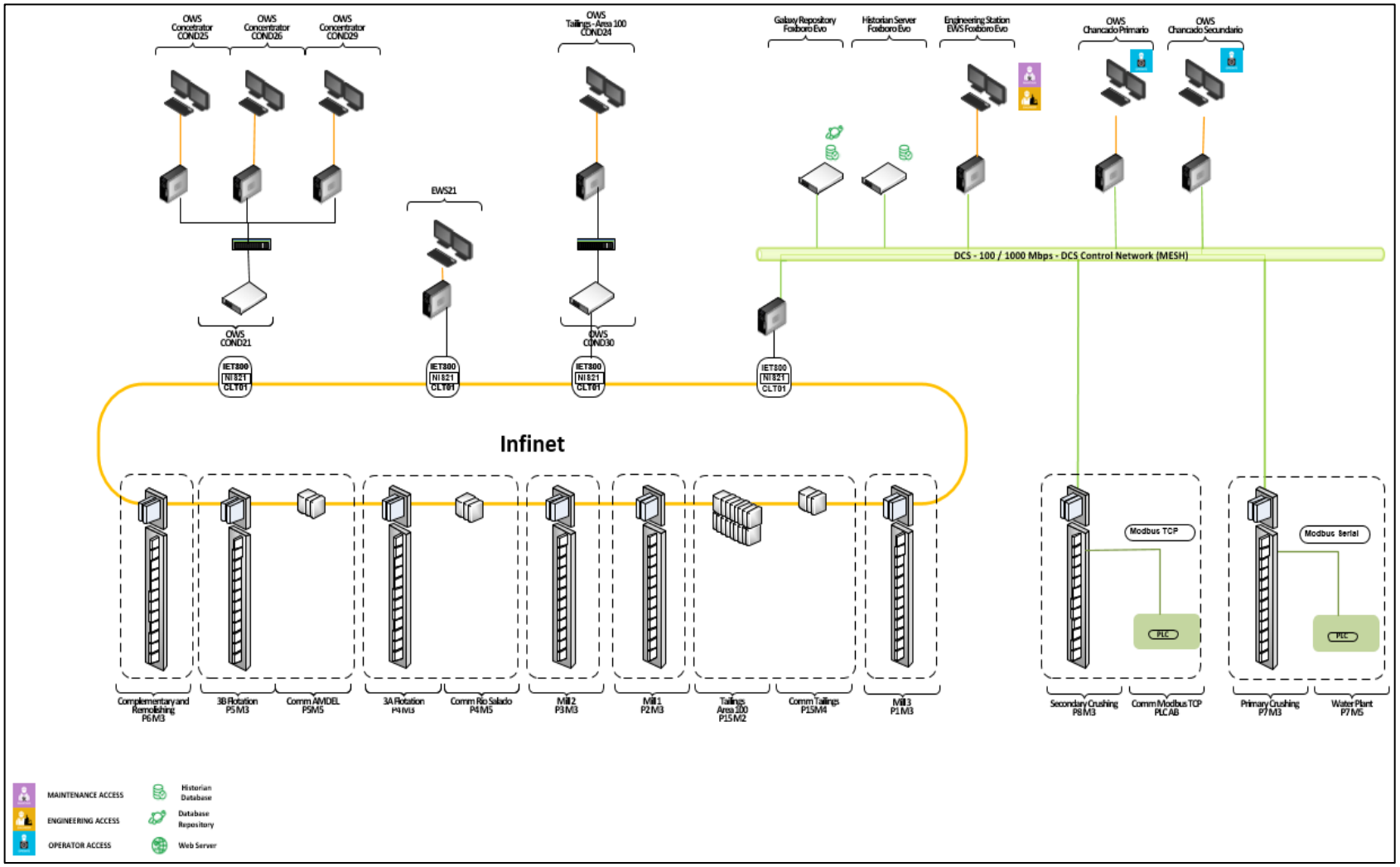


Figura 20. Nueva Arquitectura de control planta Tintaya

Fuente: propia

Gestión del proyecto

El proyecto se desarrolló bajo los estándares del PMI, usando como guía el PMBOOK. Dentro de ello podemos detallar que se trabajaron bajo los grupos de proceso:

Grupo de proceso de Iniciación, se realizaron las actividades de:

Revisión de contrato, se revisa internamente las condiciones pactadas en el contrato del servicio,

Revisión de la propuesta técnica-económica, como parte de los anexos del contrato se revisa la propuesta con la que se adjudicó el contrato.

Reunión de inicio con el cliente

Grupo de proceso de Planificación, se realizaron las actividades de:

Plan de ejecución, en este documento se detalla el alcance del proyecto y cómo se ejecutará este, teniendo en cuenta el cronograma, organigrama, las formas de intervalos entregables que son partes del proyecto.

El siguiente EDT (Estructura de Descomposición de Trabajo), contempla las actividades realizadas para llevar a cabo el proyecto.

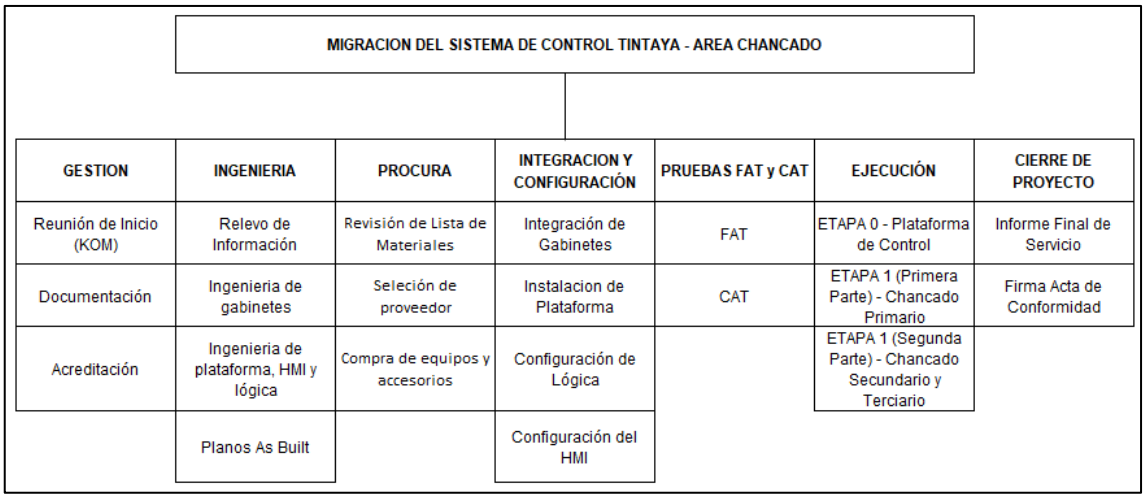
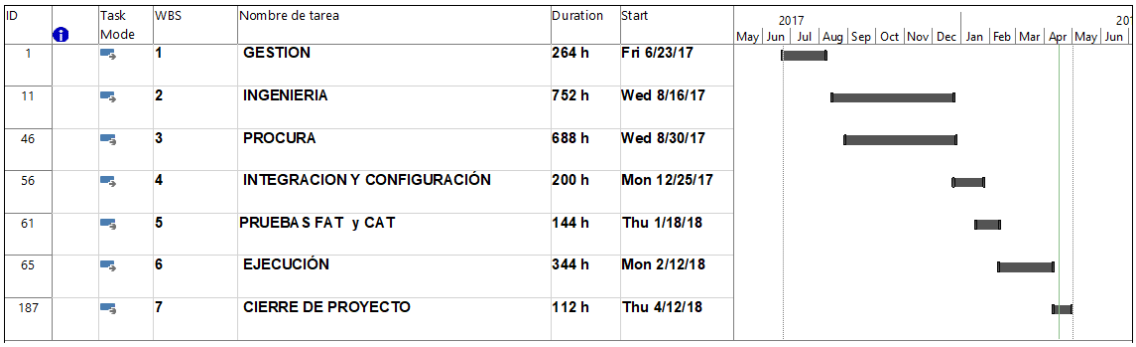


Figura 21. EDT proyecto

Fuente: propia

Cronograma del proyecto, donde se define la secuencia de las actividades que se realizarán, así mismo se determina los recursos humanos que serán requeridos, también se ajustó a las fechas de intervenciones en la etapa de ejecución



ID	Task Mode	WBS	Nombre de tarea	Duration	Start
1		1	GESTION	264 h	Fri 6/23/17
11		2	INGENIERIA	752 h	Wed 8/16/17
46		3	PROCURA	688 h	Wed 8/30/17
56		4	INTEGRACION Y CONFIGURACIÓN	200 h	Mon 12/25/17
61		5	PRUEBAS FAT y CAT	144 h	Thu 1/18/18
65		6	EJECUCIÓN	344 h	Mon 2/12/18
187		7	CIERRE DE PROYECTO	112 h	Thu 4/12/18

Figura 22. Diagrama GANTT del proyecto

Fuente: propia

Organigrama del proyecto, se define los cargos del personal requerido para el proyecto.

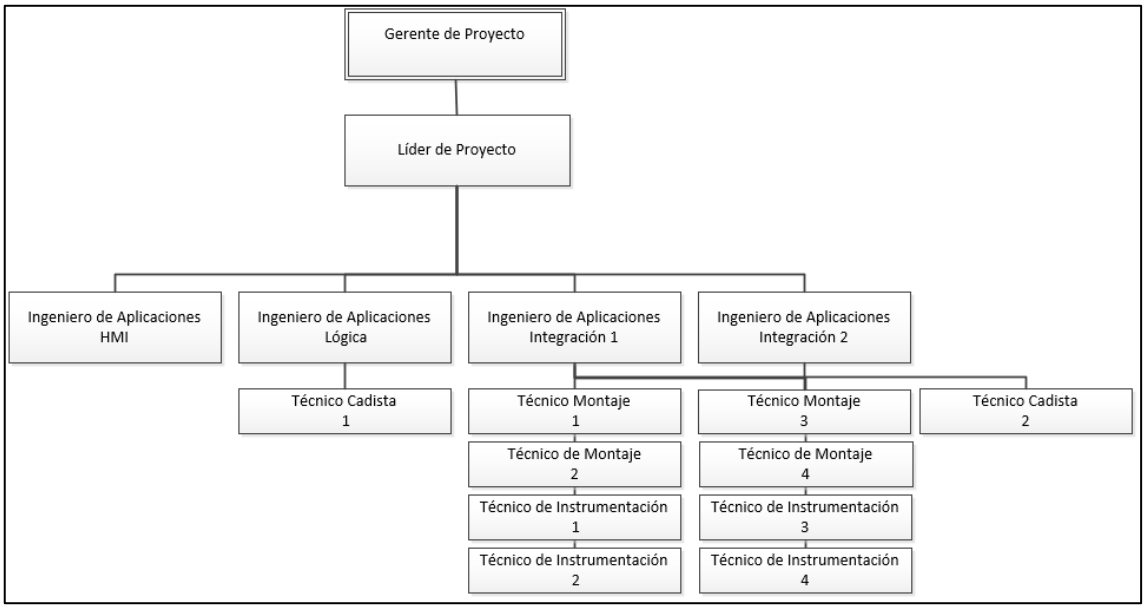


Figura 23. Organigrama de proyecto

Fuente: propia

Matriz de riesgos, dentro del análisis inicial de riesgos del proyecto se encontró lo siguiente:

Documentación del sistema de control desactualizada. Este riesgo fue mitigado con un relevo de información minucioso en la fase de ingeniería.

Comunicación DCS ABB y DCS Foxboro mediante protocolo OPC, se usó el software Rovisys de una empresa tercera, sin embargo, para evitar inconvenientes en la ejecución, durante la fase de relevo de información se procedió a realizar pruebas de comunicación.

Intervención de los subsistemas de chancado primario y secundario no mayor 60 horas, para ello se realizó un detalle minucioso de las actividades que se realizarían y también se consideró trabajos en 2 turnos para dar continuidad al trabajo.
Personal de operaciones no conoce de la aplicación, como parte de la ingeniería se realizó un manual de operaciones y se procedió a capacitar al personal usando un simulador de la aplicación.

Matriz de comunicaciones, la cual define los canales oficiales para la comunicación con el cliente y qué persona deberá recibir la información: técnica, administrativa, contractual, financiera.

Matriz de adquisiciones, donde se encuentran los equipos que serán adquiridos como parte del proyecto, durante la fase de ingeniería se terminan de definir los equipos y materiales a adquirir.

Documentos de Seguridad y medio ambiente (PETs -Procedimientos escritos de trabajo, IPERC – Identificación de peligros evaluación de riesgos y controles, charlas de seguridad)

Acreditación para trabajos en mina (exámenes médicos, inducción de seguridad, charlas especificas)

Grupo de proceso de Ejecución, en este grupo se proceso se ejecutan las actividades necesarias para la ejecución del proyecto, se trabaja en los entregables del proyecto:

Ingeniería
Es la fase donde se desarrollaron los planos y documentos asociados a la migración del DCS de acuerdo con el alcance.

Relevo de información. La primera actividad asociada al desarrollo del proyecto fue realizar el relevo de información en campo, ya que no se cuenta con documentación actualizada del sistema de control, ello contempló las siguientes tareas:
Realizar respaldo de la aplicación de la interface gráfica (HMI), del software Conductor NT.

Realizar respaldo de la base de datos (lógica), del software Composer.
Identificar y verificar los gabinetes de control y comunicaciones a remplazar.
Identificar y verificar las estaciones de operación a remplazar.
Revisar e identificar el cableado de los módulos de entradas y salidas, verificar que tipo son y cómo están conectados los instrumentos.
Levantamiento de información de accesos a sitios (salas de control y salas de operación).

Ingeniería de gabinetes. Con la información obtenida en campo se procedió a realizar los planos para los gabinetes de control y comunicaciones. El dimensionamiento se hizo considerando la cantidad de módulos del área de chancado, así mismo identificaron los módulos y terminales de conexión que tengan similares características a las existentes ya que los instrumentos y equipos de campo no fueron cambiados y mantienen sus mismos niveles y rangos de voltaje y corriente. Los documentos asociados a los gabinetes son:

Diagrama distribución, se muestra el gabinete a escala, con los equipos que llevará dentro.
Diagrama eléctrico, se muestra cómo es la alimentación de energía del gabinete y los equipos dentro de este.
Diagrama de conexiones internas, muestra cómo se interconectan los procesadores, módulos de entradas y salidas y estos a los equipos de campo.
Lista de componentes, muestra todos los equipos y accesorios que se usaran en el gabinete.
Lista de entradas y salidas, muestra el listado de señales de campo por cada módulo.

Tabla 5.

Remplazo de módulos de entradas y salidas

ABB				FOXBORO			
Módulo	Terminal de conexión	Descripción	Cantidad	Módulo	Terminal de conexión	Descripción	Cantidad
AI810	TU838	AI, 8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.	9	FBM214b	RH924JH	AI, 8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.	9
AO810	TU830V1	AO, 8 canales de 4 -20 mA	4	FBM215	RH926SP	AO, 8 canales de 4 -20 mA	4
DI820	TU831V1	DI, 8 canales, 250 VAC, 3A.	60	FBM207	RH916PK	DI, 16 canales, 120/125V, 3A.	31
DO820	TU837V1	DO, 8 canales, 250 VAC, 3A.	15	FBM242	RH916YY	DO, 16 canales, 250 VAC, 5A.	8
AI830	TU830V1	AI, 8 canales, tipo RTD 3 hilos	1	FBM203	RH916XJ	AI, 8 canales, tipo RTD 3 hilos	2
				FBM230	P0926GU	Modbus serial RS232/RS485, 4 puertos	2

Fuente: propia

Los procesadores que se usaron son los FCP280, ofrece una operación única, patentada y tolerante a fallas usando dos módulos de control para mejorar en gran medida fiabilidad relativa a otros controladores de proceso, puede conectarse 128 FBMs (módulos de entradas y salidas) de la serie 200, pantalla de cristal líquido (LCD) muestra tag y roles y estados en tiempo real, se conecta a la red de control Foxboro Evo vía fibra óptica estándar o cobre 100 Mbps cables de ethernet, utiliza una robusta carcasa de aluminio fundido a presión para montaje en un recinto de campo sin ventilación, puede operar en ambientes severos de Clase G3 (NORMA ISA S71.04-1985, Clasificación de ambientes).

Figura 24. Field Controler Procesor FCP280

Fuente: Schneider Electric

Estaciones de operación e Ingeniería, el DCS Foxboro cuenta con estaciones preconfiguradas las cuales vienen preparadas para la instalación de los softwares (Foxboro Control Software). En este caso se consideraron las H92 para las estaciones de operación con las siguientes características:

Figura 25. Estación de Operación H92

Fuente: Schneider Electric

Tabla 6.

Características estación de trabajo H92

Características	Descripción
Modelo	H9280DCG0700
Controlador	Intel Xeon® processor
Sistema operativo	Windows®7 64 bit
RAM	16GB of DDR3 ECC RAM
Disco duro	One 512 GB Solid State Serial ATA hard drive
Tarjeta de video	Quad Head RGU video DisplayPort/DVI interface (Matrox F2408) with 5m LC/LC fiber cable include
Puertos	Two Single Port Fiber MT-RJ PCIe card NICs + One Integrated RJ-45 NIC
Tipo de nodo	Estación de operación

Fuente: Schneider Electric

Servidores de aplicación e Históricos, al igual que las estaciones de trabajo vienen preconfiguradas. Para este caso se usaron los modelos H90 con las siguientes características:

Figura 26. Servidor de Aplicación H90

Fuente: Schneider Electric

Tabla 7. Características servidor H90

Características servidor H90

Características	Descripción
Modelo	H903EJA011C0
Controlador	Intel Xeon E5-2609v3 Processor
Sistema operativo	Microsoft® Windows Server® 2008 64 bit
RAM	36 GB Registered DIMMs
Disco duro	Two 400 SS GB internal disk
Tarjeta de video	Quad Head RGU video DisplayPort/DVI interface (Matrox F2408) with 5m LC/LC fiber cable include
Puertos	Two Single Port Fiber MT-RJ PCIe NICs + Four RJ-45 Integrated NICs Mouse and Dual Head Analog/DVI-I interface (Matrox M9120)
Tipo de nodo	Servidor de Galaxia

Fuente: Schneider Electric

A diferencia del DCS de ABB, Foxboro usa switches administrables para su red de control, para este caso tenemos 2 tipos de switches los cuales estarán ubicados en cada nodo (subsistema) de la planta.

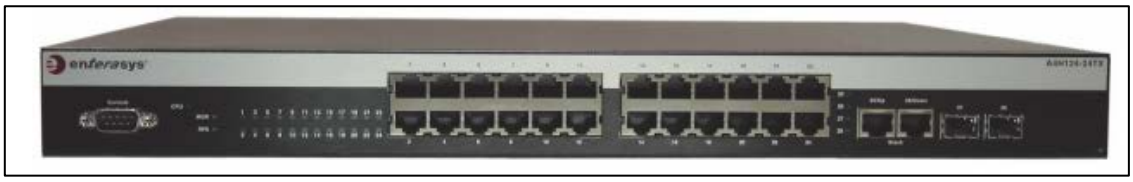


Figura 27. Switch P0973JM

Fuente: Schneider Electric

Tabla 8.

Características Switch P0973JM

Características
24 puertos de 100Base-TX (RJ-45)
2 arreglos de puertos RJ-45 10/100/1000 , configurables para 100Base-Tx o 1000Base-TX para dispositivos o 1000Base-TX for (ISL) puertos uplink.
2 puertos uplink Gigabit 1000Base-X (SFP)
Operación Full-duplex
Soporta configuracion VLAN
Monitoreo a traves de la aplicación System Management Console.

Fuente: Schneider Electric

Figura 28. Switch P0973KJ

Fuente: Schneider Electric

Tabla 9.

Características Switch P0973KJ

Características
24 puertos modulares de 1000Base-X Gigabit (SFP)
Dos puertos SFP
Los 26 puertos pueden ser usados con conectores uplink Mini-GBIC
Operación Full-duplex
Soporta configuracion VLAN
Monitoreo a traves de la aplicación System Management Console.

Fuente: Schneider Electric

La arquitectura considerada para el sistema de chancado es similar a la que se venía utilizando, pero esta considera los equipos del DCS Foxboro. La característica principal es que se tiene redundancia de tal manera que si uno de los switches deja de funcionar se tiene otro disponible, de igual manera el medio físico (Fibra óptica) tiene redundancia.

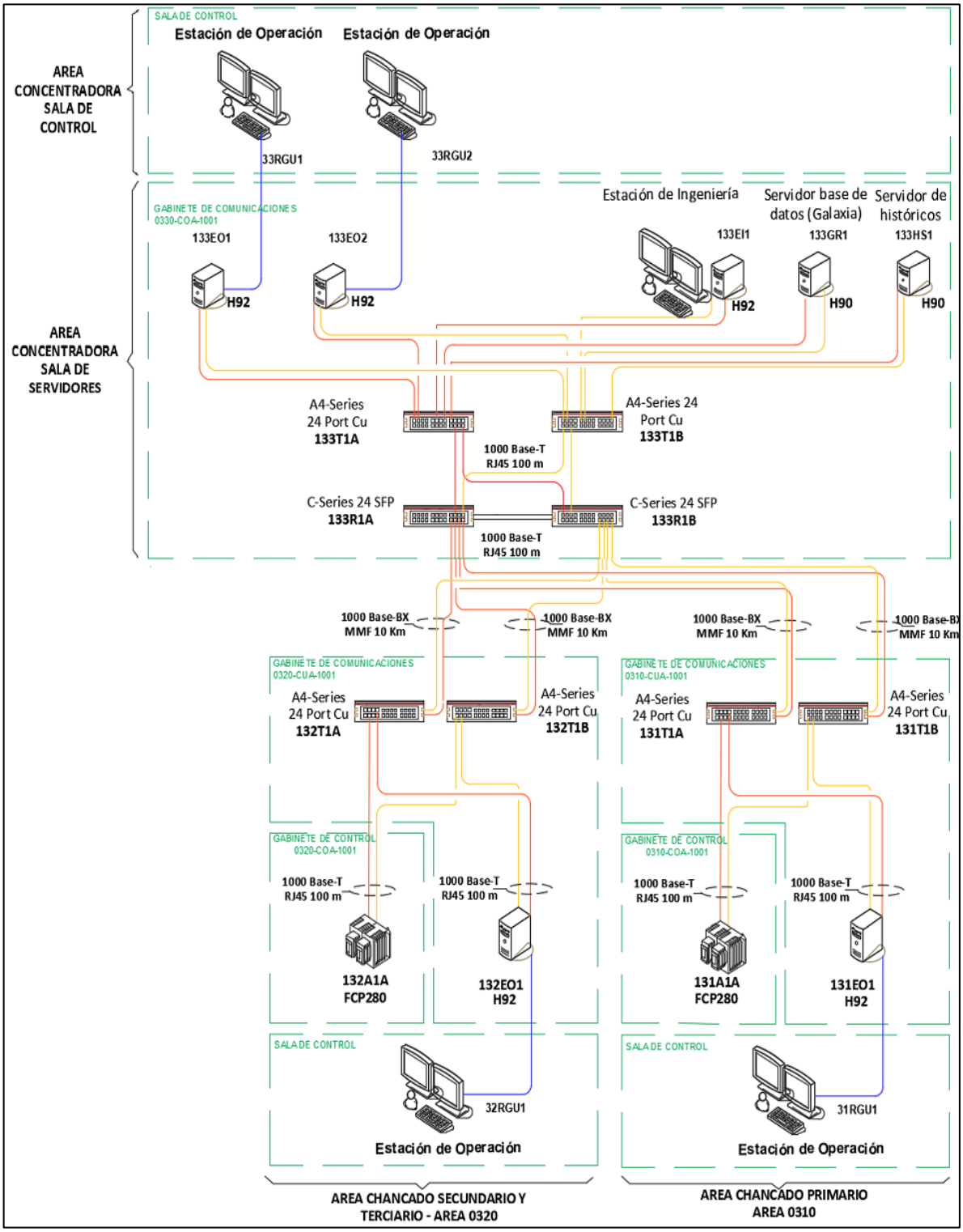


Figura 29. Arquitectura de control Foxboro - Área de Chancado

Después del dimensionamiento de módulos y controladores se realizaron los diagramas de gabinetes, para cada subsistema se consideró un gabinete de comunicación, un gabinete de control y una estación de operación, así mismo se consideró un gabinete de servidores para la sala de control principal de mina Tintaya.

Chancado primario. Gabinete de control: se consideró un gabinete de 800x800x2000 mm el cual ocupará el espacio del gabinete de control ABB. La alimentación del gabinete es del UPS existente en el área, de esta manera se cuenta con energía de 120VAC, estabilizada y con un respaldo de energía de 2 horas.

Tabla 10.

Componentes gabinete de control

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	FCP280	Controlador de proceso de campo	2
2	FBM214b	AI, 8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.	3
3	FBM215	AO, 8 canales de 4 -20 mA	1
4	FBM207	DI, 16 canales, 120/125V, 3A.	6
5	FBM242	DO, 16 canales, 250 VAC, 5A.	2
6	FBM203	AI, 8 canales, tipo RTD 3 hilos	1
7	FBM230	Modbus serial RS232/RS485, 4 puertos	1
8	RH924JH	Terminal de conexion de FBM214b	6
9	RH926SP	Terminal de conexion de FBM215	3
10	RH916PK	Terminal de conexion de FBM207	25
11	RH916YY	Terminal de conexion de FBM242	6
12	RH916XJ	Terminal de conexion de FBM203	1
13	P0926GU	Terminal de conexion de FBM230	1
14		Accesorios de conexión	2
15		Accesorios de alimentación	3

Fuente: propia

Gabinete de comunicación, es un gabinete de 800x800x2000 mm, con rack de montaje para equipos de 19”.

Tabla 11.

Componentes gabinete de comunicación

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	P0973-JM	Switch de 24 puertos administrable	2
2	H9280DCG0700	Estación de Operación H92	1

Fuente: propia

Chancado Secundario y terciario. Gabinete de control, se tiene dos gabinetes de 800x800x2000 mm el cual contiene los procesadores, módulos de entradas y salidas y sus respectivos terminales de conexión.

Tabla 12.

Componentes gabinete de control

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	FCP280	Controlador de proceso de campo	2
2	FBM214b	AI, 8 canales de 4 -20 mA, conexión 2 hilos.	6
3	FBM215	AO, 8 canales de 4 -20 mA	3
4	FBM207	DI, 16 canales, 120/125V, 3A.	25
5	FBM242	DO, 16 canales, 250 VAC, 5A.	6
6	FBM203	AI, 8 canales, tipo RTD 3 hilos	1
7	FBM230	Modbus serial RS232/RS485, 4 puertos	1
8	RH924JH	Terminal de conexion de FBM214b	6
9	RH926SP	Terminal de conexion de FBM215	3
10	RH916PK	Terminal de conexion de FBM207	25
11	RH916YY	Terminal de conexion de FBM242	6
12	RH916XJ	Terminal de conexion de FBM203	1
13	P0926GU	Terminal de conexion de FBM230	1
14		Accesorios de conexión	2
15		Accesorios de alimentación	3

Fuente: propia

Gabinete de comunicación, es un gabinete de 800x800x2000 mm, con rack de montaje para equipos de 19”.

Tabla 13.

Componentes gabinete de comunicación

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	P0973-JM	Switch de 24 puertos administrable	2
2	H9280DCG0700	Estación de Operación H92	1

Fuente: propia

Para ambos casos solo los periféricos de las estaciones de operación se ubican en las alas de control de cada subsistema, estos son conectados mediante una RGU de marca MATROX

Sala de Servidores – Sala Control Principal. Gabinete de comunicaciones, como parte de la plataforma Foxboro se incorpora un servidor de aplicación conocido como Repositorio de Galaxia, este contiene la configuración de la plataforma de control (Galaxia), administra las licencias. El otro servidor instalado es el servidor de históricos el cual almacena los datos relevantes del proceso, en este caso del área de chancado.

En el mismo gabinete se incluyeron dos estaciones de operación y una estación de ingeniería de esta manera el operador de la sala de control principal puede visualizar en tiempo real la operación del área de chancado.

El Gabinete donde se incluyeron todos estos equipos es de 800x1000x2000 mm de dimensión.

Tabla 14.

Componentes gabinete de comunicación Sala de servidores

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	P0973-JM	Switch de 24 puertos administrable	2
2	H9280DCG0700	Estación de Operación H92	3
3	P0973JX	Switch de 26 puertos para Uplink	2
4	H903EJA011C0	Servidor Modelo H90	2

Fuente: propia

Integración y configuración

Configuración de pantallas de interface gráfica y lógica. Los respaldos obtenidos durante la fase de relevamiento sirvieron para realizar una ingeniería inversa, es decir en base a estos se elaboraron los diagramas lógicos, documento que nos permite desarrollar la lógica de control en el software de programación.

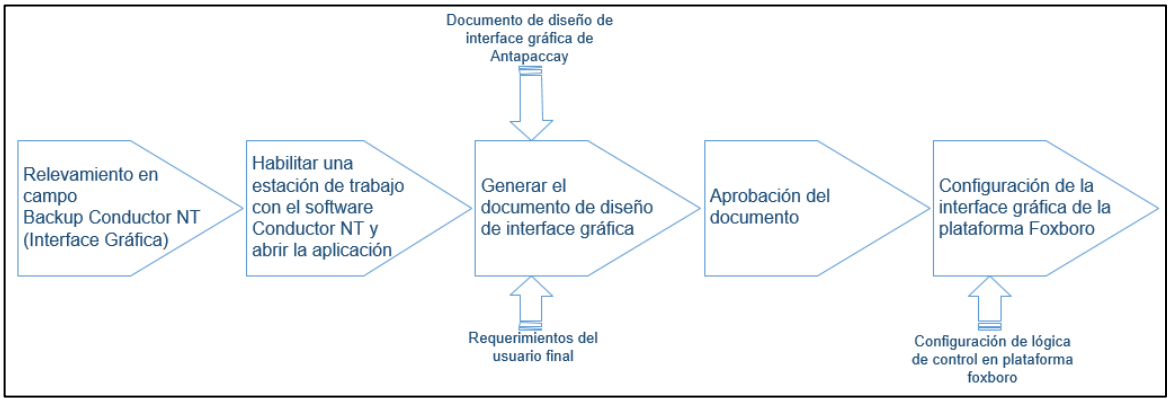


Figura 30. Proceso de configuración de lógica de control.

Fuente: propia

Para el caso de las pantallas se elaboró un documento de Especificaciones de diseño que contemplaba las características que tendrían las nuevas pantallas, basadas en la aplicación de la operación de Antapaccay.

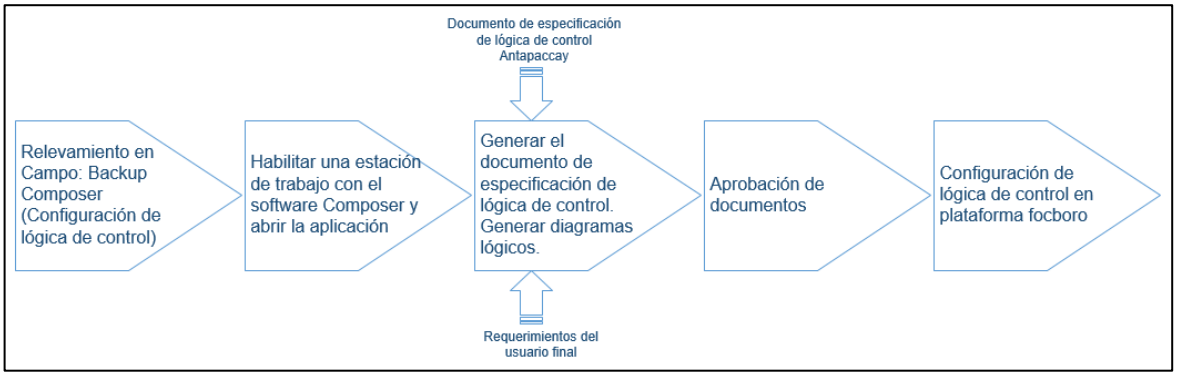


Figura 31. Proceso de configuración de pantallas para interface gráfica.
Fuente: propia

Integración de gabinetes de control y comunicaciones. Se denomina a la montaje, cableado y conexionado de todos los equipos y accesorios dentro de cada gabinete de acuerdo con los planos desarrollados y aprobados en la fase de ingeniería del proyecto.

Una vez que los gabinetes se encuentran integrados se procede con la configuración de los equipos de acuerdo con las especificaciones de la arquitectura de control para el caso de los switches, así mismo se procede a cargar en las estaciones, servidores y controladores la lógica y pantallas desarrolladas.

Pruebas

Como parte del control de calidad de los equipos y configuraciones se desarrollaron las pruebas respectivas, previas a la instalación en campo.

Pruebas de Fábrica - FAT (Factory Acceptance Test)

Se desarrollaron para validar que todos los equipos adquiridos se encontraban en buenas condiciones y operaban de acuerdo con los requerimientos del cliente. Estas pruebas se realizan para el hardware asociado al sistema de control.

Pruebas de Configuración - CAT (Configuration Acceptance Test)

Se desarrollaron para validar que la lógica de control y las pantallas de la interface gráfica cumplan los requerimientos del cliente y sigan los lineamientos de los documentos de diseño aprobados.

Pruebas de Sitio - SAT (Site Acceptance Test). Se desarrollaron para validar que todos los componentes estén operando en sitio. Estas pruebas se desarrollan después de la instalación y montaje de los equipos y previo al arranque de planta. De esta manera se valida la operatividad de cada componente del sistema de control.

Capacitación

Antes de las intervenciones se capacitó al personal de operaciones con la misma aplicación y simulando los procesadores. De esta manera los operadores conocieron e interactuaron con la interfaz gráfica.

Ejecución

Está fase se realizó íntegramente en campo, para ello se realizó una planificación minuciosa ya que detener una planta minera involucra costos valiosos. Teniendo en cuenta esto se planteó realizar la implementación del sistema de control en 3 etapas:

Etapa 0: Plataforma de control Foxboro. Habilitación de la plataforma de control Foxboro en planta Tintaya, se habilitó el servidor de galaxia, servidor de históricos y estación de ingeniería, ubicados en el gabinete de comunicaciones 0330-COA-1001 (800x1000x2000). Para esta etapa no fue necesario detener la operación de la planta ya que no se intervino sobre la plataforma de control ABB.

WBS	Nombre de tarea	Duración	Start	Finish
6.1	**ETAPA 0 - Plataforma de Control**	**77 h**	**Mon 2/12/18**	**Thu 2/15/18**
6.1.1	Inicio de actividades	0 d	Mon 2/12/18	Mon 2/12/18
6.1.2	**Actividades previas**	**8 h**	**Mon 2/12/18**	**Mon 2/12/18**
6.1.3	**En Sala de Servidores**	**14 h**	**Tue 2/13/18**	**Tue 2/13/18**
6.1.3.1	Retirar estación de ingeniería Bailey y escritorio	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.2	Traslado de gabinete de 0330-COA-1001 a sala de servidores	4 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.3	Ubicar el gabinete en posición final	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.4	Montaje de equipos en el gabinete 0330-COA-1001.	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.5	Cableado de energía al gabinete 0330-COA-1001 del tablero de distribución	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.6	Cableado de comunicación interna en gabinete 0330-COA-1001	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.7	Cableado de servidor ROVISYS a la red Infinet y red mesh.	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.3.8	Ordenar y etiquetar cables.	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.4	**En Sala de Control:**	**7 h**	**Tue 2/13/18**	**Tue 2/13/18**
6.1.4.1	Ubicar y energizar pantallas de operación y RGU en sala de control	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.4.2	Cableado de FO MM del gabinete 0330-COA-1001 al para la RGU de las estaciones	4 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.4.3	Ordenar y etiquetar cables.	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5	**En Sala de Ingeniería**	**9 h**	**Tue 2/13/18**	**Tue 2/13/18**
6.1.5.1	Instalación de estación de Ingeniería de plataforma ABB	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5.2	Instalación de pantallas de estación de Ingeniería de plataforma Foxboro	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5.3	Cableado de energía para pantallas y RGU	2 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5.4	Tendido de FO MM de gabinete 0330-COA-1001 a RGU de estación de Ingeniería	4 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5.5	Tendido de cable STP de gabinetes ABB a estación de ingeniería ABB	4 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.5.6	Ordenar y etiquetar cables.	1 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
6.1.6	**Pruebas**	**29 h**	**Wed 2/14/18**	**Thu 2/15/18**
6.1.6.1	Energizar gabinete 0330-COA-1001	4 h	Wed 2/14/18	Wed 2/14/18
6.1.6.2	Verificar operatividad de todos los equipos del gabinete (Pruebas SAT)	4 h	Wed 2/14/18	Wed 2/14/18
6.1.6.3	Pruebas de comunicación de la plataforma Foxboro	4 h	Wed 2/14/18	Wed 2/14/18
6.1.6.4	Pruebas de comunicación con Servidor Rovisys	6 h	Wed 2/14/18	Thu 2/15/18
6.1.6.5	Termino de actividades	0 h	Thu 2/15/18	Thu 2/15/18

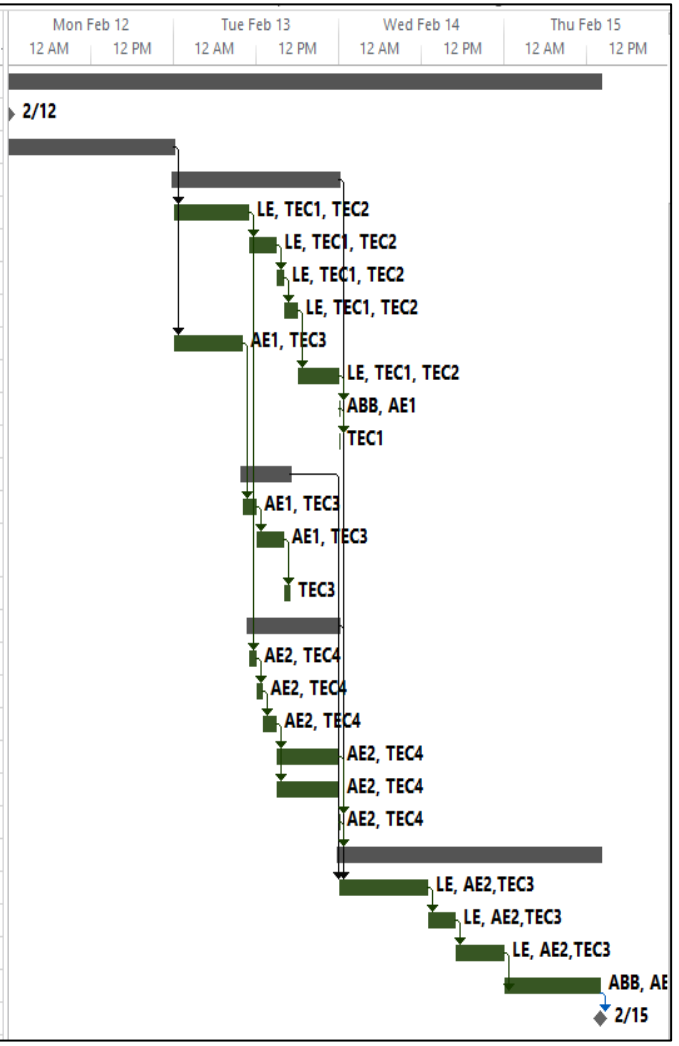


Figura 32. Diagrama Gantt de actividades Etapa 0

Fuente: propia

Etapa 1: Migración Chancado Primario. Esta etapa contempla el cambio de los gabinetes de chancado primario en la sala eléctrica, así como el remplazo de la estación de operación en la sala de control. Se consideró realizar de manera separada la intervención del área de chancado ya que esto permitió reducir el tiempo de planta detenida y concentrar esfuerzos en un solo punto. Un punto crítico en esta etapa fue modificar el lazo Infinet, ya que el nodo de chancado primario fue removido.

WBS	Nombre de tarea	Duración	Start	Finish
6.2	**ETAPA 1 - Chancado Primario**	**70 h**	**Wed 3/21/18**	**Sat 3/24/18**
6.2.1	Incio de trabajos : se requiere Tendido de Fibra Optica	0 h	Wed 3/21/18	Wed 3/21/18
6.2.2	**En General:**	**8 h**	**Wed 3/21/18**	**Wed 3/21/18**
6.2.3	**PARADA DE AREA CHANCADO PRIMARIO**	**60 h**	**Wed 3/21/18**	**Sat 3/24/18**
6.2.3.1	**En Sala Eléctrica Chancado Secundario (Gabinete de Control ABB):**	**14.8 h**	**Wed 3/21/18**	**Thu 3/22/18**
6.2.3.1.1	Verificación del estado de ambos lazos de control en las tarjetas INNIS03. (P	0 h	Wed 3/21/18	Wed 3/21/18
6.2.3.1.2	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J1 de la NTCL01 primaria.	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.3	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J2 de la NTCL01 secundaria.	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.4	Hacer un puente con el cable NKTT01 entre el J1 de la NTCL01 primaria y el J:	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.5	Verificar el estado de lazo primario en las tarjetas INNIS03 (primaria y redun	0 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.6	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J3 de la NTCL01 primaria.	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.7	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J4 de la NTCL01 secundaria.	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.8	Hacer un puente con el cable NKTT01 entre el J3 de la NTCL01 prumaria y el J	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.9	Verificar el estado de lazo primario en las tarjetas INNIS03 (primaria y redun	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.10	Retirar el cable coaxial que va al PCU7	0.1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.1.11	Intervenir el PCU7.	0 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2	**En Sala Eléctrica Chancado Primario:**	**28 h**	**Thu 3/22/18**	**Fri 3/23/18**
6.2.3.2.1	Trasladar los gabinetes al ingreso de la sala electrica	4 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.2	Desenergizar los gabinetes ABB	1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.3	Desmontar y retirar los gabinetes ABB de la sala electrica	4 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.4	Montaje de gabinete 0310-CUA-1001	2 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.5	Montaje de equipos en el gabinete 0310-CUA-1001	2 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.6	Cableado interno de equipos en gabinete 0310-CUA-1001	1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.7	Fusionado de fibra óptica multimodo en patch panel de gabinete 0310-CUA-1001	2 h	Thu 3/22/18	Fri 3/23/18
6.2.3.2.8	Cableado de energía al gabinete 0310-CUA-1001 desde UPS.	1 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
6.2.3.2.9	Montaje de gabinete 0310-COA-1001	4 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.2.10	Conexionado interno de señales de campo en gabinete 0310-COA-1001	10 h	Thu 3/22/18	Fri 3/23/18
6.2.3.2.11	Cableado de energía al gabinete 0310-CUA-1001 desde UPS	1 h	Thu 3/22/18	Fri 3/23/18
6.2.3.2.12	Cableado de fibra óptica multimodo de gabinete 0310-CUA-1001 a 0310-COA-10(	1 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
6.2.3.2.13	Ordenar y etiquetar cables	4 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
6.2.3.3	**En Sala de Control:**	**8 h**	**Thu 3/22/18**	**Thu 3/22/18**
6.2.3.3.1	Ubicar y energizar pantallas de operación y RGU en sala de control	2 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.3.2	Cableado de FO MM de gabinete 0310-CUA-1001 al para la RGU de las estacion	5 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.3.3	Ordenar y etiquetar cables.	1 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
6.2.3.4	**Pruebas**	**22 h**	**Fri 3/23/18**	**Sat 3/24/18**
6.2.4	Fin de trabajos Etapa 1	0 h	Sat 3/24/18	Sat 3/24/18

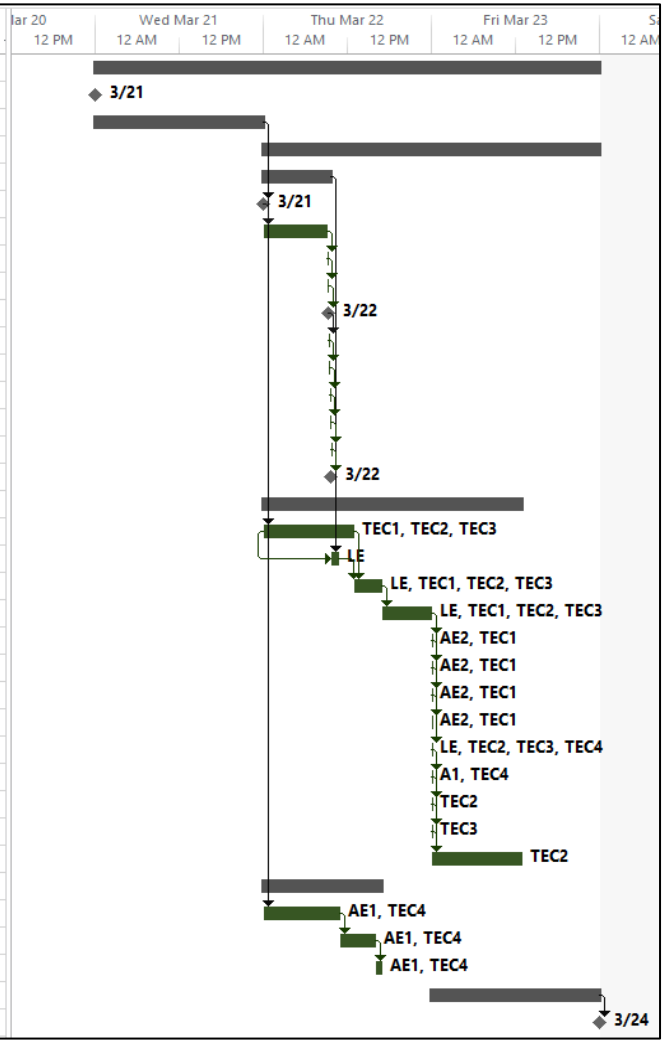
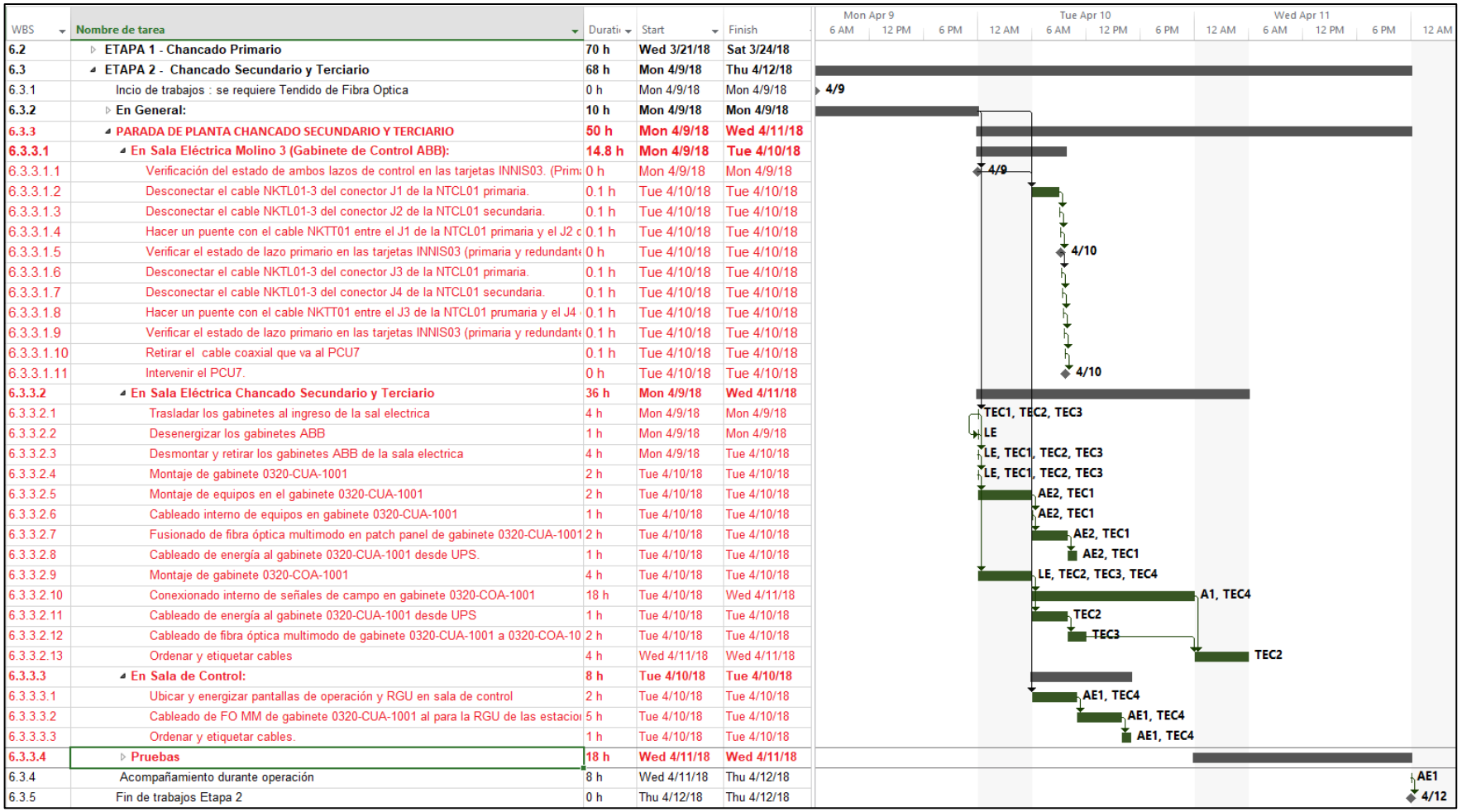


Figura 33. Cronograma de actividades Etapa 1

Fuente: propia

Etapa 2: Migración Chancado Secundario. Esta etapa contempla el cambio de los gabinetes de chancado secundario y terciario en la sala eléctrica, así como el remplazo de la estación de operación en la sala de control. Al igual que la Etapa 1, se modificó el lazo Infinet esta vez removiendo el nodo de chancado secundario.



WBS	Nombre de tarea	Duración	Start	Finish
6.2	ETAPA 1 - Chancado Primario	70 h	Wed 3/21/18	Sat 3/24/18
6.3	ETAPA 2 - Chancado Secundario y Terciario	68 h	Mon 4/9/18	Thu 4/12/18
6.3.1	Incio de trabajos : se requiere Tendido de Fibra Optica	0 h	Mon 4/9/18	Mon 4/9/18
6.3.2	En General:	10 h	Mon 4/9/18	Mon 4/9/18
6.3.3	PARADA DE PLANTA CHANCADO SECUNDARIO Y TERCIARIO	50 h	Mon 4/9/18	Wed 4/11/18
6.3.3.1	En Sala Eléctrica Molino 3 (Gabinete de Control ABB):	14.8 h	Mon 4/9/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.1	Verificación del estado de ambos lazos de control en las tarjetas INNIS03. (Prim	0 h	Mon 4/9/18	Mon 4/9/18
6.3.3.1.2	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J1 de la NTCL01 primaria.	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.3	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J2 de la NTCL01 secundaria.	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.4	Hacer un puente con el cable NKTT01 entre el J1 de la NTCL01 primaria y el J2 c	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.5	Verificar el estado de lazo primario en las tarjetas INNIS03 (primaria y redundant	0 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.6	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J3 de la NTCL01 primaria.	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.7	Desconectar el cable NKTL01-3 del conector J4 de la NTCL01 secundaria.	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.8	Hacer un puente con el cable NKTT01 entre el J3 de la NTCL01 prumaria y el J4	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.9	Verificar el estado de lazo primario en las tarjetas INNIS03 (primaria y redundant	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.10	Retirar el cable coaxial que va al PCU7	0.1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.1.11	Intervenir el PCU7.	0 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2	En Sala Eléctrica Chancado Secundario y Terciario	36 h	Mon 4/9/18	Wed 4/11/18
6.3.3.2.1	Trasladar los gabinetes al ingreso de la sal electrica	4 h	Mon 4/9/18	Mon 4/9/18
6.3.3.2.2	Desenergizar los gabinetes ABB	1 h	Mon 4/9/18	Mon 4/9/18
6.3.3.2.3	Desmontar y retirar los gabinetes ABB de la sala electrica	4 h	Mon 4/9/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.4	Montaje de gabinete 0320-CUA-1001	2 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.5	Montaje de equipos en el gabinete 0320-CUA-1001	2 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.6	Cableado interno de equipos en gabinete 0320-CUA-1001	1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.7	Fusionado de fibra óptica multimodo en patch panel de gabinete 0320-CUA-1001	2 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.8	Cableado de energía al gabinete 0320-CUA-1001 desde UPS.	1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.9	Montaje de gabinete 0320-COA-1001	4 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.10	Conexionado interno de señales de campo en gabinete 0320-COA-1001	18 h	Tue 4/10/18	Wed 4/11/18
6.3.3.2.11	Cableado de energía al gabinete 0320-CUA-1001 desde UPS	1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.12	Cableado de fibra óptica multimodo de gabinete 0320-CUA-1001 a 0320-COA-10	2 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.2.13	Ordenar y etiquetar cables	4 h	Wed 4/11/18	Wed 4/11/18
6.3.3.3	En Sala de Control:	8 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.3.1	Ubicar y energizar pantallas de operación y RGU en sala de control	2 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.3.2	Cableado de FO MM de gabinete 0320-CUA-1001 al para la RGU de las estacio	5 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.3.3	Ordenar y etiquetar cables.	1 h	Tue 4/10/18	Tue 4/10/18
6.3.3.4	Pruebas	18 h	Wed 4/11/18	Wed 4/11/18
6.3.4	Acompañamiento durante operación	8 h	Wed 4/11/18	Thu 4/12/18
6.3.5	Fin de trabajos Etapa 2	0 h	Thu 4/12/18	Thu 4/12/18

Figura 34 Cronograma de actividades Etapa 2

Fuente: propia

Al finalizar cada una de las etapas se procedió a realizar las pruebas respectivas, en este caso se realizaron las pruebas SAT (Site Aceptance Test), donde se valida la operación de los equipos del DCS instalados. También se realizaron las pruebas funcionales, es decir verificar que la lógica y gráficas operen de acuerdo con los requerimientos.

Grupo de proceso de Monitoreo y Control Seguimiento

Como parte de las actividades para este grupo de proceso se realizan: los reportes de avance, los cuales se realizan mensualmente, así mismo cada 15 días se realizarían reuniones con el cliente para mostrar el avance del proyecto y tomar decisiones sobre puntos relevantes en actividades de ejecución.

Los indicadores de medición de avance del proyecto se obtienen de la comparación del avance ejecutado versus el programado de acuerdo con el cronograma base, así mismo cada actividad es ponderada de acuerdo con un juicio de expertos para determinar el factor de avance de cada actividad.

Grupo de proceso de Cierre

En este grupo de proceso se realizan las actividades correspondientes al término del proyecto:

Actualización de documentación asociada al proyecto y que fue modificada en la fase de ejecución. Toda esta información es entregada al cliente como parte del dosier de calidad de cierre del proyecto.

Elaboración y entrega del informe final del proyecto, donde se describe las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto. Los resultados obtenidos y se muestra la situación final del sistema de control del área de chancado.

Firma del acta de conformidad del proyecto, el cliente como parte de la recepción final del proyecto procede a firmar el acta de conformidad del proyecto validando que se hayan cumplido con sus requerimientos.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Después de la migración, el Sistema de control ABB y el sistema de control Foxboro coexisten en la planta concentradora de Tintaya, la primera se encarga de los controles de las áreas de molienda y flotación, mientras que la segunda se encarga de los controles del área de chancado.

Migración de señales

El 19.5% de señales (entradas y salidas) de la plataforma de control de la planta de Tintaya se migró a la nueva plataforma Foxboro.

Tabla 15.

Cantidad de señales antes y después de la migración del DCS

Procesador	Area	Cantidad de señales (Antes)	Cantidad de señales (Después)	Porcentaje de señales
PCU 1	Molino de Bolas 3	150	150	2.8%
PCU 2	Molino de Bolas 1	685	685	12.8%
PCU 3	Molino de Bolas 2	638	638	11.9%
PCU 4	Flotación Celda 3A	716	716	13.4%
PCU 4 COMM	Rio Salado	47	47	0.9%
PCU 5	Flotación Celda 3B	742	742	13.9%
PCU 6	Remolienda	1020	1020	19.1%
PCU 7	Chancado Primario	208	208	3.9%
PCU 7 COMM	Planta de Agua		23	0.4%
PCU 8	Chancado Secundario	759	759	14.2%
PCU 8 COMM	Chancadora Raptor		51	1.0%
PCU 15	Relaves	306	306	5.7%
Total		**5271**	**5345**	**100.0%**

Se puede observar que se adicionaron señales de comunicación tanto para el PCU 7 como para PCU que pertenecen a las áreas de Chancado primario y secundario respectivamente. Fuente: propia.

Luego de la migración las señales del área de chancado aumentaron en 74, ya que se logró integrar los PLCs de terceros al sistema de control, estas señales pertenecen a la planta de agua y chancadora raptor, donde el control es realizado por PLCs y se comunican vía modbus serial al DCS Foxboro.

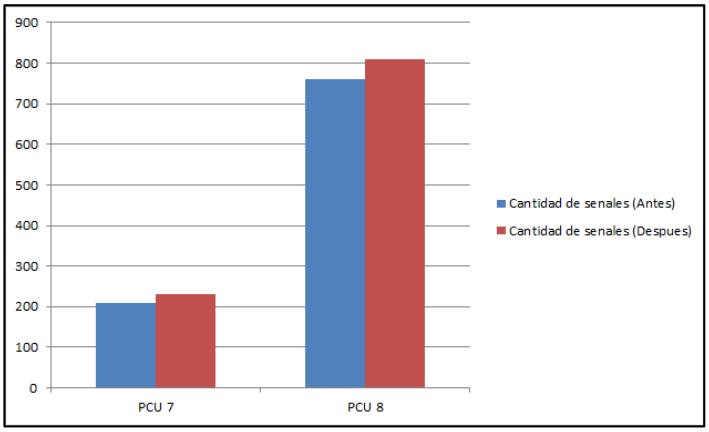


Figura 35. Diferencia de señales en Sistema de control del área Chancado.

Fuente: propia

En el área de chancado primario se adicionaron señales del PLC de agua de servicios, 23 señales (digitales y analógicas) que ayudaran al operador a monitorear esta área y podrá tomar mejores decisiones ya que se puede observar el estado de los motores de las bombas de cada estación (detenido, funcionando, en sobrecarga y con voltaje de control), los niveles de los tanques que proporcionan agua a las diferentes áreas de la mina y con ello se puede hacer el cálculo de consumo.

Tabla 16.

Lista de señales adicionadas en chancado primario

Nombre de Señal	Descripción	Tipo
EST1-M001-CV	Voltaje de control Motor 1 Estación 1	DIGITAL
EST1-M001-OL	Sobrecarga trip Motor 1 Estación 1	DIGITAL
EST1-M001-RU	Confirmación de Funcionando Motor 1 Estación 1	DIGITAL
EST1-M002-CV	Voltaje control Motor 2 Estación 1	DIGITAL
EST1-M002-OL	Sobrecarga trip Motor 2 Estación 1	DIGITAL
EST1-M002-RU	Confirmación de Funcionando Motor m2 Estación 1	DIGITAL
EST2-M001-CV	Voltaje de control Motor 1 Estación 2	DIGITAL

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Tabla 17.

Lista de señales adicionadas en chancado primario (continua)

Nombre de Señal	Descripción	Tipo
EST2-M001-OL	Sobrecarga trip Motor 1 Estación 2	DIGITAL
EST2-M001-RU	Confirmación de Funcionando Motor m1 Estación 2	DIGITAL
EST3-M001-CV	Voltaje de control Motor 1 Estación 3	DIGITAL
EST3-M001-OL	Sobrecarga trip Motor 1 Estación 3	DIGITAL
EST3-M001-RU	Confirmación de Funcionando Motor m1 Estación 3	DIGITAL
EST3-M002-CV	Voltaje de control Motor 2 Estación 3	DIGITAL
EST3-M002-OL	Sobrecarga trip Motor 2 Estación 3	DIGITAL
EST3-M002-RU	Confirmación de Funcionando Motor 2 Estación 3	DIGITAL
FT-PTAGUA	Falla comunicación planta de agua	DIGITAL
FIT-TK002	Totalizador de turno	ANALOG
LIT-EST1	Nivel tanque Estación 1 hospital	ANALOG
LIT-EST2	Nivel tanque Estación2 tambomachay	ANALOG
LIT-EST3	Nivel tanque Estación 3 camp 3	ANALOG
LIT-RIO	Nivel Río salado	ANALOG
LIT-TK01	Nivel tanque agua fresca	ANALOG
LIT-TK02	Nivel tanque agua recuperada	ANALOG

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

En el área de chancado secundario y terciario se adicionaron señales del PLC del chancador terciario raptor (denominada así por su modelo), estas señales ayudan al operador a tener un mejor control de este chancador, así mismo mejora el mantenimiento del equipo ya que se puede monitorear e historizar los datos de temperatura, presión, flujo y nivel del sistema de lubricación del chancador, vibración del chancador, esta información permite poder observar cómo se ha ido comportando el equipo a lo largo del tiempo y definir el mejor momento para realizar un mantenimiento preventivo.

Como proceso las señales que se adicionaron son las de Set, la cual permite ingresar la velocidad a la que se quiere trabaje el chancador, esta depende del tipo de mineral que se tenga en el momento y es decisión del operador ingresar el valor, otro valor importante es el de la corriente del motor, nivel de la tolva, temperaturas de ejes, información que le va diciendo al operador si el equipo está trabajando adecuadamente.

Tabla 18.

Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario

Nombre de Señal	Descripción	Tipo
320-DIFT1	Diferencial de temperatura excéntrica - Chancador Terciario	ANALOG
320-FIT1-T2	Flujo de aceite de lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
320-FIT2-T2	Flujo de aire de soplador - Chancador Terciario	ANALOG
320-II-029	Corriente de motor de Chancador Terciario	ANALOG
320-LT-29B	Nivel de tolva de Chancador Terciario	ANALOG
320-PDI01	Presión diferencias de Filtro de Lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
320-SET-T2	Set Chancador Terciario	ANALOG
320-ST-013P	Porcentaje Velocidad Faja 8 - 1	ANALOG
320-ST-13P	Porcentaje Velocidad Faja 8 - 2	ANALOG
320-TIM1-T2	Horómetro Soplador Funcionando - Chancador Terciario	ANALOG
320-TT035	Temperatura de Lubricación Chancador Terciario	ANALOG
320-TT35E	Temperatura tanque de lubricación Chancador Terciario	ANALOG
320-TT35EJ	Temperatura contraeje Chancador Terciario	ANALOG
320-TT35EX	Temperatura excentrica Chancador Terciario	ANALOG
320-TT35R	Temperatura de Retorno Lubricación Chancador Terciario	ANALOG
320-VI-01-T2	Sensor de Vibración 1 - Chancador Terciario	ANALOG
320-VI-02-T2	Sensor de Vibración 2 - Chancador Terciario	ANALOG
320-VI-03-T2	Sensor de Vibración 3 - Chancador Terciario	ANALOG
320-VI-04-T2	Sensor de Vibración 4 - Chancador Terciario	ANALOG
CAV_LEVEL	Nivel de Alimentación Chancador terciario	ANALOG
CLAM_PRESS	Presión de Reprimisión - Chancador Terciario	ANALOG
CR_AMP	Corriente de motor de Chancador Terciario	ANALOG
CR_CSB_TEMP	Temperatura de contra eje - Chancador Terciario	ANALOG
CR_SPEED	Velocidad de Motor - Chancador Terciario	ANALOG

Tabla 19.

Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario (continua)

Nombre de Señal	Descripción	Tipo
BUSH_OIL_T	Temperatura de Eje excéntrica - Chancador Terc.	ANALOG
HYD_OIL_TEMP	Temperatura de aceite hidráulico - Chancador Terc.	ANALOG
KW	Potencia de Motor - Chancador Terciario	ANALOG
LUBE_DIFF_PRESSURE	Presión diferencias de Filtro de Lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
LUBE_RETURN_TEMP	Temperatura de aceite de retorno lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
LUBE_SUPPLY_PRESSURE	Presión de entrada de aceite lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
LUBE_SUPPLY_TEMP	Temperatura de aceite de entrada lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
LUBE_TANK_TEMP	Temperatura de tanque de aceite lubricación - Chancador Terciario	ANALOG
MOTOR_TEMP	Temperatura del Motor - Chancador Terciario	ANALOG
SYSTEM_PRESSURE	Presión Sistema hidráulico - Chancador Terciario	ANALOG
TRAMP_PRESSURE	Presión de liberación - Chancador Terciario	ANALOG
VIB1	Sensor de Vibración 1 - Chancador Terciario	ANALOG
VIB2	Sensor de Vibración 2 - Chancador Terciario	ANALOG
VIB3	Sensor de Vibración 3 - Chancador Terciario	ANALOG
VIB4	Sensor de Vibración 4 - Chancador Terciario	ANALOG
320-F-M029RU-2	Comando partir / parar Chancador Terciario	DIGITAL
320-F-M035RU-2	Bomba de lubricación funcionando Chancador terciario	DIGITAL
320-ISH-029	Sobrecarga de motor Chancador Terciario	DIGITAL
320-LUB-PUM1	Comando Partir /Parar Bomba 1 de Sistema de Lubricación Chancador terciario	DIGITAL

Tabla 20.

Lista de señales adicionadas en chancado secundario y terciario (continua)

Nombre de Señal	Descripción	Tipo
320-LUB-PUM2	Comando Partir /Parar Bomba 2 de Sistema de Lubricación Chancador terciario	DIGITAL
320-RI-029	Switch de presión baja Sistema de Lubricación	DIGITAL
320-TSH-035	Switch de temperatura Alta aceite de retorno Sistema de lubricación	DIGITAL
320-TSHH-035	Switch de temperatura Muy Alta aceite de retorno Sistema de lubricación	DIGITAL
320-TSLL-035E	Switch de temperatura Baja aceite de retorno Sistema de lubricación	DIGITAL
tag1	BIT de prueba	DIGITAL
tag2	BIT de prueba 2	DIGITAL
320-TIM1-T2-RE	Reset horómetro de funcionamiento de Soplador	DIGITAL

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Migración de pantallas

De las 24 pantallas que se usan como interfaz gráfica para la planta concentradora Tintaya 4 (16.7%) han sido migradas al sistema de control Foxboro (área chancado) y se hicieron bajo los lineamientos del ASM (Abnormal Situation Management), estos lineamientos permiten al operador identificar una anomalía en la operación de manera más rápida y certera. Así como mostrar valores realmente significativos para la operación.

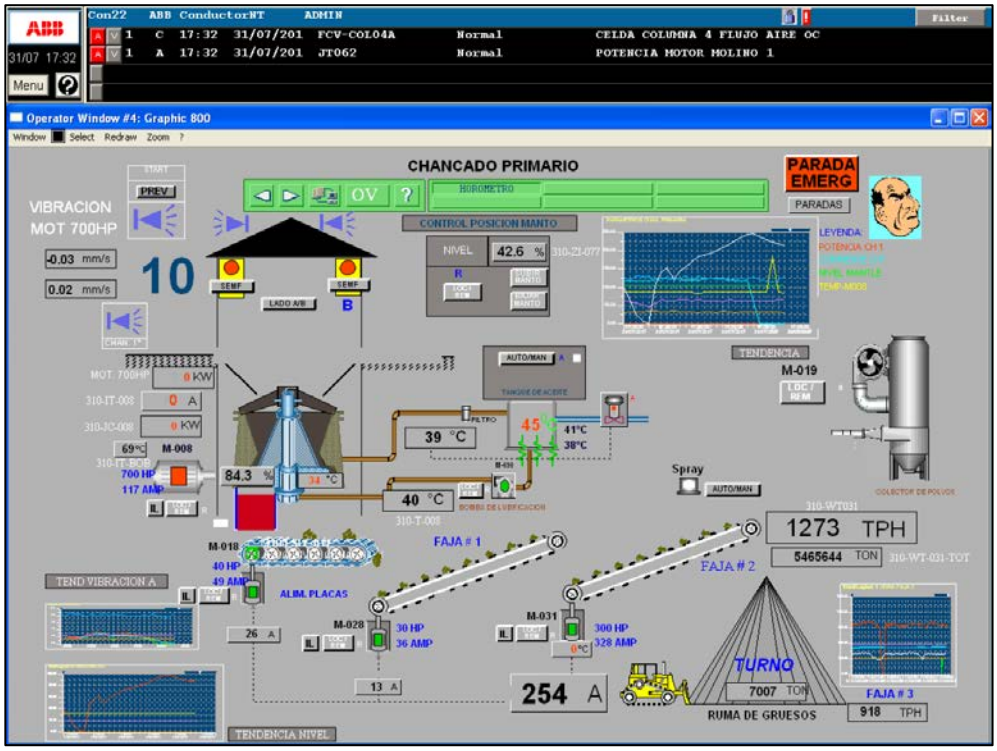


Figura 36. Interfaz gráfica antes de la migración

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

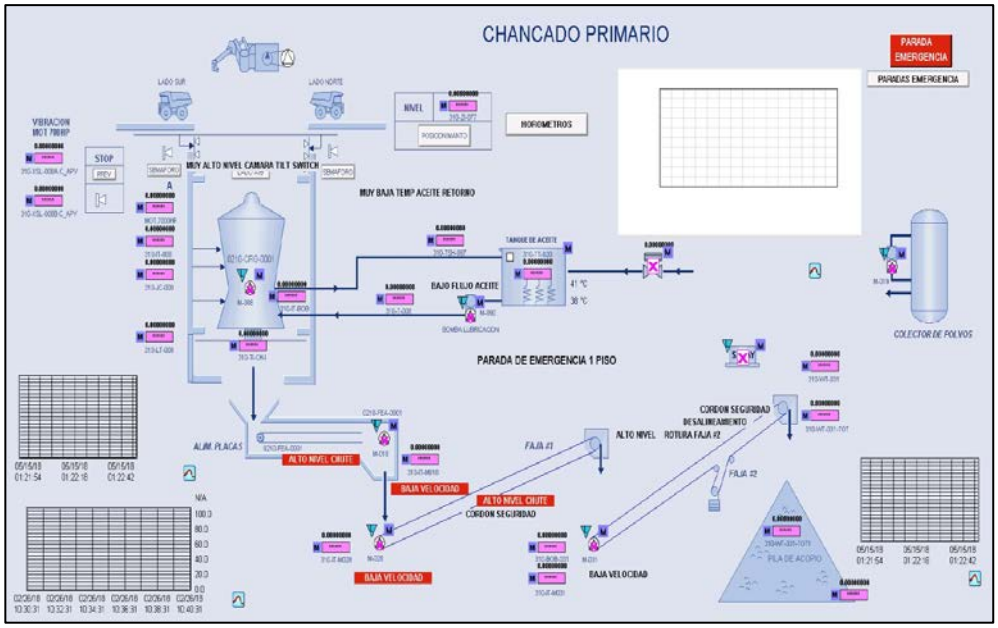


Figura 37. Interfaz gráfica después de la migración

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Faceplates de Motores

Los faceplate o ventanas de control de motores, también fueron modificados bajo los lineamientos de la ASM, permitiendo mostrar más información al operador, limpiando las pantallas principales, de esta manera el operador puede realizar un mejor análisis

de por qué se produjo una falla. Son 9 datos adicionales que el operador podrá visualizar, dentro de los que se encuentra el horómetro (cantidad de horas operativas del motor), este dato es de gran importancia para el área de mantenimiento ya que permite programar los mantenimientos preventivos de cada equipo.

Tabla 21.

Datos de faceplates de motores antes y después de la migración

Datos Faceplates de Motores (Antes)	**Datos Faceplates de Motores (Después)**
	Local
	Remoto
	Manual
	Automático
Start	Partir
Stop	Parar
	Listo para partir
Fault	Detenido por falla
	Horometro
	%de corriente nominal
	Corriente en Amperios
Enclavamientos de proceso	Enclavamientos de proceso
Bad Star	Falla de contactor
Enclavamientos de seguridad	Enclavamientos de seguridad
	Parada de emergencia
Permisivos	Permisivos

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Los motores del área de chancado representan el 28.5% del total de la planta de Tintaya, los cuales ya cuentan con el faceplate elaborado específicamente para esta operación en el sistema de control Foxboro.

Tabla 22.

Cantidad de faceplate de control de motores por área

Procesador	Área	Cantidad de Faceplates de Control de Motores
PCU 1	Molino de Bolas 3	0
PCU 2	Molino de Bolas 1	19
PCU 3	Molino de Bolas 2	18
PCU 4	Flotación Celda 3A	23
PCU 5	Flotación Celda 3B	22
PCU 6	Remolienda	36
PCU 7	Chancado Primario	8
PCU 8	Chancado Secundario	39
PCU 15	Relaves	0
Total		**165**

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Los procesadores PCU 7 y PCU 8 corresponden a las áreas de chancado primario y chancado secundario respectivamente, las cuales representan el 28.5% de los motores de toda la planta. Fuente: Compañía Minera Antapaccay.

Figura 38. Faceplate de control de motores antes de la migración
Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Figura 39. Faceplates de control de motores después de la migración
Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Estaciones de trabajo y servidores

Las estaciones y servidores cuentan con mayor capacidad que las usadas con el sistema de control ABB, esto ayuda a mejorar la performance de las aplicaciones que se ejecutan en cada una de ellas.

Tabla 23.

Comparación de características estaciones de operación

Características	Descripción Estación Anterior	Descripción Estación Nueva
Modelo	Compaq 6200	H9280DCG0700
Controlador	i3-2100 / 3.10 GHz	Intel Xeon® processor
Sistema operativo	XP Professional 2002 SP3	Windows®7 64 bit
RAM	3.16 GB	16GB of DDR3 ECC RAM
Disco duro	470 GB	One 512 GB Solid State Serial ATA hard drive
Tarjeta de video	Integrated Intel HD, AMD FirePro 2270 (512MB)	Quad Head RGU video DisplayPort/DVI interface (Matrox F2408) with 5m LC/LC fiber cable include
Puertos	10 USB 2.0, 1 PS/2 keyboard, 1 PS/2 mouse, 1 DisplayPort, 1 VGA 1 DVI, 1 microphone/headphone jack, 1 line in, 1 line out, 1 RJ-45	Two Single Port Fiber MT-RJ PCIe card NICs + One Integrated RJ-45 NIC
Tipo de nodo	Conductor Client	Estación de operación

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Se remplazaron 2 estaciones de operación y se adicionaron 2 más para poder ayudar la coexistencia de los dos sistemas de control al área de operaciones, así mimos se adicionó la estación de ingeniería y 2 servidores uno de la aplicación y el otro de históricos.

Tabla 24.

Estaciones y servidores remplazados / agregados al DCS

Sistema de Control ABB		Sistema de Control FOXBORO	
Nombre de Equipo	**Descripción de Equipo**	**Equipo Remplazado / Agregado**	**Descripción de Equipo**
CON21	Servidor de Operación Redundante		
CON22	Servidor de Operación Redundante		
CON30	Servidor de Operación		
CON25	Estación de Operación Concentradora		
CON24	Estación de Operación Concentradora		
CON26	Estación de operación Chancado Primario	131EO1	Estación de operación Chancado Primario
CON27	Estación de Operación Concentradora		
CON28	Estación de operación Chancado Secundario	132EO1	Estación de operación Chancado Primario
CON29	Estación de Operación Relaves		
EWS31	Estación de Ingeniería		
		133EO1	Estación de operación
		133EO2	Estación de operación
		133GR1	Servidor de Aplicación
		133HS1	Servidor de históricos
		133EI1	Estación de Ingeniería

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Anteriormente las estaciones de operación historizaban los datos del sistema de control, ahora se cuenta con un servidor de históricos dedicado a esta función, ello permite que la información historizada permanezca en la base de datos y esta se vaya ampliando ya que cuenta con opción de ampliación de memoria. De esta manera se puede ver el comportamiento del proceso y esto puede ayudar en la toma de decisiones de futuras ampliaciones de planta.

La planificación detallada del proyecto permitió ajustar la migración a los tiempos proporcionados por la operación. Así mismo, las pruebas realizadas en fábrica (FAT y CAT) permitieron mitigar los errores durante el comisionamiento y puesta en marcha del sistema de control Foxboro. Se planificó realizar las actividades dentro de las 60 horas de parada de planta y se realizó de esa manera.

Los números de partes de las estaciones, servidores, procesadores, módulos y terminales de conexión son los mismos que se manejan en la operación de Antapaccay, esto permite optimizar la gestión de repuestos del sistema de control. Así mismo, los equipos instalados como parte del sistema de control Foxboro tienen una vida útil de más de 10 años, en su mayoría, ello permite mantener vigente los equipos con las actualizaciones de firmware correspondientes.

Product Number	Control Stations	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
RH924YA	FCP280 Control Processor																															
K12	K12, 800 x800x2000 Sys & Term Enclosure F/R																															
H92	H92 Style Workstation - Z440; Style K																															
H90	H90 Style G,H Workstation Server DL380																															
P0973JM	24-Port Copper Managed Switch																															
P0973KJ	C5 Switch - 26 SFP Port Uplink Switch																															
RH927AH	FBM214b, HART Inputs, 8 Channels																															
RH922VU	FBM215, HART Output, 8 Channels																															
RH914TD	FBM207 Channel Isolated 16 DIN Voltage																															
RH916TA	FBM242 Channel Isolated External Source DO																															
RH924JH	Compact FBM214b, HART Inputs, 8 Channels																															
RH926SP	Compact FBM215, HART Output, 8 Channels																															
RH916PK	Compact FBM207b (Digital Input Module																															
RH916YY	Compact FBM242 (Digital Output Module																															
RH914SV	FBM203 Channel Isolated 8 Input RTD																															
RH916XJ	Compact FBM203 Channel Isolated 8 Input RTD																															
P0926GU	FBM230, Four Serial Ports, Single																															
L0997BW	Foxboro Control Software V6.1																															
L0997BU	Foxboro Evo Base Platform V9.0																															

Figura 40. Ciclo de Vida equipos Foxboro instalados

Fuente: Schneider Electric

Conclusiones

Si bien se pudo realizar una migración a una plataforma de la misma marca, el usuario final optó por estandarizar sus operaciones (Antapaccay y Tintaya), pensando en futuras ampliaciones y encontrando mayor beneficio en una marca sobre la otra por el conocimiento que tiene de esta.

La planificación de la migración del sistema de control es un factor fundamental en la realización de proyectos como este, puesto que con ello se puede reducir riesgos y realizar actividades durante el tiempo establecido, implementando actividades paralelas y priorizando las actividades principales de las secundarias.

Modernizar la plataforma de control de la planta concentradora Tintaya tuvo resultados positivos para la operación, puesto que se mejoraron los controles de algunas áreas con el adicionamiento de señales. Otro punto que ha mejorado la operación es el servidor dedicado para la historización de datos puesto que permite almacenar la data de manera independiente.

Las estaciones y servidores con características más robustas permiten que la plataforma de control trabaje normalmente, es decir, los softwares de operación e ingeniería pueden ejecutarse sin inconvenientes, optimizando los beneficios de configuración de cada uno de ellos.

Es importante seguir lineamiento para el diseño de la interfaz gráfica, ya que es con la que el operador interactúa. Si bien los lineamientos no indican directamente que colores, formas y tamaños se deben usar en el diseño de una pantalla, estas nos dan las nociones básicas para colocar la información relevante de cada proceso y que sea distinguida por el operador cuando es necesario.

Las mejoras obtenidas en el proceso se ven reflejadas en la mejora de disponibilidad del sistema de control aumentó a 98%, a comparación del 95% que se tenía anteriormente en el área de chancado primario. Así mismo, las paradas de planta se redujeron en un 40% de acuerdo con la información de disponibilidad de planta del cliente. Esto gracias a los beneficios que se obtuvieron con la modernización del sistema de control.

Recomendaciones

Realizar la migración del sistema de control en las demás áreas de la planta (flotación y Molienda) para poder tener mejores resultados a nivel integral de la operación.

Para la migración en las demás áreas de la planta se recomienda realizar una planificación detallada, la cual permitirá mitigar riesgos y determinar el tiempo de parada de planta requerida.

A medida que la tecnología avanza los equipos y softwares van mejorando y cambiando, por lo que se recomienda actualizar constantemente al personal de mantenimiento y operación, así como ir modernizando poco a poco el sistema de control.

Las estaciones y servidores deben ser modernizados con mucha más frecuencia que los módulos y controladores del sistema de control, por ser equipos de cómputo.

Es recomendable seguir los lineamientos de la ASM para la elaboración del interfaz gráfico, esto permitirá reducir tiempo de ingeniería y diseño en las futuras migraciones.

REFERENCIAS

Ministerio de Energía y Minas. (2018). Boletín Estadístico Minero. *Impacto del sector minero en las exportaciones, los ingresos, y a producción del Perú*

Glencore (2016). Prácticas Corporativas.

Compañía Minera Antapaccay S.A. (2011). Antapaccay Mining and Technical Information. Recuperado de: http://glencoreperupublicaciones.com/publication/35ec7ed1.

Compañía Minera Antapaccay S.A. (2016). Nuestra estrategia de sostenibilidad 2017. *Informe de Gestión Sostenible*. Recuperado de: http://glencoreperupublicaciones.com/publication/62bbce09/mobile/?alt=1.

Glencore (2017). Annual Report 2017. *Investor Report Archive*. Recuperado de: http://www.glencore.com/investors/reports-results/report-archive.

Vallejo B. & Vallejo S. (2006). Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas.* Recuperado de: https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/1593.

Stouffer, K., Pillitteri, V. & Lightman S., Abrams M., Hahn A. (2015). *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*. DOI: http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2.

Ogata, K. (2003). *Modern Control Engineering, Fourth Edition*. Madrid, España: Pearson Education S.A.

Bakshi, U. A. & Goyal, S. C. (2003). *Control System Engineering, Second Revised Edition*. Pune, India: Technical Publication Pune.

Schneider Electric. (2017). PSS 31H-1FCP280 Field Control Processor 280 (FCP280). *Product Specifications.* Recuperado de:

http://resource.invensys.com/iaseries/pss/31h1/31h1fcp280.pdf?searchid=1527691625280.

Schneider Electric. (2017). PSS 31H-4H90 Model H90 Workstation Server for Windows Server® 2008 R2 Operating System. *Product Specifications*. Recuperado de: http://resource.invensys.com/iaseries/pss/31h4/31h4h90.pdf?searchid=1527691625280.

Schneider Electric. (2017). PSS 31H-4H92 Model H92 Workstation for Windows 7 Professional Operating System. *Product Specifications*. Recuperado de: http://resource.invensys.com/iaseries/pss/31h4/31h4h92.pdf?searchid=1527691625280.

Granda, M. E. (2009). *Estudio de la Factibilidad de Migración de los sistemas Plant Scape Process de Honeywell en NPF y del Sistema de Control Distribuido Foxboro en SPF a un Sistema de Rockwell Automation En El Bloque 16, Repsol YPF* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador.

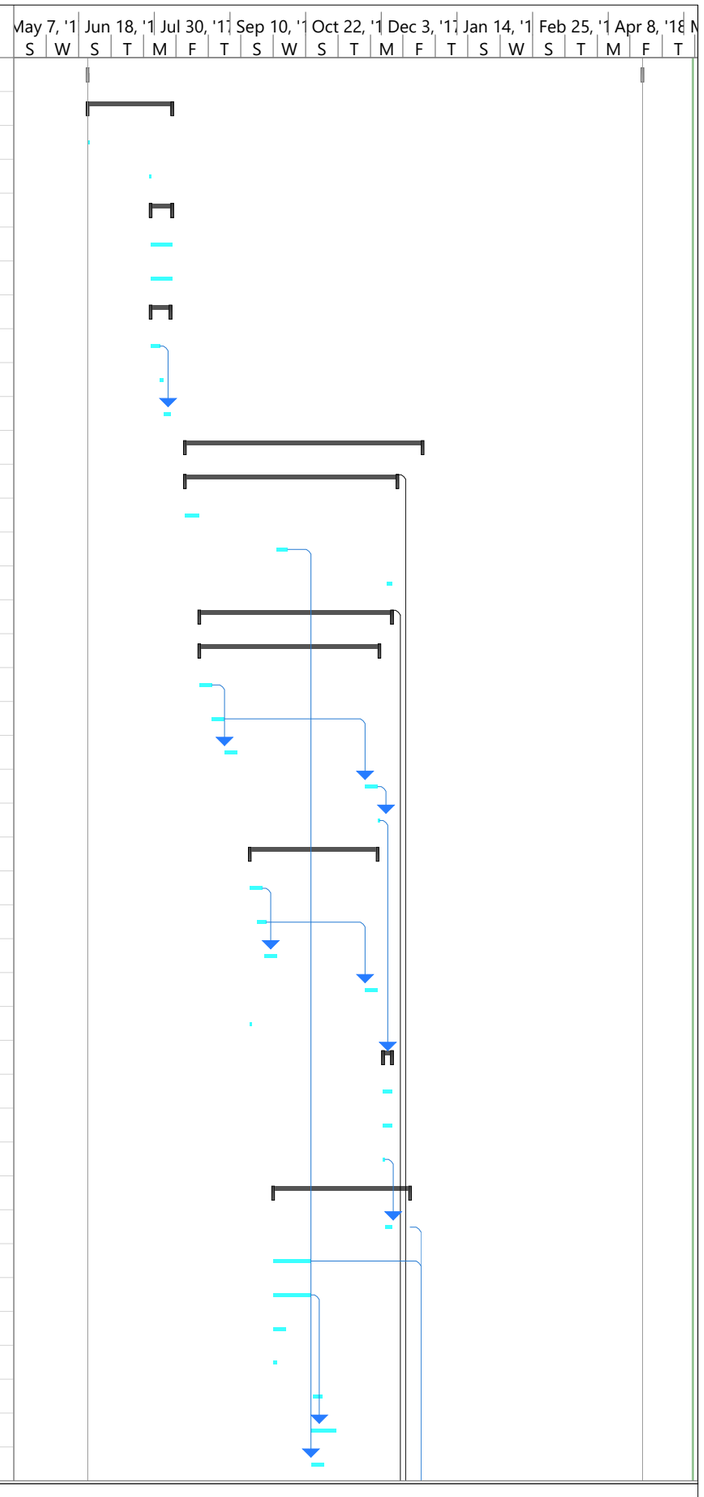
Blanquett, C.G., Hernandez, R. & Tous J.A. (2013). *Migración del Sistema de Control Distribuido del Sistema de Transporte y Almacenamiento de Pellets de Planta I en PROPILCO S.A.* (tesis de maestría). Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias, Colombia.

Montenegro, F. (2013). *Migración e Incorporación de los HMIs y de la Base de Datos de los Sistemas SCADA en las regiones SPF, SSFD, y Pozo 27 del Bloque Repsol YPF* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

http://www.glencoreperu.pe

ANEXOS

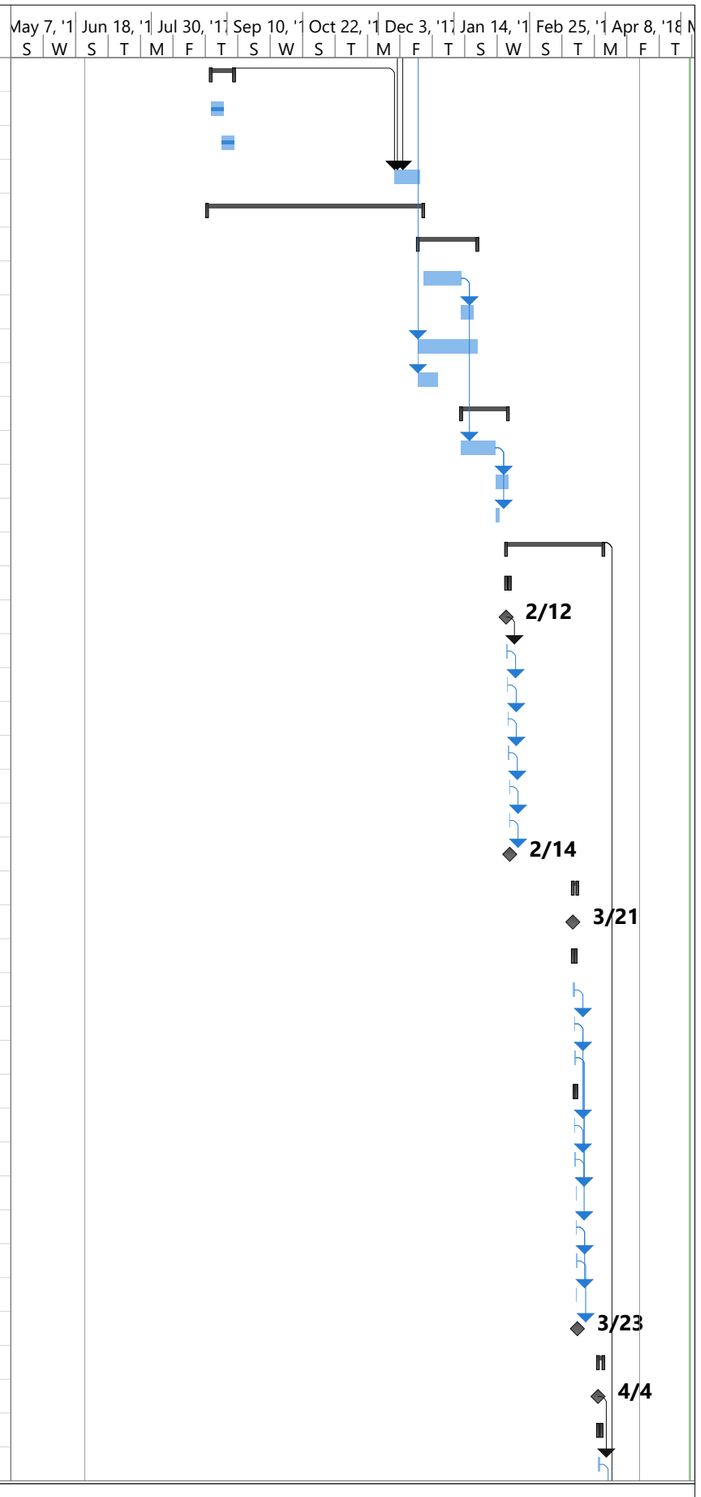
ID	Task Mode	WBS	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish
0		**0**	**PE-10120-CRO-0001 - Cronograma - Rev B**	**220 d**	**Fri 6/23/17**	**Thu 4/26/18**
1		**1**	**GESTION**	**33 d**	**Fri 6/23/17**	**Tue 8/8/17**
2		1.1	Entrega de OC	1 d	Fri 6/23/17	Fri 6/23/17
3		1.2	Reunión de Inicio (KOM)	1 d	Thu 7/27/17	Thu 7/27/17
4		**1.3**	**Documentación**	**8 d**	**Fri 7/28/17**	**Tue 8/8/17**
5		1.3.1	Documentación HSE	8 d	Fri 7/28/17	Tue 8/8/17
6		1.3.2	Documentación Plan de Ejecución	8 d	Fri 7/28/17	Tue 8/8/17
7		**1.4**	**Acreditación**	**7 d**	**Fri 7/28/17**	**Mon 8/7/17**
8		1.4.1	Examenes Medicos	3 d	Fri 7/28/17	Tue 8/1/17
9		1.4.2	Charlas de Inducción	2 d	Wed 8/2/17	Thu 8/3/17
10		1.4.3	Acreditación de Personal	2 d	Fri 8/4/17	Mon 8/7/17
11		**2**	**INGENIERIA**	**94 d**	**Wed 8/16/17**	**Mon 12/25/17**
12		**2.1**	**RELEVO DE INFORMACIÓN**	**84 d**	**Wed 8/16/17**	**Mon 12/11/17**
13		2.1.1	Recopilación de información de Campo	6 d	Wed 8/16/17	Wed 8/23/17
14		2.1.2	Pruebas de Comunicación ROVISYS	4 d	Fri 10/6/17	Wed 10/11/17
15		2.1.3	Recopilación de información de Campo	4 d	Wed 12/6/17	Mon 12/11/17
16		**2.2**	**INGENIERIA DE GABINETES**	**77 d**	**Thu 8/24/17**	**Fri 12/8/17**
17		**2.2.1**	**Gabinetes Área Chancado Primario**	**72 d**	**Thu 8/24/17**	**Fri 12/1/17**
18		2.2.1.1	Plano de Distribución	5 d	Thu 8/24/17	Wed 8/30/17
19		2.2.1.2	Plano de Alimentación Interna	5 d	Thu 8/31/17	Wed 9/6/17
20		2.2.1.3	Plano de conexionado	5 d	Thu 9/7/17	Wed 9/13/17
21		2.2.1.4	Diagramas de Lazo	5 d	Fri 11/24/17	Thu 11/30/17
22		2.2.1.5	Lista de Materiales	1 d	Fri 12/1/17	Fri 12/1/17
23		**2.2.2**	**Gabinetes Área Chancado Secundario y Terc.**	**51 d**	**Thu 9/21/17**	**Thu 11/30/17**
24		2.2.2.1	Plano de Distribución	5 d	Thu 9/21/17	Wed 9/27/17
25		2.2.2.2	Plano de Alimentación Interna	5 d	Mon 9/25/17	Fri 9/29/17
26		2.2.2.3	Plano de conexionado	5 d	Fri 9/29/17	Thu 10/5/17
27		2.2.2.4	Diagramas de Lazo	5 d	Fri 11/24/17	Thu 11/30/17
28		2.2.2.5	Lista de Materiales	1 d	Thu 9/21/17	Thu 9/21/17
29		**2.2.3**	**Gabinetes Área Sala Servidores**	**5 d**	**Mon 12/4/17**	**Fri 12/8/17**
30		2.2.3.1	Plano de Distribución	5 d	Mon 12/4/17	Fri 12/8/17
31		2.2.3.2	Plano de Alimentación Interna	5 d	Mon 12/4/17	Fri 12/8/17
32		2.2.3.3	Lista de Materiales	1 d	Mon 12/4/17	Mon 12/4/17
33		2.3	**INGENIERIA DE PLATAFORMA, HMI y Logica**	54 d	**Wed 10/4/17**	**Mon 12/18/17**
34		2.3.1	Entrenamiento en Configuracion Bailey	10 d	Tue 12/5/17	Mon 12/18/17
35		2.3.2	FDS HMI	15 d	Wed 10/4/17	Tue 10/24/17
36		2.3.3	FDS de Logica	15 d	Wed 10/4/17	Tue 10/24/17
37		2.3.4	Plano de Arquitectura	5 d	Wed 10/4/17	Tue 10/10/17
38		2.3.5	Documento de conexiones de Switches	2 d	Wed 10/4/17	Thu 10/5/17
39		2.3.6	System Definition	3 d	Thu 10/26/17	Mon 10/30/17
40		2.3.7	Ingenieria de Integracion con Bailey	10 d	Wed 10/25/17	Tue 11/7/17
41		2.3.8	Elaboracion de Protocolos de Prueba	5 d	Wed 10/25/17	Tue 10/31/17



Proyecto: PE-10120-CRO-0001
Fecha: Fri 5/25/18

Tarea	Resumen del proyecto	Tarea manual	solo el comienzo	Fecha límite
División	Tarea inactiva	solo duración	solo fin	Progreso
Hito	Hito inactivo	Informe de resumen manual	Tareas externas	Progreso manual
Resumen	Resumen inactivo	Resumen manual	Hito externo	

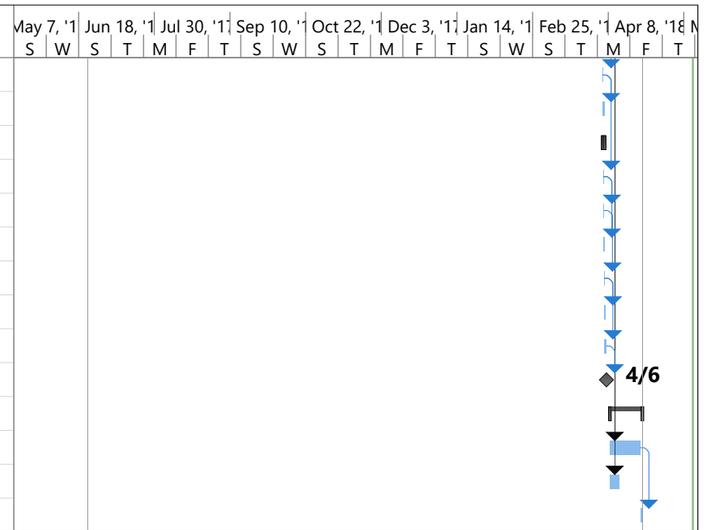
ID	Task Mode	WBS	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish
42		**2.4**	**INGENIERIA DE FIBRA OPTICA**	**9 d**	**Fri 9/1/17**	**Wed 9/13/17**
43		2.4.1	Plano de Distribución General	5 d	Fri 9/1/17	Thu 9/7/17
44		2.4.2	Plano de Distacias y rutas	5 d	Thu 9/7/17	Wed 9/13/17
45		2.5	Aprobaciones	10 d	Tue 12/12/17	Mon 12/25/17
46		**3**	**PROCURA**	**86 d**	**Wed 8/30/17**	**Wed 12/27/17**
56		**4**	**INTEGRACION Y CONFIGURACIÓN**	**25 d**	**Mon 12/25/17**	**Fri 1/26/18**
57		4.1	Integración de Gabinetes	15 d	Thu 12/28/17	Wed 1/17/18
58		4.2	Instalacion de Plataforma	5 d	Thu 1/18/18	Wed 1/24/18
59		4.3	Configuración de Logica	25 d	Mon 12/25/17	Fri 1/26/18
60		4.4	Configuración del HMI	9 d	Mon 12/25/17	Thu 1/4/18
61		**5**	**PRUEBAS FAT y CAT**	**18 d**	**Thu 1/18/18**	**Mon 2/12/18**
62		5.1	Pre FAT y FAT	13 d	Thu 1/18/18	Mon 2/5/18
63		5.2	Pre CAT y CAT	5 d	Tue 2/6/18	Mon 2/12/18
64		5.3	Embalaje y Despacho	2 d	Tue 2/6/18	Wed 2/7/18
65		**6**	**EJECUCIÓN**	**40 d**	**Mon 2/12/18**	**Fri 4/6/18**
66		**6.1**	**ETAPA 0 - Plataforma de Control**	**2 d**	**Mon 2/12/18**	**Wed 2/14/18**
67		6.1.1	Incio de trabajos Etapa 0	0 h	Mon 2/12/18	Mon 2/12/18
68		6.1.2	Montaje e Instalación de Gabinetes	6 h	Mon 2/12/18	Mon 2/12/18
69		6.1.3	Montaje e Instalación de Estaciones en Gabinetes	6 h	Mon 2/12/18	Mon 2/12/18
70		6.1.4	Conexionado y habilitación de Equipos	8 h	Mon 2/12/18	Tue 2/13/18
71		6.1.5	Apertura de red Infinity y conexión de tarjeta IET800 y BRC400	8 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
72		6.1.6	Pruebas de Comunicación	8 h	Tue 2/13/18	Tue 2/13/18
73		6.1.7	Identificacion y Etiquetado de Cables para Etapa 2	8 h	Tue 2/13/18	Wed 2/14/18
74		6.1.8	Fin de trabajos Etapa 0	0 h	Wed 2/14/18	Wed 2/14/18
75		**6.2**	**ETAPA 2 (Primera Parte) - Chancado Primario**	**2.5 d**	**Wed 3/21/18**	**Fri 3/23/18**
76		6.2.1	Incio de trabajos : se requiere Tendido de Fibra Optica	0 h	Wed 3/21/18	Wed 3/21/18
77		**6.2.2**	**Sala Electrica**	**1.75 d**	**Wed 3/21/18**	**Thu 3/22/18**
78		6.2.2.1	Desmontaje de Gabinetes Bailey	10 h	Wed 3/21/18	Wed 3/21/18
79		6.2.2.2	Montaje de Gabinetes Foxboro	10 h	Wed 3/21/18	Thu 3/22/18
80		6.2.2.3	Conexionado de señales de intrumentación y Mesh	12 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
81		**6.2.3**	**Sala de Control**	**1 d**	**Thu 3/22/18**	**Fri 3/23/18**
82		6.2.3.1	Instalación de Estación de operación y RGU	4 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
83		6.2.3.2	Cableado de red y RGU de Sala Electrica a Sala de Control	6 h	Thu 3/22/18	Thu 3/22/18
84		6.2.3.3	Comisionamiento y verificación de lógica	16 h	Thu 3/22/18	Fri 3/23/18
85		6.2.3.4	Revisión de Interlocks con áreas de comunicació Baylie	10 h	Thu 3/22/18	Fri 3/23/18
86		6.2.4	Acompañamiento durante arranque de planta	10 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
87		6.2.5	Etiquetado de Cables, inspección final	6 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
88		6.2.6	Fin de trabajos Etapa 2 - Primera parte	0 h	Fri 3/23/18	Fri 3/23/18
89		**6.3**	**ETAPA 2 (Segunda Parte) - Chancado Secundario y Terciario**	**3 d**	**Wed 4/4/18**	**Fri 4/6/18**
90		6.3.1	Incio de trabajos : se requiere Tendido de Fibra Optica	0 h	Wed 4/4/18	Wed 4/4/18
91		**6.3.2**	**Sala Electrica**	**2 d**	**Wed 4/4/18**	**Fri 4/6/18**
92		6.3.2.1	Desmontaje de Gabinetes Bailey	10 h	Wed 4/4/18	Wed 4/4/18



Proyecto: PE-10120-CRO-0001
Fecha: Fri 5/25/18

Tarea	Resumen del proyecto	Tarea manual	solo el comienzo	Fecha límite
División	Tarea inactiva	solo duración	solo fin	Progreso
Hito	Hito inactivo	Informe de resumen manual	Tareas externas	Progreso manual
Resumen	Resumen inactivo	Resumen manual	Hito externo	

ID	Task Mode	WBS	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish
93		6.3.2.2	Montaje de Gabinetes Foxboro	12 h	Wed 4/4/18	Thu 4/5/18
94		6.3.2.3	Conexionado de señales de intrumentación y Mesh	18 h	Thu 4/5/18	Fri 4/6/18
95		**6.3.3**	**Sala de Control**	**1 d**	**Thu 4/5/18**	**Fri 4/6/18**
96		6.3.3.1	Instalación de Estación de operación y RGU	4 h	Thu 4/5/18	Thu 4/5/18
97		6.3.3.2	Cableado de red y RGU de Sala Electrica a Sala de Control	6 h	Thu 4/5/18	Thu 4/5/18
98		6.3.3.3	Comisionamiento y verificación de lógica	18 h	Thu 4/5/18	Fri 4/6/18
99		6.3.3.4	Revisión de Interlocks con áreas de comunicació Baylie	10 h	Thu 4/5/18	Fri 4/6/18
100		6.3.4	Acompañamiento durante arranque de planta	10 h	Fri 4/6/18	Fri 4/6/18
101		6.3.5	Etiquetado de Cables, inspección final	8 h	Fri 4/6/18	Fri 4/6/18
102		6.3.6	Fin de trabajos Etapa 2 - segunda parte	0 h	Fri 4/6/18	Fri 4/6/18
103		**7**	**CIERRE DE PROYECTO**	**14 d**	**Mon 4/9/18**	**Thu 4/26/18**
104		7.1	Planos As Built	13 d	Mon 4/9/18	Wed 4/25/18
105		7.2	Informe Final de Servicio	5 d	Mon 4/9/18	Fri 4/13/18
106		7.3	Firma Acta de Conformidad	1 d	Thu 4/26/18	Thu 4/26/18



Proyecto: PE-10120-CRO-0001
Fecha: Fri 5/25/18

Tarea	Resumen del proyecto	Tarea manual	solo el comienzo	Fecha límite			
División	Tarea inactiva	solo duración	solo fin	Progreso			
Hito	Hito inactivo	Informe de resumen manual	Tareas externas	Progreso manual			
Resumen	Resumen inactivo	Resumen manual	Hito externo				

ANEXO 2 : REGISTROS FOTOGRÁFICOS

Gráfico 1. Estación de Ingeniería Sistema de control ABB

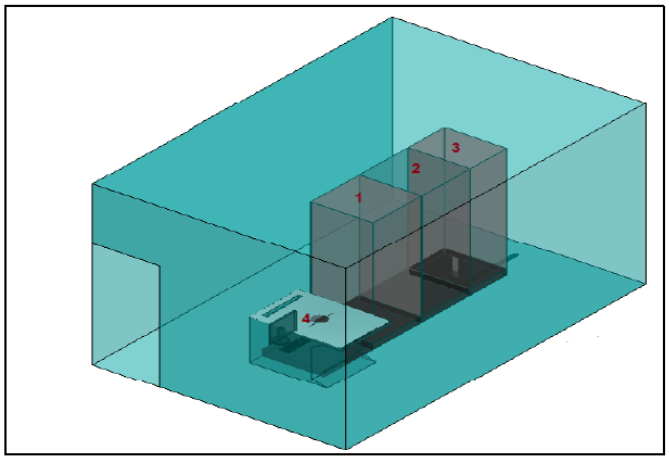


Figura 4. Diagrama de la sala de servidores

1. Gabinete de Control 800x800x2000, contiene el rack y las tarjetas de comunicación.
2. Gabinete de comunicaciones 800x800x2000, contiene estaciones de operación.
3. Gabinete de comunicaciones 800x800x2000, los patch panels, switches.
4. Escritorio y estación de ingeniería.

Gráfico 2. Esquema de ubicación de gabinetes en sala de servidores

Gráfico 3. Implementación de gabinete de servidores

Gráfico 4. Implementación y pruebas de gabinete de servidores

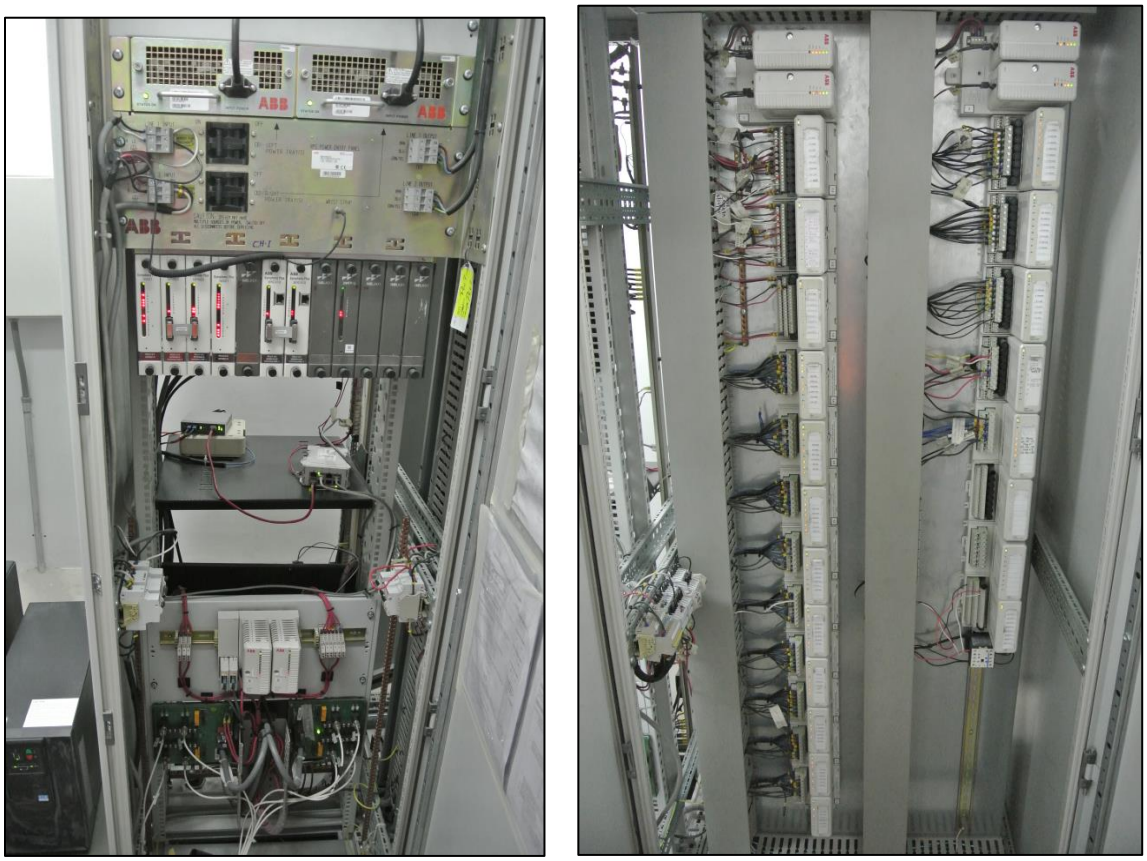


Gráfico 5. Gabinetes de control Área Chancado Primario

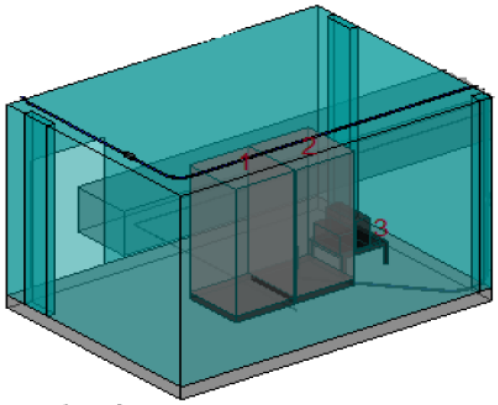


Figura 6. Diagrama de la sala electrica Chancado Primario

1. Gabinete de Control 800x800x2000, contiene modulos de entradas y salidas.
2. Gabinete de Control 800x800x2000, contiene el rack y las tarjetas de comunicación.
3. UPS.

Gráfico 6. Esquema de ubicación de gabinetes en sala de control Chancado Primario

Gráfico 7. Implementación de gabinete de comunicación y control Chancado Primario