

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA ARQUITECTURA DE
CONTROL DIGITAL PARA UNA PLANTA DE FUNDICION DE
COBRE**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRONICO

PRESENTADO POR

PAUL ISRAEL CARDENAS FERNANDEZ

**PROMOCION
2001-I**

LIMA-PERU

2008

Contenido

Prólogo	1
 CAPITULO I	 4
Introducción	4
 CAPITULO II	 6
La Gran Minería y Medio Ambiente.	6
2.1 Contexto en que se desarrolla la gran minería en el Perú.	6
2.1.1 Recursos y Reservas.	8
2.1.2 Producción del Cobre y el Medio Ambiente.	11
2.2 Instrumentos de Gestión Ambiental en la Minería.	13
2.2.1 Estándares Ambientales.	13
2.2.2 El Programa de Adecuación y Manejo Ambiental – PAMA.	15
2.2.3 La Evaluación Ambiental Previa.	16
2.2.4 Sanciones.	17
 CAPITULO III	 19
El Proceso de Fundición de Cobre.	19
3.1 Definición de cada etapa del proceso.	20
3.1.1 Geología.	20
3.1.2 Planificación.	21

III

3.1.3	Operaciones.	21
3.1.4	Mantenimiento.	21
3.1.5	Administración.	22
3.2	Fundición de Cobre.	22
3.2.1	Recepción y Muestreo.	22
3.2.2	Procesos de Fusión.	23
3.2.3	Conversión.	25
3.2.4	Pirometales.	26
3.2.5	Usos del Cobre.	27
3.3	Sistema de Manejo de Gases para el Convertidor Pierce Smith.	28
3.3.1	El Polvo del Convertidor.	30
3.3.2	Sistema de Evacuación de Gases.	31
3.3.3	Cámara de Enfriamiento por Atomización.	33
3.3.4	Control de la Presión de Tiro del Convertidor.	34
3.3.5	Transportador de Arrastre para el Manejo de Polvo.	34
CAPITULO IV		36
Arquitectura Digital de Planta.		37
4.1	Modelos de Automatización.	37
4.1.1	Beneficios de los Modelos de Automatización.	38
4.1.2	Requerimientos de los Modelos de Automatización.	38
4.2	Modelos Jerárquicos.	38
4.2.1	Características.	39
4.2.2	Modelos Automatización Piramidal.	40

4.2.3	PABADIS – Plant Automation Based Distributed System.	41
4.3	Modelos Heterárquicos.	42
4.4	Modelos Híbridos.	43
4.5	Arquitectura PlantWeb de Emerson Process Management	44
4.5.1	Características.	44
4.5.2	La Inteligencia Predictiva de PlantWeb.	46
CAPITULO V		48
Diseño de la Arquitectura DeltaV con Foundation Fieldbus		48
5.1	Instrumentación y Dispositivos de campo	48
5.1.1	Instrumentación Foundation Fieldbus	48
5.1.2	Instrumentación Hart, 4-20Ma	50
5.1.3	Dispositivos Devicenet	51
5.1.4	Dispositivos Profibus DP	53
5.1.5	Señales de entrada y salida discretas	53
5.2	Arquitectura Foundation Fieldbus	54
5.2.1	Nivel Físico	54
5.2.2	Topología	57
5.2.3	Comunicaciones	58
5.2.4	Nivel Usuario	60
5.3	Instrumentos Foundation Fieldbus	61
5.3.1	Transmisor de Temperatura 848T	61
5.3.2	Transmisor de Presión 3051	61
5.3.3	Transmisor de Flujo 3095	62

5.3.4	Válvula de Control DVC6000F	62
5.4	Arquitectura DeltaV	63
5.4.1	Sistema DeltaV	63
5.4.2	Controlador	64
5.4.3	System Power Supply	65
5.4.4	Tarjetas de entradas y salidas	66
5.5	Consumo de Energía del Sistema Alimentación DeltaV	67
5.5.1	Consideraciones	67
5.5.2	Cálculo del consumo de 12 Vdc	68
5.5.3	Cálculo del consumo de 24 Vdc	69
5.5.4	Cálculo del consumo de 120 Vac UPS	69
5.6	Licencias DeltaV	70
5.7	Módulos de Control DeltaV	71
5.7.1	Modulo de Control	71
5.7.2	TIC-290522	71
5.7.3	PSC-SONIC	73
5.7.4	PIC-290502LG	74
5.7.5	290DAM008	75
5.8	Estimación del FreTime para el controlador	77
5.8.1	FreTime	77
5.8.2	Calculo del FreTime	78
CAPITULO VI		80
Implementación de la Arquitectura PlantWeb		80

6.1	Arquitectura PlantWeb	80
6.2	Red de Control	82
6.2.1	Estación de Ingeniería	82
6.2.2	Estación de Operador	83
6.2.3	Estación de Históricos	83
6.2.4	Estación de Bailey	84
6.2.5	Estación de OPC	84
6.3	Seguridad del Sistema	85
6.3.1	Redundancia de Controlador	85
6.3.2	Redundancia de Estación	86
6.3.3	Redundancia de Comunicación	87
6.3.4	ColdRestart Time	88
6.4	Interfase de Operación	88
6.4.1	Pantallas	88
6.4.2	Alarm Management	90
6.5	Instrumentación Foundation Fieldbus	91
6.5.1	Diagnostico de Segmento	92
6.5.2	Comisionamiento	92
6.5.3	Configuración	93
6.6	Estación AMS Intelligent Device Manager	93
6.7	Estación Machinery Health	94
6.8	Estación AMS Asset Portal	95
	CAPITULO VII	97

VII

Propuesta Económica para la implementación	97
7.1 Lista de Equipos y Accesorios	97
7.2 Cronograma de la Implementación	98
7.3 Recursos Humanos	99
7.4 Costos Estimados	100
7.4.1 Costos del Proyecto	100
7.4.2 Evaluación de Costos	103
Conclusiones	109
Bibliografía	110
Apéndice	111

PROLOGO

El paradigma de utilizar instrumentación de campo convencional como parte de una arquitectura de automatización de procesos, está siendo reemplazado por la utilización de instrumentación inteligente de campo. El uso de esta tecnología, nos permite implementar una arquitectura digital de automatización de procesos.

El objetivo de este informe de suficiencia, es presentar una alternativa de modelo de automatización industrial, diseñando una arquitectura de control digital para una planta de procesos, teniendo en cuenta el contexto ambiental, técnico, económico y social.

Con fines de entender el informe, se tomará un proyecto desarrollado por el autor: la modernización de la planta de fundición de cobre más grande de nuestro país. El proyecto cuenta con aproximadamente 1500 instrumentos campo. Por tal motivo, con fines de explicar con detalle el diseño de la instrumentación de campo inteligente tomaré un proceso dentro de la fundición: el control de manejo de gases de un convertidor. Luego presentaré el diseño de la arquitectura de control digital de la planta de fundición de cobre.

La arquitectura de automatización sobre la cual se basa el diseño del presente informe es la tecnología implementada por la corporación Emerson Process Management, denominada Control Digital PlantWeb.

En el primer capítulo, se da una introducción sobre el contexto global en el desarrollo de arquitecturas de control digital en el Perú y en el mundo.

En el segundo capítulo, se hablará sobre la situación socio-económica de la minería en el Perú y se mencionará algunas normas medio ambientales que rigen en nuestro país, para la implementación de proyectos mineros. Explicaremos la diferencia de cuando implementar un PAMA y un EIA.

En el tercer capítulo, explicaremos de una manera genérica el proceso de fundición de cobre, las tecnologías empleadas para su fusión y el uso comercial de este producto. Para lograr el objetivo de este informe y entenderlo, es importante conocer el proceso, en este capítulo detallaremos el manejo de gases para la conversión de cobre de alta pureza llamado convertidor Pierce-Smith.

En el cuarto capítulo, mencionaremos los modelos de automatización para procesos industriales y sus respectivas características. Explicaremos a que denominamos Control Digital PlantWeb, sus componentes y sus ventajas competitivas.

En el quinto capítulo, empezaremos con el diseño de la arquitectura de control digital para el control de manejo de gases del convertidor. Como base principal de la plataforma, hablaremos de la instrumentación de campo inteligente Foundation

Fieldbus y del sistema control de procesos DeltaV. Estableceremos criterios y recomendaciones que se deberá tener en cuenta para un correcto diseño de la plataforma.

En el sexto capítulo, desarrollaremos la implementación de la arquitectura PlantWeb para una planta de fundición de cobre, tomando como base el diseño realizado en el capítulo anterior. Detallaremos cada componente de la arquitectura y la función que desempeña dentro del proceso de operación, mantenimiento y producción de la planta.

En el último capítulo, realizaremos un costeo para la implementación de una arquitectura PlantWeb. Consideraremos costo de equipos, tiempo estimado y los servicios asociados.

Mostraré una tabla comparativa de costos entre implementar un control de digital con instrumentación inteligente y un control tradicional con instrumentación de 4-20 mA. Asimismo, se realizará una evaluación del retorno de inversión sobre la diferencia económica de implementar ambas arquitecturas. Se desarrollará sobre la perspectiva en la disminución de los costos de mantenimiento de la planta.

Para finalizar, se dará las conclusiones del informe de suficiencia. En los anexos, adjuntaremos la arquitectura del diseño desarrollado, el cronograma y el organigrama para implementar un proyecto con arquitectura PlantWeb.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el mundo existe una gran demanda de proyectos, principalmente en los sectores de minería, gas y petróleo, donde uno de los beneficiados es el Perú. Como parte de los objetivos de un proyecto industrial, se encuentra el lograr el buen desempeño de la planta de procesos, desde toda perspectiva: ambiental, social y de producción. Una de las bases para lograr el éxito del proyecto es definir el modelo de automatización que mejor se ajuste a la visión de la empresa. Algunas de las empresas dedicadas al desarrollo de arquitecturas de automatización para procesos industriales son Emerson Process Management, Siemens, Yokogawa, Honeywell, ABB, Rockwell Automation, Foxboro, entre otros. Cada una presenta su propia arquitectura de control digital, basando sus características en un modelo de automatización.

En esta década, la instrumentación de campo cumple un papel importante en el desarrollo de modelo de automatización que optemos para la planta. La aparición de los instrumentos inteligentes de campo como Fieldbus o HART supera ampliamente a la instrumentación tradicional de 4-20 mA. Los beneficios obtenidos con un

instrumento inteligente de campo, va desde el mejoramiento del desempeño de producción, el mejor control operativo y la reducción de costos de mantenimiento de la planta.

Emerson Process Management con su arquitectura de control digital PlantWeb, aprovecha la inteligencia de los instrumentos de campo, para implementar una arquitectura de automatización de planta que satisface con los objetivos de cada capa del modelo de automatización basado en sistemas distribuidos.

En la actualidad en el mundo, más del 20 % de las plantas industriales se encuentran implementadas con la plataforma PlantWeb. En el Perú, tenemos en el sector de gas y petróleo a compañías como: Pluspetrol en las Plantas de Camisea y Pisco, Petrotech en la planta de Talara, y Petrobas en la planta de El Alto. En el sector minero tenemos: Barrick en la planta de Altochicama, Southern Perú en las plantas de Cuajone, Toquepala e Ilo, Yanacocha con la planta Gold Mill, Gold Field con la planta de La Cima. Entre los proyectos que se implementarán en los siguientes dos años con la tecnología de Emerson están: Peru LNG con su planta Melchorita y Doe Run Perú con la planta de La Oroya.

CAPÍTULO 2

GRAN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

2.1 CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA LA GRAN MINERÍA EN EL PERÚ

La minería peruana está orientada principalmente al mercado externo y es el sector económico que más contribuye en la balanza comercial, con alrededor de 45% de las exportaciones totales. Sin embargo, dado su reducido encadenamiento productivo e intensidad de mano de obra, representa apenas entre 4 a 5% del PBI nacional y entre 2 a 3% del empleo del país. Esta última cifra no incluye la subcontratación de mano de obra, a los mineros informales, ni mujeres ni niños. Este bajo grado de utilización de mano de obra, sumado a crecientes requerimientos de trabajadores altamente calificados, han creado problemas con la población local que espera obtener mayor empleo en la explotación minera y ve con desagrado la presencia de personas foráneas. Asimismo, no se han satisfecho adecuadamente las demandas de desarrollo local. Otro factor preocupante es el impacto ambiental de la minería, puesto que ya en los años 80 era señalada como la actividad económica más contaminante. Por ello, se han establecido programas de evaluación de pasivos ambientales y planes de adecuación ambiental para la gran minería.

Se estima en alrededor de US\$ 977,1 millones la inversión necesaria para mitigar la contaminación ambiental producida por las unidades mineras operativas. En cuanto a la mediana y pequeña minería, se estima que existe un saldo de pasivos ambientales de aproximadamente US\$ 181,4 millones, principalmente por contaminación en cuencas petrolíferas y lavaderos de oro. No obstante, la indefinición de derechos de propiedad reduce los incentivos para que las normas ambientales sean aplicadas y dificulta la fiscalización.

En un contexto de ampliación de la frontera minera, superposición de intereses entre minería y pequeña agricultura campesina, poca generación de empleo directo (eslabonamientos) y preocupación por los impactos ambientales de la minería, se vienen desarrollando y consolidando nuevas formas de organización de actores locales, tales como la Coordinadora Nacional de Comunidades Afectadas por la Minería (CONACAMI) y la Asociación de Municipalidades Mineras (AMIM). Al mismo tiempo, tanto en el sector público como el privado, se registra un conjunto de cambios institucionales y de gestión, que deben permitir en el futuro cercano alcanzar en el sector, nuevos modelos de cogestión de impactos sociales y ambientales.

El proyecto MMSD en Perú se realizó por tanto en una coyuntura muy favorable para el debate e intercambio de propuestas de políticas para el mejoramiento de los impactos del sector. Coordinado por el Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE), el proyecto contó con la participación de una serie de investigadores,

dirigentes comunales, representantes empresariales y funcionarios públicos, que hacen de este informe un producto colectivo.

2.1.1 Recursos y Reservas

Perú es un país con una inmensa riqueza geológica. A lo largo y ancho del territorio peruano se encuentra una gran variedad de depósitos metálicos, que en el caso del oro, plata y cobre han sido explotados desde la época pre-inca. En la Colonia, hubo un gran desarrollo en la exploración y explotación de oro, plata y mercurio y, en menor grado, de plomo, por su asociación con la plata. Posteriormente, en la República se empiezan a explorar yacimientos de metales básicos, por la creciente demanda de los países europeos y norteamericanos.

La exploración minera en Perú se ha concentrado en el estudio de yacimientos de los metales antes mencionados, pero también se han identificado depósitos de más de 40 sustancias metálicas y no metálicas. Existen yacimientos de antimonio, bismuto, cadmio, indio, manganeso, molibdeno, talio, telurio, tungsteno, entre los metálicos. Y de petróleo, carbón, baritina, caliza, yeso caolín, sílice, arcillas refractarias, ocre, talco, rocas ornamentales, entre los no metálicos. Sin embargo, la explotación de yacimientos no metálicos no se ha desarrollado lo suficiente, por el poco desarrollo industrial peruano, la baja relación precio-volumen, que aumenta sustancialmente los costos de transporte y hace poco atractiva la exportación, y, finalmente, la ausencia de una política pública de incentivo a este tipo de minería.

La presencia de empresas "junior" (pequeñas empresas dedicadas a la exploración) canadienses ha sido un factor muy importante en el resurgimiento de la actividad exploratoria en el país. Las grandes empresas mineras que iniciaron operaciones en los años 90 se centraron en la compra de operaciones existentes, principalmente de las empresas estatales privatizadas, pero no tuvieron una actividad exploratoria agresiva. Las empresas "junior" también participaron en el proceso de privatización al comprar prospectos identificados a la estatal MINERO PERU. Asimismo, compraron denuncios o establecieron alianzas estratégicas con grupos mineros nacionales que eran titulares de los denuncios para explorarlos.

En cuanto a los resultados de la actividad exploratoria, con la excepción del plomo, las reservas han aumentado para todos los metales considerados. Se destaca el oro, cuyas reservas se incrementan en más de 600% y que se ha convertido en el principal metal de exportación. Este aumento de las reservas de oro obedece al atractivo de los yacimientos de este metal, porque requieren bajos niveles de inversión, en comparación con los metales básicos, y su alto precio asegura un periodo de recuperación de la inversión mucho más corto.

La producción minera en todos los metales experimentó un crecimiento sostenido en los años 80, a pesar de que esa década fue particularmente adversa para la minería, debido a los desequilibrios macroeconómicos que afectaron su rentabilidad. La excepción fue 1988, año en que dichos desequilibrios aumentaron, lo que hizo necesario lanzar un severo programa de ajuste.

En el periodo 1980-1999, la producción de cobre, plomo, zinc, plata y molibdeno, tuvo un crecimiento moderado de 55%, 45%, 80%, 59% y 115%, respectivamente. Esto se debe principalmente a que en este periodo no se puso en operación nuevas minas, sino que la inversión realizada se destinó a la modernización y ampliación de las ya existentes. Por otro lado, la producción de oro y estaño se elevó sustancialmente, con crecimientos de 2.480% y 2.442% en cada uno. La promulgación de un código de minería que favorece la inversión privada tuvo como primer resultado la puesta en marcha de proyectos auríferos, el más importante de ellos la mina Yanacocha, que entró en funcionamiento en 1994 y que representa actualmente más de 40% de la producción total de oro.

En el caso del estaño, se aprovechó el colapso de la minería boliviana para incrementar su producción. Finalmente, el hierro es el único mineral cuya producción sufre una caída de -31% en el periodo considerado. Sin embargo, el crecimiento de la producción minera no ha sido uniforme en el tiempo. El cobre, el zinc y el plomo tuvieron aumentos relativamente estables durante todo el periodo, encontrándose que hay una caída de producción en 1998. La producción de molibdeno fluctuó bastante durante todo el periodo, debido principalmente a variaciones en su cotización. A principios de los 80, se previó un déficit en la producción de este metal, lo que contribuyó a elevar su precio en seis veces con respecto a 1970 (de US\$ 3,70 por kilo a US\$ 20,10). Hubo un aumento de la capacidad instalada en todo el mundo y los precios empezaron a descender paulatinamente hasta que, entre 1992 y 1994, la disolución de la

Unión Soviética y la reducción de la tasa de crecimiento, los hicieron caer drásticamente. En 1995 se previó nuevamente un déficit y los precios subieron casi tres veces (de US\$ 2,50 en 1994 a US\$ 8,30 en 1995). Por su parte, la producción de hierro tuvo una caída pronunciada desde principios de los 80, para recuperarse a principios de los 90, años en los que se inicia el proceso de privatización y que la estatal Hierro Perú es vendida a inversionistas chinos, para posteriormente caer nuevamente.

Las inversiones realizadas por la nueva empresa no han sido suficientes para enfrentar la caída de los precios de este mineral y la competencia de otros productores. Por otro lado, el crecimiento de la producción de oro y de estaño no ha presentado mayores fluctuaciones y se aceleró marcadamente a partir de los 90. En el caso del oro, la producción se aceleró visiblemente en 1993, con la entrada en operación de Yanacocha, la primera gran mina de oro en el país. Anteriormente, la producción de oro era realizada por empresas pequeñas y mineros artesanales, quienes llegaron a contribuir con 50% de la producción. En los últimos 10 años, la producción artesanal de oro también aumentó, aunque su participación se redujo a alrededor del 15%.

2.1.2 Producción del Cobre y el Medio Ambiente

Cerca del 90% del cobre peruano se obtiene mediante pirometalurgia. Desafortunadamente la obtención de cobre por pirometalurgia es un proceso altamente contaminante, produciendo emisiones de SO₂, material particulado y arsénico en las etapas de fusión y conversión. Estas emisiones salen al

ambiente tanto por la chimenea como por diferentes fugas a lo largo del proceso, estas últimas se conocen como emisiones fugitivas y pueden resultar, en algunos casos, mayores a las que se emiten por chimenea. El problema se agudiza al no encontrarse minerales oxidados que se explotan mediante procesos hidrometalúrgicos y el comienzo de la explotación de los minerales sulfurados que se realiza por procesos pirometalúrgicos que generan gases ricos en SO_2 y As.

La cantidad de As que entra al proceso de fusión no sólo está en relación con el concentrado, sino que también con la cantidad de concentrado procesado. Como la ley de cobre en el concentrado ha disminuido en forma sostenida, ha sido necesario, para cumplir el plan de expansión implantado durante la década de los 80, aumentar el tonelaje de concentrado fundido y por lo tanto ha aumentado paulatinamente, la cantidad de As enviado a fusión llegando al máximo al inicio de los 90.

En una fundición típica en el horno de fusión, para una alimentación de concentrado cualquiera, entre el 50 y 70% del As se reparte en la fase gaseosa, entre 30 y 10% en la escoria y entre 30 y 20% en el eje. En los hornos de conversión entre el 60 y 80% del arsénico presente en el eje se reparte hacia la fase gaseosa, entre el 20 y 5% en la escoria y entre 20 y 15% en el blister.

2.2 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA MINERÍA

2.2.1 Estándares Ambientales

La actualmente vigente Ley General de Aguas dictada a través de Decreto Ley No. 17752 en Julio de 1969, establece en su articulado la prohibición de verter o emitir cualquier residuo, sólido líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros fines. Dispone que la descarga pueda efectuarse sólo si el residuo es sometido a un tratamiento previo, si el receptor permite los procesos naturales de purificación y finalmente si su lanzamiento submarino evita que se cause un perjuicio a otro uso.

Dispone asimismo la referida ley, la facultad discrecional de la Autoridad Sanitaria para establecer los límites de concentración permisibles de sustancias nocivas, que pueden contener las aguas, según al uso a que se destinen y para su revisión periódica. En el ejercicio de esta facultad, la Autoridad Sanitaria clasificó los cursos de agua en 5 categorías, de acuerdo a los fines para los que estaban destinados, tales como agua potable, regadío de plantas de tallo alto, fines industriales, etc. A partir de dicha clasificación se fijaron los límites de concentración permisibles de sustancias nocivas.

No obstante haber transcurrido 25 años de vigencia de la referida norma, los límites de concentración permisibles ahí fijados no han podido ser cumplidos, por lo estricto de los mismos, lo que es resultado de una transcripción de

estándares internacionales que responden a otras realidades. Además de los estándares contenidos en la Ley General de Aguas, en 1987 se dictó un Decreto Supremo estableciendo los niveles máximos de contaminación radioactiva contenidos en alimentos importados y de otro lado existe una ordenanza municipal, vigente para la ciudad de Lima, que establece los límites máximos de ruido, la misma que responde a la facultad discrecional de la autoridad municipal y que hasta la fecha no ha podido ser cumplida por la carencia de equipos para hacer las mediciones.

En un intento de reglamentar parte de las disposiciones contenidas en el Código del Medio Ambiente, antes de las modificaciones introducidas por las leyes de fomento a las inversiones, el Gobierno creó una Comisión de Reglamento, de la que formaron parte representantes de las dependencias ambientales del Sector Público Nacional, representantes de los gremios que agrupan al sector empresarial, y representantes de organizaciones no gubernamentales ambientalistas, entre otros. Esta Comisión, elaboró, luego de un trabajo con amplia participación, un Proyecto de Reglamento que tenía por objeto establecer las obligaciones que debían cumplir los titulares de actividades productivas, diferenciando a aquellos que a la fecha de promulgación del Código ya venían desarrollando la actividad con aquellos que estaban iniciándola. Para los primeros se estableció la obligación de elaborar Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA's) y para los segundos la obligación de someter su actividad a un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

El Proyecto fue publicado en la Gaceta Oficial buscando generar un debate público. Sin embargo, transcurrido el plazo para la promulgación de la norma, no existió la voluntad política para hacerlo y el Proyecto fue encarpetado.

No obstante ello, en el año 1992 a partir del financiamiento otorgado por el Banco Mundial al Sector Energía y Minas para la elaboración de los estudios destinados a la privatización de las empresas mineras del Sector Público y para el fortalecimiento de la Dirección General de Asuntos Ambientales de dicho Ministerio, se retomó el proyecto de Reglamento. Este Ministerio convocó a representantes del sector privado, para la elaboración de tres reglamentos de protección ambiental, tanto en actividades mineras, actividades hidrocarburíferas y generación de energía eléctrica.

Como resultado del trabajo de estas tres Comisiones, se dictó el Mayo de 1993, el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Minero-Metalúrgicas (Decreto Supremo No. 016-93-EM), en Noviembre del mismo año el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos (Decreto Supremo No. 046-93-EM) y finalmente en Junio de 1994, el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades de Generación de Energía Eléctrica.

2.2.2 El Programa de Adecuación y Manejo Ambiental – PAMA

Según el Reglamento General de Minería sobre el medio ambiente (1993) se establece:

Capítulo II

De la Adecuación y Manejo Ambiental de la Industria Minera – Metalúrgica

Artículo 9º

Los PAMA tendrán como objetivo que los titulares de la actividad minera logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los niveles máximos permisibles. El PAMA señalará los procedimientos de ejecución, de inversiones, de monitoreo y control de efluentes y, de ocupar áreas protegidas, las labores de restauración de las zonas de trabajo. Los plazos de ejecución serán fijados por la autoridad competente y en ningún caso excederán de cinco (5) y diez (10), respectivamente para actividades que no incluyen procesos de sinterización y/o fundición y para aquellas que si los incluyan. Las inversiones anuales aprobadas por la autoridad competente para los programas de cada unidad de producción a ejecutarse, en ningún caso serán inferiores al uno por ciento del valor de las ventas anuales.

2.2.3 La Evaluación Ambiental Previa

Según el Reglamento General de Minería sobre el medio ambiente (1993) se establece:

Capítulo III

De La Protección del Ambiente

Artículo 8

Todo proyecto de obra o actividad, sea de carácter público o privado, que pueda provocar daños no tolerables al ambiente, requiere de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) sujeto a la aprobación de la autoridad competente.

Artículo 9

Los estudios de impacto ambiental contendrán una descripción de la actividad propuesta, y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica de los mismos. Deberán indicar igualmente, las medidas necesarias para evitar o reducir el daño a niveles tolerables, e incluirá un breve resumen del estudio para efectos de su publicidad. La autoridad competente señalará los demás requisitos que deban contener los EIA.

De Los Estudios De Impacto Ambiental

Artículo 22°

La Dirección General de Asuntos Ambientales, a través de la dirección General de Minería, en casos de proyectos que representen un efecto significativo en el medio ambiente, podrá solicitar la ampliación del EIA en aquellos aspectos que figuran como parte 2 del anexo 2 del presente reglamento.

Artículo 23°

El EIA deberá presentarse al Ministerio de Energía y Minas en dos ejemplares. El MEM luego de recibido el EIA y/o ampliación solicitada procederá a su revisión, la que deberá efectuarse dentro de un plazo máximo de 45 días. Transcurrido ese plazo Y sin haberse emitido ninguna comunicación. El EIA quedara aprobado automáticamente.

2.2.4 Sanciones

Según el Reglamento General de Minería sobre el medio ambiente (1993) se establece:

Capítulo IV

De Las Sanciones

Artículo 48°

Los titulares que incumplan sin causa justificada el PAMA, sin perjuicio de acciones judiciales a que tuviera lugar, la Dirección General de Minería para la aplicación de la sanción correspondiente, se sujetara a lo siguiente:

- Detectada la infracción se notificara al titular para que en un plazo de 90 días cumpla con las disposiciones contenidas en el programa, bajo apercibimiento de cierre de operación.
- Si vencido el plazo anterior subsistiera el incumplimiento, la DGM ordenara el cierre de operaciones por 30 días calendario mas una multa de 10 unidades impositivas tributarias
- En caso de verificarse por segunda vez el incumplimiento, el cierre de operaciones se efectuara por un periodo adicional de 60 días calendario y la multa se incrementara al doble del inciso anterior.
- Si el infractor incumple el programa por tercera vez el cierre será por un periodo adicional de 90 días calendario y la multa será el triple de la primera.
- De persistir el incumplimiento, la autoridad competente dispondrá el cierre de la operación por periodos adicionales de 90 días, y el pago de la última multa impuesta .Para casos graves se procederá al cierre.

CAPÍTULO 3

EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE COBRE

El cobre es sin duda, el mineral que proporciona el mayor aporte económico al país, entregándole recursos económicos a la población y más empleo, eso si, son varios los puntos de discordancia, como el impacto ambiental que genera este recurso, en todo su proceso de transformación, desde que es extraído de las mineras, su refinación y su posterior elaboración de productos; la polución que genera, atrae graves problemas de salud para las personas, en especial de aquellos que trabajan en las mismas mineras, se han hecho estudios a cerca de la contaminación que genera las industrias del cobre en los suelos y que son esencialmente de cultivos, en este ámbito se permite una cantidad muy baja de cobre en los suelos, pero que en algunos sectores se ha detectado que sobrepasan los límites permitidos; que es aproximadamente 100mg/kg (que esto se considera límite crítico).

El proceso del cobre en si, es muy parecido a otras formas de extracción y transformación; como el acero, pero su utilidad es completamente diferente, gracias al cobre los artesanos a que se dedican a este trabajo pueden lograr llevar una vida que le permita sobrevivir en este mundo globalizado.

3.1 DEFINICIÓN DE CADA ETAPA DEL PROCESO

Este proceso consiste en varias fases; pero antes hay que señalar cual es el objetivo, porque todo empieza desde el macizo rocoso a la roca mineralizada. El objetivo de este proceso es extraer la porción mineralizada con cobre y otros elementos desde el macizo rocoso de la mina (que puede ser a tajo abierto, subterránea o la combinación de ambas) y enviarla a la planta, en forma eficiente y segura, para ser sometida al proceso de obtención del cobre y otros elementos.

Para ello, debe lograrse la fragmentación de la roca, de manera que pueda ser removida de su posición original o in situ, cargar y transportar para ser procesada o depositada fuera de la mina como material suelto a una granulometría manejable.

Aquí es la forma que tiene los túneles subterráneos, lo mas espaciosos posibles para desarrollar de manera eficaz, los procesos de transporte y producción. Luego viene el proceso de extracción, en donde comprende diversas etapas y también distintos equipos de trabajo para las diferentes áreas que a continuación se señala.

3.1.1 Geología

En esta primera fase, se hace un estudio a cerca del sector donde va a ser explotado, que cantidad de mineral posee y entrega la información de las características físicas, químicas y mineralógicas del material a extraer.

3.1.2 Planificación

En esta etapa elabora el plan minero, considerando todas las variables (geología, operación y mantenimiento, costos, plazos, etc.) que intervienen en él.

3.1.3 Operaciones

Aquí es el punto del proceso principal, en esta parte hay cuatro subcategorías; desde la perforación hasta el transporte del material (Figura 3.1).

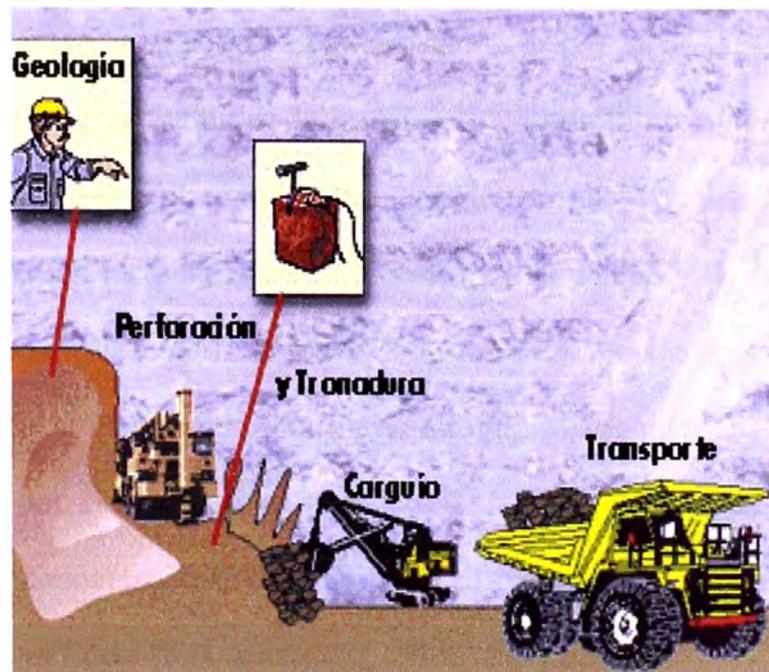


Figura 3.1. Etapas en la Operación de Extracción de Cobre

3.1.4 Mantenimiento

Debe velar por la disponibilidad electromecánica de todos los equipos (perforadoras, palas, camiones, equipos auxiliares). Principalmente para que no haya atrasos en los tiempos organizados para la extracción, y para que todo funcione adecuadamente y no surjan problemas.

3.1.5 Administración

Proporciona el apoyo en manejo de recursos humanos, adquisiciones, contratos, etc. También se asegura que participen estamentos asesores en materias de seguridad, medio ambiente y calidad, para lograr el cumplimiento de las normas y orientaciones correspondientes a un trabajo seguro, limpio y de calidad.

3.2 FUNDICIÓN DEL COBRE

El concentrado de cobre seco con una concentración del 31 % de cobre, se somete a procesos de pirometalurgia (rama de la metalurgia en que la obtención y refinación de los metales procede utilizando calor, como en el caso de la fundición. Prácticamente todos los metales como el hierro, níquel, estaño y la mayor parte del cobre, oro y plata son obtenidos desde el mineral o su concentrado por métodos pirometalúrgicos. Es el más importante y más antiguo de los métodos extractivos de metales, utilizado por el hombre) en hornos a grandes temperaturas, mediante los cuales el cobre del concentrado es transformado en cobre metálico y se separa de los otros minerales como fierro (Fe), azufre (S), sílice (Si) y otros.

El proceso de fundición del cobre, se explica mediante cuatro fases:

3.2.1 Recepción y Muestreo

En esta primera fase el objetivo que tiene es que como normalmente se trabaja con concentrados de diferentes procedencias, es necesario hacer un muestreo de ellos y clasificarlos de acuerdo con la concentración de cobre, hierro, azufre,

sílice y porcentaje de humedad que tengan. Y el proceso consiste en que el concentrado proveniente de la planta se almacena en canchas, desde donde se obtienen muestras que son sometidas a análisis de laboratorio para determinar los contenidos de cobre, hierro, azufre, sílice y la humedad, información que es fundamental para iniciar el proceso de fusión.

El contenido máximo de humedad es de 8%, ya que con valores superiores, el concentrado se comporta como barro difícil de manipular y exige más energía para la fusión. De acuerdo con los resultados de los contenidos de cobre, el material se clasifica y almacena en silos, desde donde se despacha a los hornos de fundición de acuerdo a las mezclas que se determinen.

3.2.2 Proceso de Fusión

En esta segunda parte el objetivo que tiene es lograr el cambio de estado que permite que el concentrado pase de estado sólido a estado líquido para que el cobre se separe de los otros elementos que componen el concentrado. ~~Y como ocurre esto,~~ en la fusión el concentrado de cobre es sometido a altas temperaturas (1.200 °C) para lograr el cambio de estado de sólido a líquido. Al pasar al estado líquido, los elementos que componen los minerales presentes en el concentrado se separan según su peso, quedando los más livianos en la parte superior del fundido, mientras que el cobre, que es más pesado se concentra en la parte baja. De esta forma es posible separar ambas partes vaciándolas por vías distintas.

Tradicionalmente la fusión puede realizarse de dos maneras, utilizando dos tipos de hornos: el horno de reverbero para la fusión tradicional y el convertidor modificado Teniente (CMT) que realiza en una sola operación la fusión y la conversión (Figura 3.2).

Las reacciones que se producen producto de la oxidación de los distintos elementos, y entre ellos, libera energía la que es aprovechada para ayudar a la fusión. En el convertidor Teniente los elementos se concentran en fases, de acuerdo a su peso:

- **Metal blanco:** corresponde a la parte más pesada del material fundido y que se encuentra en la parte baja del convertidor. Contiene un 70% a 75% de cobre.
- **Escoria:** es la parte más liviana del fundido, la cual se envía de vuelta al horno de reverbero o a hornos destinados a limpieza de escoria para recuperar el contenido de cobre que aún le queda.



Figura 3.2. Convertidor Modificado Teniente-CMT

3.2.3 Conversión

En esta etapa el objetivo principalmente es que mediante el proceso de conversión se tratan los productos obtenidos en la fusión, para obtener cobre de alta pureza. Para esto se utilizan hornos convertidores convencionales llamados Pierce-Smith, en honor a sus creadores. El convertidor Pierce-Smith consiste en un reactor cilíndrico de 4,5 m de diámetro por 11 m de largo, aproximadamente, donde se procesan separadamente el eje proveniente del horno de reverbero y el metal blanco proveniente del convertidor Teniente. Es un proceso cerrado, es decir, una misma carga es tratada y llevada hasta el final, sin recarga de material. Finalmente se obtiene cobre blister (cobre producido a partir de la fusión de la mata o eje en los hornos convertidores con una pureza de 99,5%. Este cobre es llevado a los hornos de refinado y de moldeo

desde donde se obtiene el cobre anódico que va a la electrorefinación. Su nombre proviene del aspecto que tienen los productos moldeados en su superficie (blister = ampolla)). Con una pureza de 96% de cobre.

3.2.4 Pirorefinación

En esta última fase, el objetivo es que mediante la pirorefinación o refinación a fuego se incrementa la pureza del cobre blister obtenido de la conversión. Consiste en eliminar el porcentaje de oxígeno presente en este tipo de cobre, llegando a concentraciones de 99,7 % de cobre. Este es un proceso especial que se aplica en algunas fundiciones, donde el cobre blister es sometido a un proceso final de refinación en un horno basculante, mediante la introducción de troncos de eucaliptus. En este caso, la ignición (acción o efecto de estar un cuerpo encendido por efecto del calor) de la madera permite captar el oxígeno que contiene el cobre blister como impureza y lo transforma en anhídrido carbónico (CO_2), que es liberado a la atmósfera. De esta manera, la pureza del cobre se incrementa a 99,7% y el producto se denomina cobre RAF (refinado a fuego).

Y el producto final es que El cobre RAF es moldeado en placas gruesas, de forma de ánodos, de un peso aproximado de 225 kg, el cual es enviado al proceso de electrorrefinación (para lograr una pureza máxima del cobre) o vendido directamente en diversas formas.

3.2.5 Usos del cobre

Los usos y características que se le puede dar al cobre son muy amplios y diversos entre ellos se destacan:

- Es un muy buen conductor eléctrico.
- Es un muy buen conductor térmico.
- Tiene excelentes cualidades para el proceso de maquinado.
- Tiene una alta capacidad de aleación metálica.
- Tiene una buena capacidad de deformarse en caliente y en frío.
- Mantiene sus propiedades en el recicló.
- Permite recuperar metales de sus aleaciones.
- Es un elemento básico para la vida humana.
- Evita la proliferación de ciertas bacterias.
- Puede usarse en artículos de decoración y piezas de arte.

El principal uso que actualmente tiene el cobre, siendo uno de los metales conductores de electricidad con el menor índice de resistencia, más del 50% del cobre se utiliza en el sector eléctrico. Es muy usado en la fabricación de cables, enchufes y terminales, así como en los componentes de casi todos los artículos alimentados por electricidad. El resto se destina a la construcción, a la arquitectura y al arte. Permanentemente, se trabaja en la identificación de nuevas aplicaciones del cobre en diferentes sectores. Un ejemplo está en las tecnologías de información donde los chips de cobre han demostrado favorecer una más rápida transmisión de datos en la web. También hay inventores que

han creado pequeños resortes de cobre que se introducen en la nariz durante 20 minutos, tres o cuatro veces al día, para evitar el resfrío común.

Finalmente para entender estas etapas del proceso que ocurre en el cobre, se hará un esquema de las diferentes etapas de este (Figura 3.3).

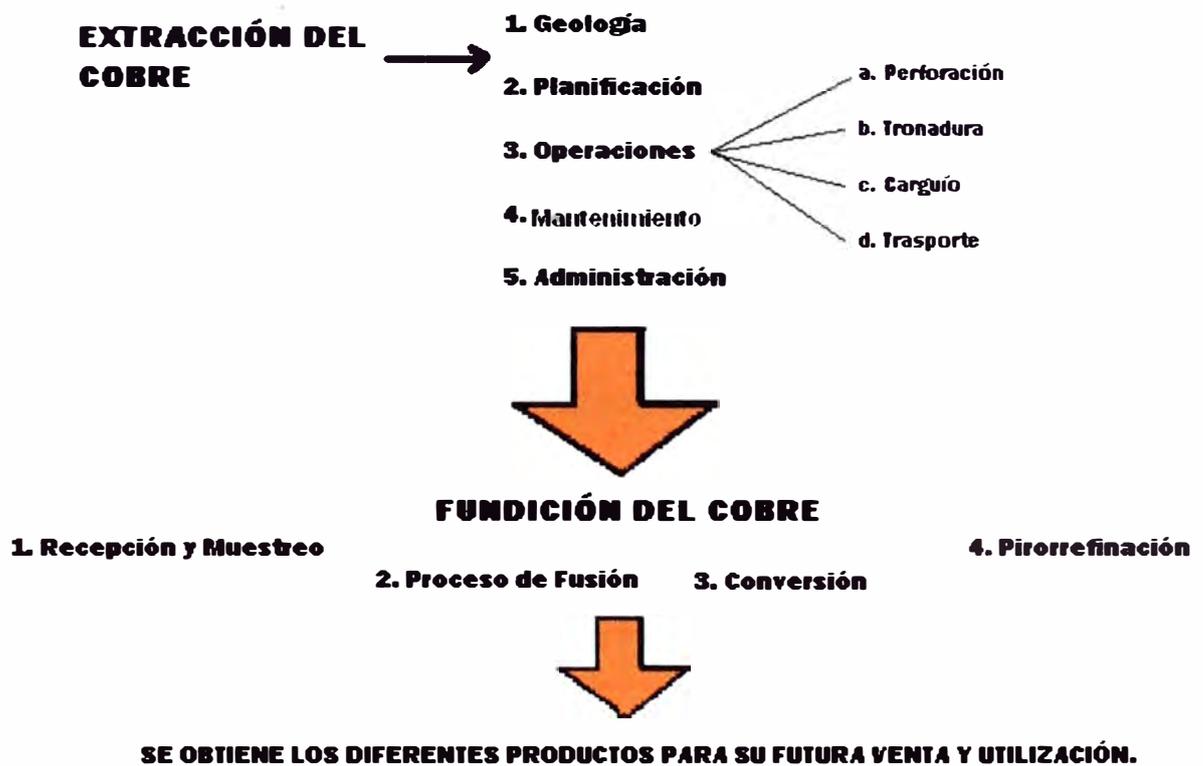


Figura 3.3. Etapas del Proceso Productivo del Cobre

3.3 SISTEMA DE MANEJO DE GASES PARA EL CONVERTIDOR PIERCE SMITH

El proceso de conversión en el Convertidor se realiza en dos fases secuenciales las cuales son:

- a. La oxidación de la mata hasta eliminar el fierro como óxido ferroso (FeO) o soplado a escoria.

- b. La oxidación del metal blanco (Cu_2S) hasta la formación del cobre blister o ampolloso, o soplado a cobre.

La mata, la sílica y el recirculante son cargados al convertidor a través de la boca ubicada en el centro de la carcaza.

La mata y el FRIO (recirculante) contenidos en ollas son vaciados por la boca del convertidor. La sílica se carga a través de un chute ubicado a un costado de la campana extractora de gases y el flujo de sílica cae directo a la boca del convertidor.

El aire de proceso es introducido al baño del convertidor a través de una línea de toberas a lo largo de la coraza.

El calor generado durante el soplado del convertidor, debido a la oxidación del fierro y el azufre, es suficiente para hacer el proceso autógeno, es decir que no requiere de combustible adicional para mantener fundida la carga. En la figura 5.1 se muestra las partes principales de un convertidor.

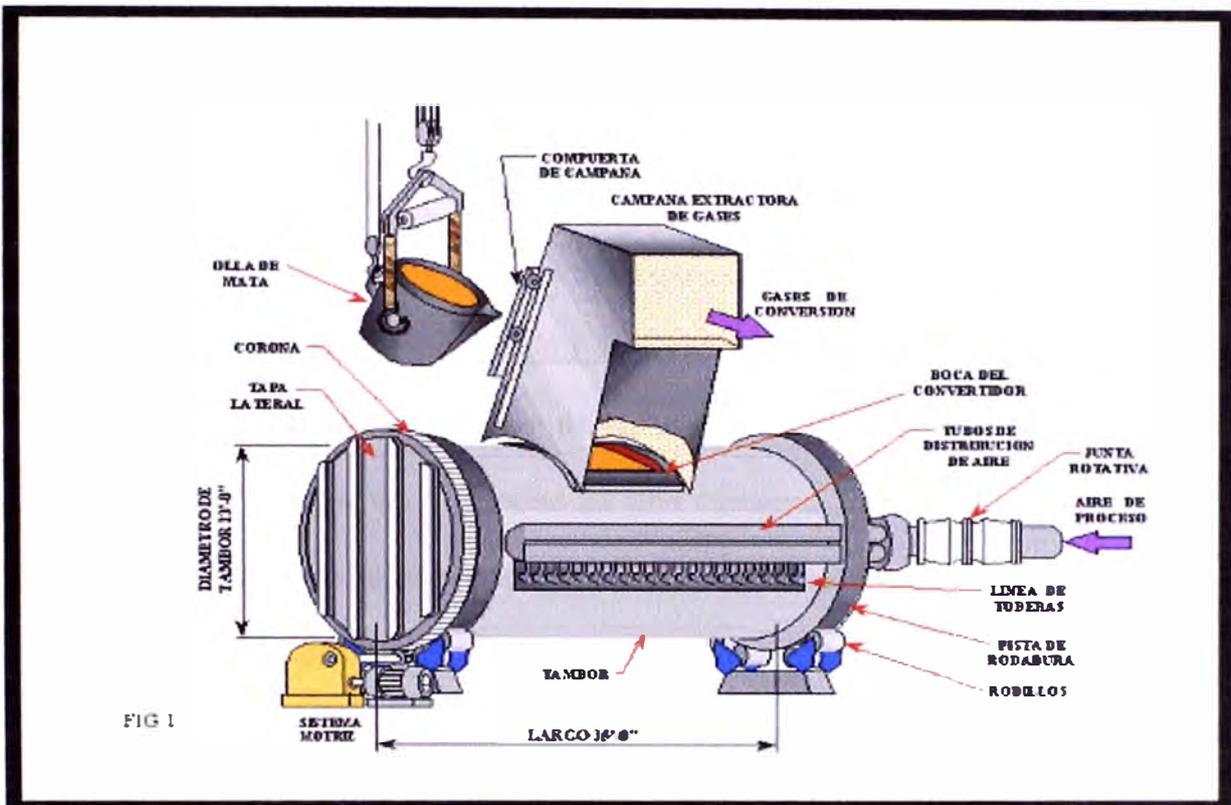


Figura 3.4. Convertidor Pierce Smith

3.3.1 El Polvo del Convertidor

Los polvos son materiales de recirculación y se producen durante el soplado de la carga fundida. Los gases y las partículas sólidas finas son arrastrados por el tiro de la campana extractora de gases.

Los polvos de mayor peso se precipitan en el ducto, otra parte menos pesada y fina es arrastrada a los cottleles, es así como se forman dos tipos de polvo. Los gruesos o polvo de los ductos, tienen un contenido aproximado de 40% - 50 % Cu. Los finos o polvo de cottleles, tienen un contenido de 20% - 25% Cu.

Los polvos de convertidores se utilizan en:

- a. La operación del soplado de cobre (polvo grueso) con el fin de regular la temperatura.
- b. En la preparación de camas de fusión (polvo fino).

3.3.2 Sistema de Evacuación de Gases

a. Campana extractora de gases o chimenea del convertidor

El convertidor dispone de una campana extractora de gases ubicada encima del convertidor, sobre la boca cuando éste está en posición de soplado. Esta campana extractora, llamada comúnmente como chimenea, recibe los gases producto de la conversión y son conducidos a través de ductos a los precipitadores electrostáticos.

Cada campana extractora de gases tiene en su parte posterior una chaqueta, dentro de la cual circula agua de refrigeración común para todas las chaquetas de la fundición. En la figura 5.2 se muestra el convertidor durante la etapa de soplado emitiendo gases a través de la campana.



Figura 3.5. Etapa de soplado de gases para el Convertidor Pierce Smith

b. Cotelles del Convertidor

Los gases y polvos provenientes de los convertidores son succionados por el tiro de las chimeneas principales del convertidor, pasando a través de los precipitadores electrostáticos conocidos también como cotelles donde más del 90 % de sólidos son recuperados, los mismos que se reciclan a las camas de fusión.

c. Chimenea principal del Convertidor

Los gases que abandonan los cotelles continúan por el sistema de ductos hasta las chimeneas principales, las mismas que cumplen la función de evacuar los gases producidos en los procesos de conversión.

Los gases son el producto volátil del soplado. Contienen básicamente anhídrido sulfuroso (SO_2) y también nitrógeno (N_2) y vapor de agua

(H₂O). La concentración de anhídrido sulfuroso en los gases es menor en el soplado de mata que en el soplado de metal blanco.

Las chimeneas están construidas de concreto reforzado e interiormente están recubiertas con ladrillos refractarios ácidos.

El convertidor cuenta con una chimenea de 365 pies de altura; de 29,8 pies de diámetro interno de la base y de 17 pies de diámetro interno superior.

3.3.3 Cámara de Enfriamiento por Atomización.

Este sistema enfría los gases fugitivos generados por el convertidor, usando equipos suministrados por la empresa Turbosonic. Los algoritmos de control relacionados con el sistema de enfriamiento son configurados en el controlador 290-DCS-001. Para reducir la temperatura de los gases fugitivos proveniente del convertidor Pierce Smith se utiliza agua atomizada. La medición de la temperatura de los gases fugitivos se realiza con los transmisores TIT-290522A y TIT-290522B, localizados a la salida de la cámara de enfriamiento, además, se utiliza esta variable para realizar el control del flujo de agua que será atomizada.

La atomización del agua se realiza mediante la inyección de aire de proceso. La presión del aire será ajustado de acuerdo a una función que relaciona la presión del agua y la presión de aire, con el fin de lograr un control óptimo de la temperatura de los gases a la salida de la cámara. Antes de la cámara de enfriamiento, el sistema tomara medición de la temperatura de los gases a la

salida del convertidor con los transmisores TIT-290525 y TIT290-526 (Figura 3.6).

3.3.4 Control de la Presión de Tiro del Convertidor

La presión de tiro del convertidor es controlada por el modulo PIC-290522, el cual consiste en la medición de presión de tiro, a través de los transmisores PIT-290502A/ PIT-290502B, y un damper de tipo mariposa, PV-290502.

Los transmisores de presión PIT-290502A y PIT-290502B son usados en la configuración como redundantes, donde el transmisor PIT-290502A trabaja como transmisor primario. Si el transmisor de presión PIT-290502A falla, el transmisor de presión PIT-290502B se encargara de enviar la medición de la presión de tiro a la salida de la cámara (Figura 3.6).

El control de la presión de tiro solamente será activado cuando el damper 290-DAM-008 se encuentre en su posición de apertura (limit switch ZSH-290504 esta activado). En caso contrario, el control de la presión de tiro mandara al damper PV-290502 a la posición de mínima apertura. En caso que ambos instrumentos fallen (alarma por fuera de rango o mala calidad en la señal), el controlador enviara una alarma a la estación de operación (Figura 3.6).

3.3.5 Transportador de Arrastre para el Manejo de Polvo

El transportador es utilizado para captar y arrastrar los polvos de los gases de fugitivos, precipitados durante la etapa de evaporación en la cámara de

enfriamiento. Como parte de este sistema se considera una válvula de aislamiento, 321-VAL-004, localizado a la salida del transportador.

El transportador de arrastre solo puede operar cuando la válvula de aislamiento se encuentre en posición de apertura. Además, se considera un switch de velocidad cero para detectar si existe ruptura en la faja. En caso se activara el switch cuando el transportador esta en operación, el sistema mandara detener al transportador, visualizando una alarma en la estación de operación.

En modo automático, el transportador y la válvula deberán trabajar en conjunto. Cuando el convertidor se encuentre en la posición de carga (ZS-290650B4 esta activado) la válvula de aislamiento deberá abrirse, y empezara a operar el transportador de arrastre. Esta acción permitirá arrastrar los polvos precipitados durante la operación de evaporación en la cámara de enfriamiento. Cuando el convertidor retorna a su posición de soplado (ZS-290650C4), el sistema enviara a detener el transportador y a cerrar la válvula de aislamiento (Figura 3.6).

Off Gases System

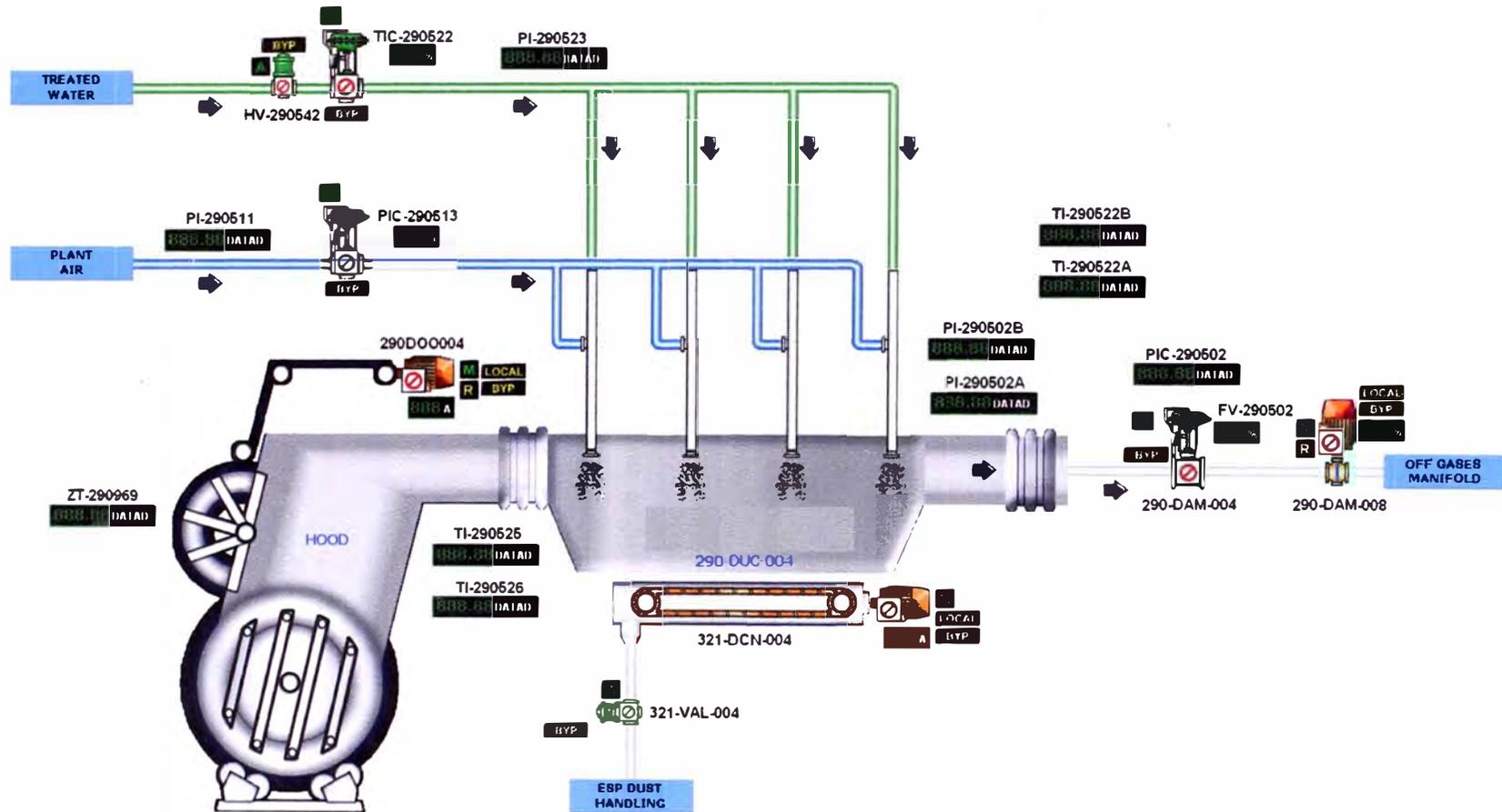


Figura 3.6. Sistema para el manejo de gases del Convertidor Pierce Smith

CAPÍTULO 4

ARQUITECTURA DIGITAL DE PLANTA

4.1 MODELOS DE AUTOMATIZACIÓN

Un modelo de automatización consiste en una manera genérica de organizar e integrar componentes de sistemas; sirve como punto de partida para el diseño de un gran número de sistemas en un área de aplicación, especifica la estructura general del sistema y muestra cuales tareas han de ser ejecutadas, además de permitir al diseñador el uso del modelo para especificar una arquitectura que establezca los aspectos más importantes que deben considerarse durante el proceso de modelado e integración empresarial, como la terminología empleada, estructura del sistema y actividades de cada uno de sus componentes.

Debido al crecimiento y complejidad de los procesos productivos, la mayoría de los sistemas automatizados han sido modelados en estructuras jerárquicas estáticas con tareas separadas y funciones especializadas. Son múltiples las arquitecturas definidas con el fin de modelar una industria automatizada, con el fin de determinar y facilitar la integración de las actividades desarrolladas. En el caso de los procesos productivos

se encuentran principalmente los modelos de automatización jerárquicos y heterárquicos.

4.1.1 Beneficios de los Modelos de Automatización

- Presentan una visión completa del proceso de automatización.
- Permiten determinar el mejor método para realizar la automatización.
- Considerar la asignación errónea de recursos o fallas en el proceso.
- La creación de diferentes arquitecturas a partir de modelos referenciales basados en las principales ventajas de las mismas.

4.1.2 Requerimientos de los Modelos de Automatización

- El modelo de automatización debe permitir la descripción de todos los aspectos del ciclo de vida del sistema, abarcando todos los conceptos involucrados en el proceso.
- Debe incorporar diferentes puntos de vista para describir por completo el proceso productivo, tales como información y control, equipos, mano de obra, organización gerencial así como las relaciones con otros procesos.
- Debe ser independiente de la tecnología existente.
- Debe estar abierta a la estandarización.

4.2 MODELOS JERÁRQUICOS

Los sistemas jerárquicos típicamente tienen una estructura rígida que les impide reaccionar de una manera ágil ante variaciones. Dentro del contexto de

automatización la palabra jerarquía o sistema jerárquico debe ser interpretada como un sistema de subsistemas flojamente interrelacionados, cada uno de los últimos siendo a su vez jerárquicos hasta llegar a algún nivel más bajo de subsistemas elementales. En arquitecturas jerárquicas, los diferentes niveles no pueden tomar la iniciativa, de esta manera el sistema es vulnerable ante perturbaciones y su autonomía y reactividad ante disturbios son débiles. La arquitectura resultante es muy rígida y por tanto costosa de desarrollar y difícil de mantener.

La modificación de las estructuras automatizadas para agregar, quitar o cambiar recursos es difícil, ya que requiere actualización de todos los niveles para reconocer el estado de todo el sistema. Además, los fallos ocurridos en niveles inferiores se propagan hacia los superiores invalidando en algunos casos la planificación y afectando el funcionamiento de las demás tareas inherentes a la automatización.

4.2.1 Características

- Siguen la estructura humana gerencial de la planta.
 - Promueven el principio de autonomía (la responsabilidad puede ser delegada hacia los niveles inferiores de la jerarquía)
- Promueven el principio de localidad (las unidades de la planta son usualmente distribuidas pero también usualmente comprimidas donde el control distribuido puede ser aplicado)
- Permiten la distribución de las tareas de la planta a sistemas multicomputacionales debido a la disposición en capas de las funciones de control dentro de la jerarquía.

- Existe flexibilidad en la introducción de nuevas tecnologías.
 - Las funciones más altas de la jerarquía tienden a enfocarse en planificación mientras que los niveles bajos se centran en la ejecución. Necesidad de limitar la complejidad de entidades individuales para facilitar la comprensión humana y la manejabilidad computacional.
- Robustez, predictibilidad y eficiencia.

4.2.2 Modelos de Automatización Piramidal

Consta de cinco niveles que abarcan las diferentes funciones de una planta coordinada de manera jerárquica, cubriendo desde los aspectos de control de los procesos físicos en su nivel más bajo, hasta los niveles donde se realizan las funciones corporativas de la planta. Cada nivel se caracteriza por un tipo de información y de procesamiento diferente, siendo necesaria la integración del proceso automatizado para incluir la comunicación interna en cada nivel, y entre niveles, con el fin de lograr sistemas que permitan ejecutar las diferentes tareas de control existentes en una empresa. Este es el modelo de automatización más difundido en el ambiente de producción continua por la ISO, en la cual se distinguen 5 niveles con una clara separación del procesamiento de la información y diferente manejo de puntos de vista técnicos (Figura 4.1).

- Empresa, Nivel más alto y donde se fijan las estrategias y metas a cumplir.
- Planificación, se realiza la planificación acorde con las estrategias fijadas, así como la gestión de la producción

- Supervisión, se realiza el monitoreo de las diferentes unidades de producción, y se verifica la sincronización de los procesos interdependientes.
- Control Local, se compone de todos los elementos destinados al control regulatorio de los procesos.
- Proceso, abarca tanto el fenómeno físico como los instrumentos terminales en contacto con los mismos.



Figura 4.1 Modelo de Automatización Piramidal

4.2.3 PABADIS (Plant Automation Based on Distributed System)

Basado en la automatización utilizando sistemas distribuidos, reduce la jerarquía a dos capas, disuelve la capa de supervisión y divide su funcionalidad en un parte centralizada que puede ser ubicada dentro del sistema de planificación y una parte descentralizada que puede ser implementada por agentes móviles (Figura 4.2).

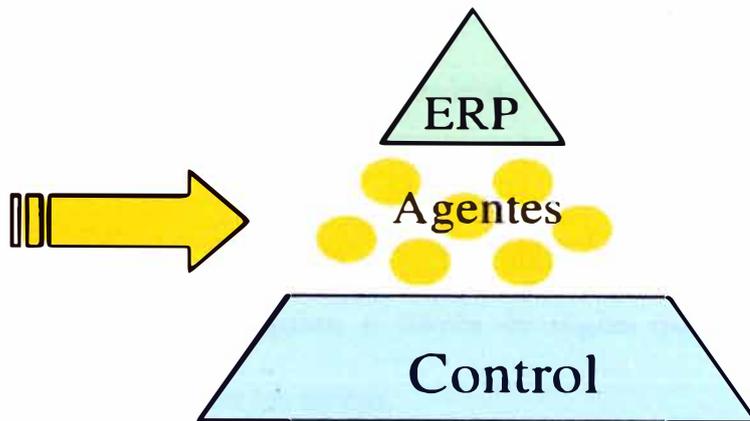


Figura 4.2. Modelo de Automatización basado en sistemas distribuidos

4.3 MODELOS HETERÁRQUICOS

Tienen un buen desempeño ante cambios y pueden adaptarse continuamente a su entorno, se basan en la fragmentación del sistema en unidades pequeñas y completamente autónomas. Las arquitecturas heterárquicas se basan en una total autonomía local (control distribuido) resultando en un entorno en el cual los componentes cooperan para alcanzar objetivos globales gracias a la toma de decisiones locales. Estos componentes autónomos son agentes, y la cooperación se estructura a través de protocolos de negociación. El enfoque heterárquico prohíbe toda tipo de jerarquía con el objeto de dar todo el poder a los módulos básicos, se desempeña generalmente bien en entornos simples. Al eliminar las relaciones de jerarquía en el sistema los módulos cooperan como iguales dando lugar a una arquitectura plana en lugar de asignar relaciones de subordinación y supervisión. Para proveer la robustez y flexibilidad necesaria se establecen esquemas de comunicación, donde al existir fallas en un módulo otro pueda ejecutar sus actividades. El punto principal en los modelos heterárquicos es la coordinación para

prevenir la existencia de anarquías en la arquitectura y aprovechar las ventajas de distribución, modularidad, mantenimiento y reconfiguración. Entre sus principales características tenemos:

- Los diferentes elementos de la arquitectura se comunican como iguales sin existencia de jerarquías, a través de reglas que definen las negociaciones y cooperación entre las tareas.
- Debe ser capaz de autoconfigurarse, ser escalable y tolerante a fallas.
- Especial énfasis en el proceso de coordinación, ya que no existen niveles superiores que observen a todo el sistema ni información global del mismo

4.4 MODELOS HÍBRIDOS

Constituido por aquellos modelos que combinan las ventajas de los sistemas jerárquicos y heterárquicos al mismo tiempo que evita sus desventajas. Dentro de esta clasificación se encuentran las arquitecturas holónicas caracterizadas por:

- Otorgar autonomía a los módulos individuales para evitar las estructuras rígidas de los sistemas jerárquicos. Esto otorga al sistema una respuesta rápida ante disturbios y la habilidad para reconfigurarse a sí mismo ante nuevos requerimientos.
- Poseen jerarquías flexibles para prevenir la inexistencia de jerarquías como sucede en los sistemas heterárquicos.
- Los elementos de la arquitectura pueden pertenecer a múltiples jerarquías o formar jerarquías temporales donde no existe dependencia de niveles para el funcionamiento del modelo.

- La existencia de jerarquías flexibles asegura el desempeño controlable y predecible de la arquitectura.

4.5 ARQUITECTURA PLANTWEB DE EMERSON PROCESS MANAGEMENT

PlantWeb es una arquitectura de planta digital para el control de procesos, que usa el poder de la inteligencia de los equipos de campo para mejorar el desempeño operativo de planta (Figura 4.3).

4.5.1 Características

- Diseñado específicamente para manejar el nuevo cúmulo de información, incluye y aprovecha la inteligencia predictiva en la planta.
- Distribuido en la red en lugar de estar centralizado.
- Uso de estándares en todos los niveles de la arquitectura:
 - Campo:** HART, Fieldbus, ASi, Profibus DP, DeviceNet.
 - Plataformas:** Software y hardware comercial.
 - Tecnologías de Red :** OPC, .NET.
- Realiza más que control del proceso, provee administración de activos e integración a sistemas ERP (Planeación de Recursos de la Empresa).

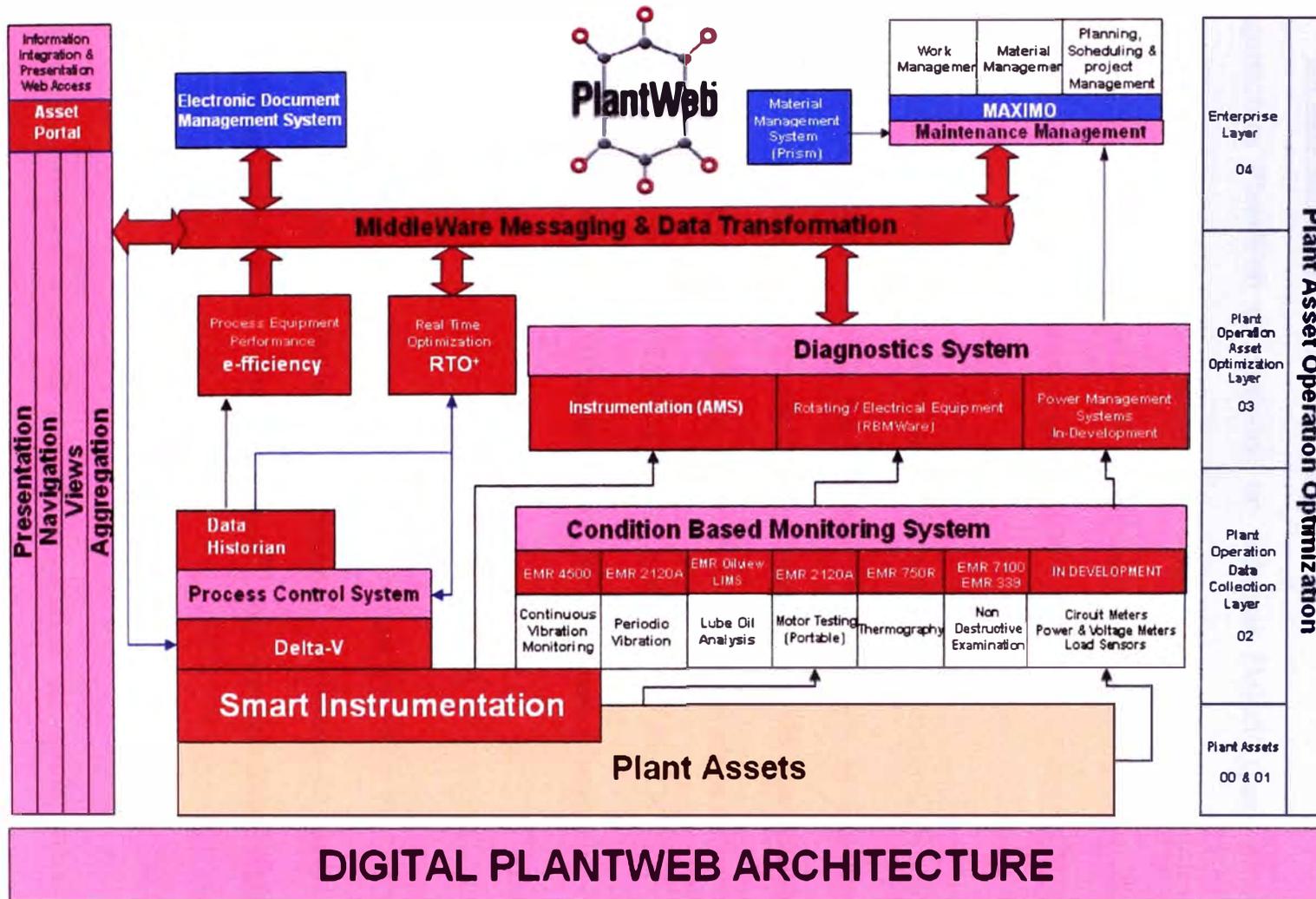


Figura 4.3 Arquitectura de Control Digital PlantWeb

4.5.2 La Inteligencia Predictiva de PlantWeb

La arquitectura PlantWeb se compone de sistemas DeltaV (para procesos industriales) u Ovation (para generación eléctrica), enlazadas con dispositivos de campo inteligentes, usando el protocolo de comunicación digital FOUNDATION fieldbus o la tecnología HART y analógica.

Un programa de optimización de activos se basa en tres elementos, tecnología, conocimiento y procedimientos de trabajo. AMS utiliza la inteligencia predictiva para mejorar la disponibilidad y rendimiento de sus activos de planta, incluyendo equipos mecánicos, sistemas eléctricos, equipos de proceso, instrumentos y válvulas. AMS Suite consta de AMS Asset Portal, AMS Device Manager, AMS Machinery Manager, AMS Performance Monitor y AMS Optimizer.

El AMS Suite: Administrador de Dispositivos Inteligentes reúne los datos del diagnóstico predictivo de transmisores Rosemount[®], medidores de caudal tipo Coriolis Micro Motion[®] y válvulas Fisher[®] con controladores digitales FIELDVUE[®] para válvulas.

La inteligencia predictiva en red permite al personal de planta conocer la condición operativa del proceso y de los dispositivos así como detectar cuando surge una anomalía antes de que se vuelva un problema en las operaciones (Figura 4.4).

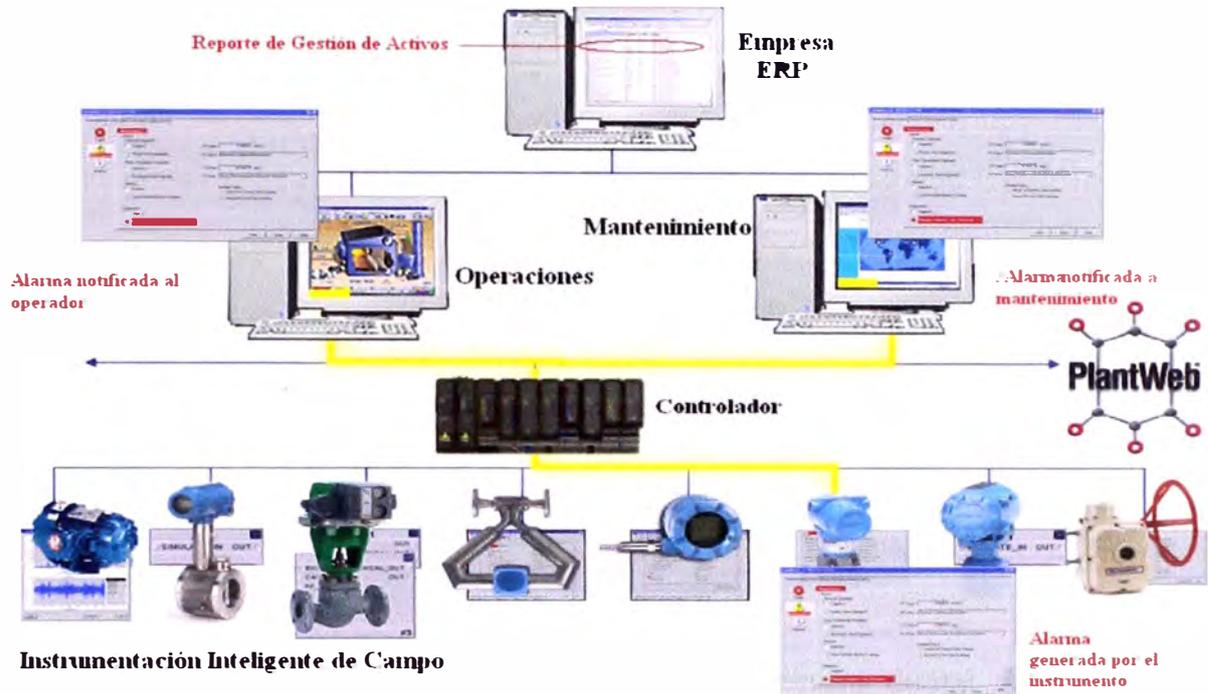


Figura 4.4. Reportes de Gestión de Alarmas de Instrumentos de Campo con PlantWeb

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DELTAV CON FOUNDATION FIELDBUS

En este capítulo empezaremos con el diseño la arquitectura digital de planta. Aplicaremos el diseño para el control del manejo de gases del convertidor Pierce Smith de una Fundición de Cobre.

Empezaremos con la selección del protocolo de comunicación de los instrumentos, el diseño de la arquitectura de campo y luego diseñaremos el sistema de control de procesos.

5.1 INSTRUMENTACIÓN Y DISPOSITIVOS DE CAMPO

5.1.1 Instrumentación Foundation Fieldbus

A continuación mostraremos la instrumentación foundation fieldbus correspondiente al manejo de gases para el convertidor Pierce Smith.

Dispositivos Foundation Fieldbus para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith							
Tag	Descripción	Controlado	Card	Puerto	Dirección	Marca	Modelo
PY-290502	Control Valve, Draft Pressure	290-DCS-001	12	2	34	Fisher Controls	Fisher DVC6000f - SC rev 1
PIT-290502B	Off Gases Pressure Cooling Chamber	290-DCS-001	12	2	20 ^{LAS}	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
PIT-290502A	Off Gases Pressure Cooling Chamber	290-DCS-001	12	2	35	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
TY-290522	Control Valve, Water Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	6	1	29	Fisher Controls	DVC5000f AO/PIDAS Digital Valve Controller
TIT-290526	Inlet Temperature To Cooling Chamber	290-DCS-001	6	1	30	Rosemount Inc.	644 Fieldbus Temperature Transmitter
TIT-290522B	Slide Gate 290-DUC-004	290-DCS-001	6	1	31	Rosemount Inc.	644 Fieldbus Temperature Transmitter
TIT-290522A	Slide Gate 290-DUC-004	290-DCS-001	6	1	32	Rosemount Inc.	644 Fieldbus Temperature Transmitter
TIT-290522	Off Gases Temperature	290-DCS-001	6	1	33 ^{LAS}	Rosemount Inc.	752 Fieldbus Remote Display
PIT-290521	Water Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	6	1	20	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
FIT-290520	Water Flow to Cooling Chamber	290-DCS-001	6	1	35	ABB	FXE 4000 Magmeter Series
TIT-290525	Inlet Temperature to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	30	Rosemount Inc.	644 Fieldbus Temperature Transmitter
PY-290513	Control Valve, Air Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	34	Fisher Controls	DVC5000f AO/PIDAS Digital Valve Controller
PIT-290523	Pressure Water Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	31	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
PIT-290513	Pressure Air Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	35 ^{LAS}	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
PIT-290511	Pressure Air Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	20	Rosemount Inc.	3051 Fieldbus Pressure Transmitter
FIT-290510	Air Supply to Cooling Chamber	290-DCS-001	5	2	29	ABB	TRIO-WIRL FlowMeter

Cuadro 5.1. Dispositivos Foundation Fieldbus para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith

Es conveniente resaltar que cada dispositivo perteneciente a un mismo puerto de la tarjeta Foundation Fieldbus tendrá una dirección única entre 20 y 35. La dirección servirá para identificar al instrumento dentro de un segmento.

Del Cuadro 5.1 observamos que se tiene 3 segmentos. El primer segmento se encuentra en el puerto 2 de la tarjeta 12, el segundo en el puerto 1 de la tarjeta 6 y el tercer segmento en el puerto 1 de la tarjeta 5. Se debe tener en cuenta que cada tarjeta Foundation Fieldbus del DeltaV tiene 2 puertos.

La cantidad máxima de instrumentos por cada puerto es 16, la recomendación es tener como máximo 4 válvulas de control y 8 instrumentos de medición.

El proveedor de cada marca de instrumentos Foundation Fieldbus deberá ser responsable de entregar el archivo de descripción del dispositivo. El archivo se encuentra en formato electrónico, y servirá para que el sistema DeltaV reconozca todas las propiedades de configuración y diagnóstico del equipo. También, es posible descargar este archivo desde la página Web de la Fundación Fieldbus. La información contenida en el archivo de descripción dependerá de cada fabricante y de la revisión del dispositivo.

5.1.2 Instrumentación HART, 4-20mA

A continuación mostraremos la instrumentación HART, 4-20mA correspondiente al manejo de gases para el convertidor Pierce Smith.

Dispositivos HART, 4-20mA para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith							
Tag	Descripción	Controlador	Card	Canal	Tipo de Canal	Marca	Modelo
ZT-290504	Damper Position 290DAM005	290-DCS-001	18	4	AI_HD_HART_CHAN	Fisher Controls	Fisher DVC6000 - rev 1
ZT-290424	Damper Position 290DAM006	290-DCS-001	18	3	AI_HD_HART_CHAN	Fisher Controls	Fisher DVC6000 - rev 1
ZT-290324	Damper Position 290DAM007	290-DCS-001	18	2	AI_HD_HART_CHAN	Fisher Controls	Fisher DVC6000 - rev 1
ZT-290224	Damper Position 290DAM008	290-DCS-001	18	1	AI_HD_HART_CHAN	Fisher Controls	Fisher DVC6000 - rev 1
ZIT-290969	Convertidor #1 Hood Door System	290-DCS-001	17	8	AI_CHAN	-----	-----
ZIT-290930	Convertidor #2 Hood Door System	290-DCS-001	17	7	AI_CHAN	-----	-----
ZIT-290891	Convertidor #2 Hood Door System	290-DCS-001	17	6	AI_CHAN	-----	-----
ZIT-290852	Convertidor #4 Hood Door System	290-DCS-001	17	5	AI_CHAN	-----	-----

Cuadro 5.2. Dispositivos HART, 4-20mA para el manejo de Gases del
Pierce Smith

Del cuadro 5.2, observamos en la columna *Tipo de Canal*, dos tipos de instrumentos: AI_HD_HART_CHAN (HART) y AI_CHAN (4-20mA). Cada tarjeta de entrada análoga del DeltaV puede contar con 8 o 16 canales. Cada canal representa a la conexión de un instrumento. Tener en cuenta que la de tarjeta de 16 canales solo puede trabajar con instrumentos de 2 hilos, mientras que la tarjeta de 8 canales puede trabajar con instrumentación de 2 o 4 hilos.

5.1.3 Dispositivos DeviceNet.

A continuación mostraremos los dispositivos DeviceNet correspondiente al manejo de gases para el convertidor Pierce Smith (Cuadro 5.3).

Dispositivos DeviceNet para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith							
Tag	Descripción	Controlado	Card	Puerto	Dirección	Marcas	Modelo
290DOO004B	Motor de Compuerta Convertidor #1	290-DCS-001	27	1	39	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO004A	Motor de Compuerta Convertidor #1	290-DCS-001	27	1	32	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO003B	Motor de Compuerta Convertidor #2	290-DCS-001	27	1	40	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO003A	Motor de Compuerta Convertidor #2	290-DCS-001	27	1	28	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO002B	Motor de Compuerta Convertidor #3	290-DCS-001	27	1	38	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO002A	Motor de Compuerta Convertidor #3	290-DCS-001	27	1	23	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO001B	Motor de Compuerta Convertidor #4	290-DCS-001	27	1	36	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DOO001A	Motor de Compuerta Convertidor #4	290-DCS-001	27	1	21	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM008B	Damper Ducto Convertidor#1	290-DCS-001	27	1	35	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM008A	Damper Ducto Convertidor#1	290-DCS-001	27	1	4	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM007B	Damper Ducto Convertidor#2	290-DCS-001	27	1	37	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM007A	Damper Ducto Convertidor#2	290-DCS-001	27	1	22	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM006B	Damper Ducto Convertidor#3	290-DCS-001	27	1	34	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM006A	Damper Ducto Convertidor#3	290-DCS-001	27	1	2	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM005B	Damper Ducto Convertidor#4	290-DCS-001	27	1	33	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001
290DAM005A	Damper Ducto Convertidor#4	290-DCS-001	27	1	1	Allen-Bradley Company, Inc.	DSA 4/2 (100-DNY41R) 5.001

Cuadro 5.3. Dispositivos DeviceNet para el Manejo de Gases del Convertidor
Pierce Smith

La tarjeta Devicenet del DeltaV cuenta con un solo puerto. El número máximo de dispositivos por cada puerto de la tarjeta DeviceNet del DeltaV es 61. El proveedor de cada dispositivo deberá proporcionar el Electronic Data Sheet (EDS). El EDS sirve para configuración y realización de diagnósticos dentro del sistema DeltaV de cada equipo. Ingresando a la página Web de la ODVA (Organización Mundial de fabricantes de dispositivos con protocolo Devicenet) es posible descargar el EDS de un equipo.

La velocidad con la que trabaja la red devicenet dependerá de la distancia de nuestro troncal principal. La tarjeta DeviceNet del DeltaV puede ser configurado para trabajar con 3 velocidades: 125 Kbps, 250 Kbps y 500 Kbps, esto es para 500, 250 y 100 metros de longitud de troncal, respectivamente.

5.1.4 Dispositivos Profibus DP

A continuación mostraremos los dispositivos Profibus DP correspondiente al manejo de gases para el convertidor Pierce Smith (Cuadro 5.4).

Dispositivos Profibus DP para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith							
Tag	Descripción	Controlador	Card	Puerto	Dirección	Marca	Modelo
290DCS001_R04	Sistemas Auxiliares Convertidor #4	290-DCS-001	29	1	4	Rockwell Automation	1790P-TOW6 V1.001
290DCS001_R03	Sistemas Auxiliares Convertidor #3	290-DCS-001	29	1	3	Rockwell Automation	1790P-TOW6 V1.001
290DCS001_R02	Sistemas Auxiliares Convertidor #2	290-DCS-001	29	1	2	Rockwell Automation	1790P-TOW6 V1.001
290DCS001_R01	Sistemas Auxiliares Convertidor #1	290-DCS-001	29	1	1	Rockwell Automation	1790P-TOW6 V1.001

Cuadro 5.4. Dispositivos Profibus DP para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith

La tarjeta Profibus DP del DeltaV cuenta con un solo puerto. La dirección asignada a un dispositivo varía entre 2 y 125. La velocidad máxima configurable del bus es 1.5 Mbps. El proveedor del equipo debe proporcionar el archivo GSD del dispositivo. Es importante resaltar que el Sistema DeltaV no soporta Profibus PA.

5.1.5 Señales de entrada y salida discretas

A continuación mostraremos las entradas y salidas discretas, correspondiente al manejo de gases para el convertidor Pierce Smith (Cuadro 5.5).

Entradas y Salidas Discretas para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith					
Tag	Descripción	Controlador	Card	Canal	Tipo de canal
ZS-290650C4	Convertidor #4 in Blowing Position	290-DCS-001	22	8	DI_CHAN
ZS-290650B4	Convertidor #4 in Charge Position	290-DCS-001	22	7	DI_CHAN
ZSL-321548	Drag Conveyer Isolation Valve Closed	290-DCS-001	22	6	DI_CHAN
ZSH-321548	Drag Conveyer Isolation Valve Opened	290-DCS-001	22	5	DI_CHAN
ZS-290650C3	Convertidor #3 in Blowing Position	290-DCS-001	22	4	DI_CHAN
ZS-290650B3	Convertidor #3 in Charge Position	290-DCS-001	22	3	DI_CHAN
ZSL-321448	Drag Conveyer Isolation Valve Closed	290-DCS-001	22	2	DI_CHAN
ZSH-321448	Drag Conveyer Isolation Valve Opened	290-DCS-001	22	1	DI_CHAN
LEV-290553	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	32	DO_HD_CHAN
FEV-290532	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	31	DO_HD_CHAN
FEV-290531	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	30	DO_HD_CHAN
FEV-290530	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	29	DO_HD_CHAN
FEV-290640	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	28	DO_HD_CHAN
HEV-290542	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	27	DO_HD_CHAN
HEV-290442	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	26	DO_HD_CHAN
HEV-290342	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	25	DO_HD_CHAN
FEV-321548A	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	13	DO_HD_CHAN
HEV-290242	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	12	DO_HD_CHAN
FEV-321448A	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	9	DO_HD_CHAN
FEV-321348A	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	5	DO_HD_CHAN
TAH-290647A	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	4	DO_HD_CHAN
TAHH-290245	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	3	DO_HD_CHAN
TAH-290245	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	2	DO_HD_CHAN
FEV-321248A	Discrete Output Channel(HD)	290-DCS-001	25	1	DO_HD_CHAN

Cuadro 5.5. Entradas y Salidas Discretas para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith

La tarjeta de entrada discreta del DeltaV tiene 8 canales y mientras que la tarjeta de salida discreta tiene 32 canales. Dependiendo del circuito eléctrico que utilice para el conexionado de un canal, seleccionare una tarjeta aislada o de contacto seco, de 24 Vdc o 120 Vac respectivamente.

5.2 ARQUITECTURA FOUNDATION FIELDBUS

5.2.1 Nivel Físico

Este es el nivel Fieldbus conectado a instrumentos de campo, con velocidad normalizada de 31.25 Kbps; las demás velocidades deberán ser utilizadas para la interconexión de bridges y gateways (Figura 5.1)

En la velocidad de 31.25 Kbps, la norma determina las siguientes reglas:

1. Un instrumento Fieldbus debe ser capaz de comunicarse con el siguiente número de instrumentos:
 - Entre 2 y 32 instrumentos en una conexión sin seguridad intrínseca con alimentación separada del cableado de comunicación.
 - Entre 2 y 6 instrumentos alimentados por el mismo cableado de comunicación, en una conexión con seguridad intrínseca.
 - Entre 1 y 12 instrumentos alimentados por el mismo cableado de comunicación en una conexión sin seguridad intrínseca.
2. La longitud de un bus cargado con el número máximo de instrumentos en la velocidad 31.25 Kbps no debe tener más 1900 metros entre la suma de los tramos del trunk y de todos los spurs (Figura 5.2)

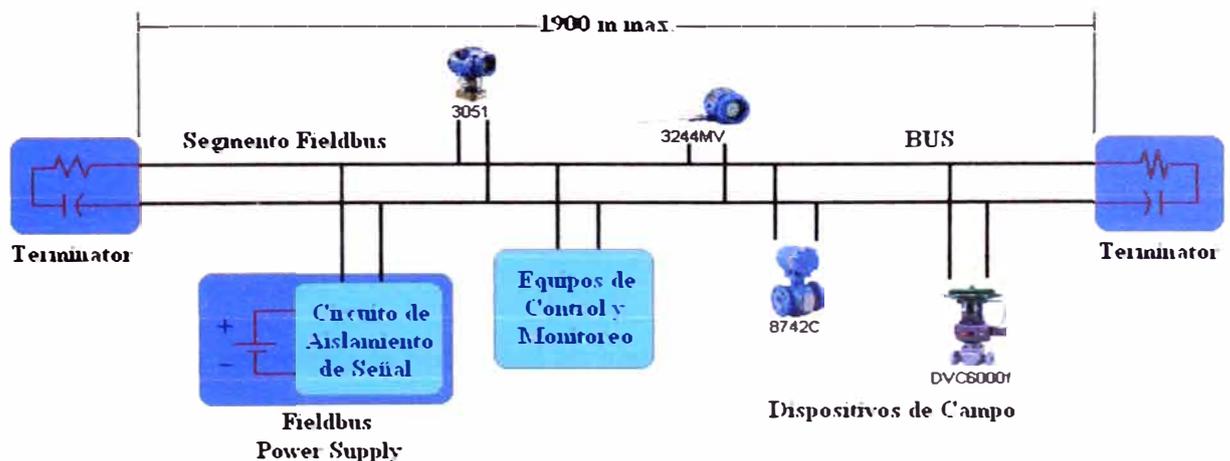


Figura 5.1. Componentes del Nivel Físico de un Segmento Foundation Fieldbus

3. El número máximo de repetidores para la regeneración de la forma de onda entre dos instrumentos no puede exceder de 4 (Figura 5.6).

Los repetidores se utilizan para aumentar una red Fieldbus. Cuando se utilizan cuatro repetidores la distancia máxima entre cualesquiera dos dispositivos en un segmento es 9500 metros.



Figura 5.2. Distancia de un Segmento Foundation Fieldbus con Repetidores

4. Un sistema Fieldbus debe ser capaz de continuar operando aun cuando se estuviera conectando o desconectando un dispositivo.
5. Una falla en cualquier elemento de comunicación (con excepción de un corto circuito o baja impedancia no deberá perjudicar la comunicación por mas de 1 ms.
6. Debe ser respetada la polaridad en sistemas que utilizan pares trenzados, sus conectores deben ser identificados y dicha polaridad debe ser mantenida en todos los puntos de conexión. De acuerdo con la norma Fieldbus, los propios dispositivos no deben ser sensibles a la polaridad, pero esto no siempre ocurre.
7. El blindaje de los cables no debe ser utilizado como conductor de energía.

5.2.2 Topología

Diversas topologías pueden ser aplicadas en proyectos fieldbus. La figura 5.3 muestra las topologías más usadas.

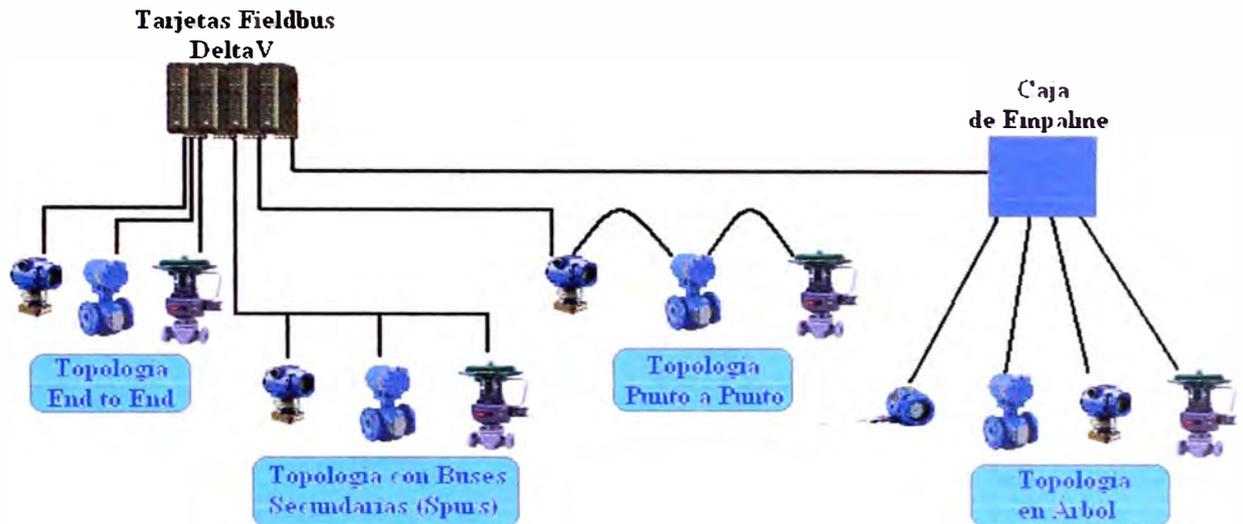


Figura 5.3. Topologías para un Segmento Foundation Fieldbus

La Topología en Árbol será la que implementaremos para los dispositivos fieldbus del Convertidor Pierce Smith. La Topología en Árbol concentra la conexión de varios dispositivos de campo a acopladores / cajas de empalme. Debido a su distribución, la Topología en Árbol se conoce como Pie de Gallina.

En la figura 5.4 se muestra la Topología en Árbol, utilizando la instrumentación del Cuadro 5.1.

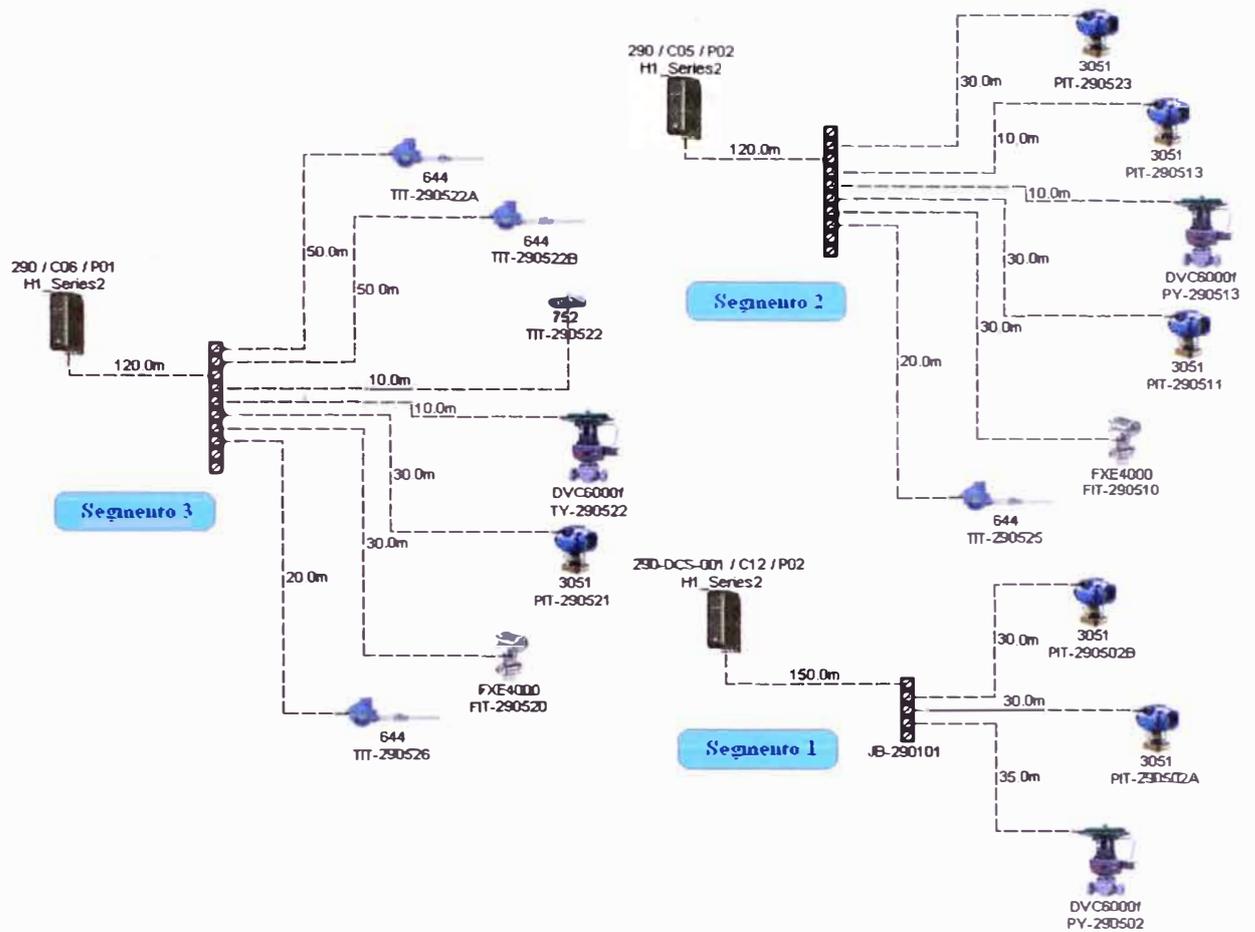


Figura 5.4. Segmentación Foundation Fieldbus para el Manejo de Gases del Convertidor Pierce Smith

5.2.3 Comunicaciones

Cada dispositivo Fieldbus tiene un identificador único de dirección de hardware, con 32 bits, compuesto por bits referentes al código del fabricante, 4 bits del código del dispositivo, y un número de serie. Esto posibilita poder distinguir a un dispositivo de los demás. La Fundación Fieldbus asigna los códigos de los fabricantes, mientras los fabricantes asignan los códigos del tipo del dispositivo y los números de serie secuenciales.

Los dispositivos de la Fundación están clasificados en clases de dispositivos: BASIC, Link Master (LM) y Bridge. Un dispositivo clase LM tiene condiciones para ser el LAS, mientras los dispositivos clase BASIC no tiene esta funcionalidad. Un dispositivo clase Bridge, tiene además de las funciones LM, la funcionalidad de conectar redes.

Por vez, un dispositivo y sólo uno de la red puede ser el LAS. En consecuencia, un enlace necesita tener por lo menos un dispositivo clase LM (o Bridge). Los dispositivos clase LM tratan de adquirir la función LAS cuando no existe un LAS en el comienzo o cuando el LAS existente falla.

El LAS administra la parte de comunicaciones programadas de la transferencia de datos sincronizada entre bloques de función. El LAS tiene la responsabilidad de dar a cada uno de los nodos de un enlace, la oportunidad de enviar mensajes. La función del LAS es el de mantener las comunicaciones de la red. El LAS lo consigue a través del pasaje token a todos los dispositivos detectados por el LAS. Cuando se agrega un dispositivo nuevo a la red, el mismo debe ser reconocido por el LAS y agregado a la lista de rotación de token, que se denomina Lista Viva. Para el convertidor Pierce Smith, se selecciono como LAS backup del segmento 1 al instrumento PIT-290502B, LAS backup del segmento 2 al instrumento TIT-290522 y LAS backup del segmento 3 al instrumento PIT-290513. Ver cuadro 5.1.

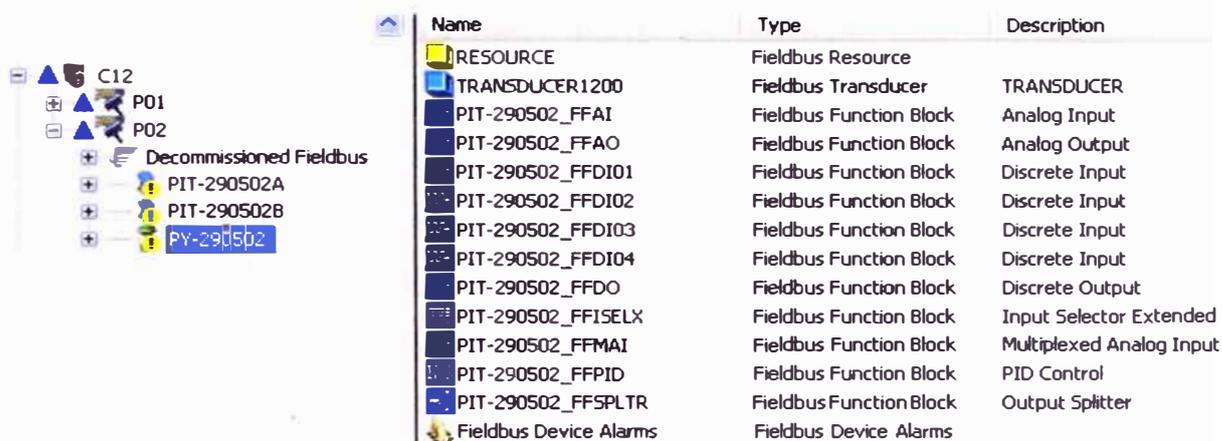
Por lo regular, los actuadores Fieldbus como el DVC6000F de Fisher Controls vienen sin la opción de ser LAS backup. Es importante aclarar, para el caso del sistema DeltaV, el LAS master por defecto es la tarjeta foundation fieldbus H1-Series2.

5.2.4 Nivel de Usuario

El nivel de usuario define la manera de acceder a la información dentro de los dispositivos Fieldbus de modo que esa información pueda ser distribuida a otros dispositivos o nodos en la red Fieldbus. Este atributo es fundamental para las aplicaciones de control de procesos.

La arquitectura de un dispositivo Fieldbus se basa en Bloques de Función, que son los responsables de la ejecución de las tareas necesarias para las aplicaciones actuales, tales como adquisición de datos, control de lazos de realimentación o en cascada, cálculos y actuación. Cada Bloque de Función contiene un algoritmo, una base de datos (entradas y salidas) y un nombre definido por el usuario (el tag del Bloque de Función debe ser único en la planta del usuario). Los parámetros del Bloque de Función son abordados en el Fieldbus vía TAG.PARAMETER-NAME. Un dispositivo Fieldbus debe incluir una cantidad definida de Bloques de Función.

En la figura 5.5 se muestra los Bloques de Función del PY-290502.



Name	Type	Description
RESOURCE	Fieldbus Resource	
TRANSDUCER1200	Fieldbus Transducer	TRANSDUCER
PIT-290502_FFIAI	Fieldbus Function Block	Analog Input
PIT-290502_FFIAO	Fieldbus Function Block	Analog Output
PIT-290502_FFDI01	Fieldbus Function Block	Discrete Input
PIT-290502_FFDI02	Fieldbus Function Block	Discrete Input
PIT-290502_FFDI03	Fieldbus Function Block	Discrete Input
PIT-290502_FFDI04	Fieldbus Function Block	Discrete Input
PIT-290502_FFDO	Fieldbus Function Block	Discrete Output
PIT-290502_FFISELX	Fieldbus Function Block	Input Selector Extended
PIT-290502_FFMAI	Fieldbus Function Block	Multiplexed Analog Input
PIT-290502_FFPID	Fieldbus Function Block	PID Control
PIT-290502_FF5PLTR	Fieldbus Function Block	Output Splitter
Fieldbus Device Alarms	Fieldbus Device Alarms	

Figura 5.5. Bloques de Función Foundation Fieldbus para la Válvula PY-290502

5.3 INSTRUMENTOS FOUNDATION FIELDBUS

5.3.1 Transmisor de Temperatura 644H

El 644 de Rosemount puede ser adquirido con 4-20mA / HART o con el protocolo Foundation Fieldbus. Cada unidad puede ser configurada para trabajar con diferentes tipos de sensores: RTD o Termocupla.

Los bloques de función que incluye este transmisor son: Resource, Transducer, LCD Block, 2 Analog Input (tiempo de ejecución 45ms) y 1 PID (60ms). Puede ser integrado a la Arquitectura PlantWeb.

5.3.2 Transmisor de Presión 3051

El 3051 de Rosemount se utiliza para aplicaciones de medición de nivel, caudal o presión. Los bloques de función que incluye este transmisor son: Resource, Transducer, 1 Analog Input (20ms), 1 PID (25 ms), 1 Arithmetic (20ms), 1 Input Selection (20ms), 1 Signal Characterizer (20ms), 1 Integrator (20ms), 1 Analog Output (20ms), 1 Output Splitter (20ms), 1 Multiple Analog Input

(20ms) y 1 Control Selector (20ms). Puede ser integrado a la Arquitectura PlantWeb.

5.3.3 Transmisor de Flujo FXE4000

El FXE4000 de ABB se utiliza para aplicaciones de medición de caudal de líquidos. Los bloques de función que incluye este transmisor son: Resource, Transducer, 3 Analog Input (50ms) y 1 PID (100ms). Puede ser integrado a la Arquitectura PlantWeb.

5.3.4 Válvula de Control DVC6000F

Los controladores digitales de válvula FIELDVUE de las series DVC6000F de Fisher Controls es un instrumento neumático-digital que opera a base de un microprocesador, que utiliza el protocolo de comunicación Foundation Fieldbus para facilitar el acceso a datos críticos para la operación del proceso.

La comunicación es hecha a través de un computador personal o una consola de sistema de control digital en la sala de control. El controlador emplea una retroalimentación de la posición de la carrera de la válvula para efectuar un diagnóstico, no solo del instrumento, sino también de la válvula y del actuador.

Los tipos de controladores disponibles son: El tipo DVC6010F para el montaje en actuadores con vástago corredizo, el tipo DVC6020F para el montaje en actuadores rotatorios y con vástago corredizo (carreras mayores a 102mm), y el tipo DVC6030F para el montaje en actuadores de cuarto de vuelta. Los bloques de función que incluye son: 1 Analog Input (25ms), 1 PID (30 ms), 1 Input Selection (25ms), 1 Analog Output (25ms), 1 Output Splitter (25ms), 1

Multiple Analog Input (40ms), 1 Digital Output (25ms) y 4 Digital Input (40ms).

5.4 ARQUITECTURA DELTAV

5.4.1 Sistema DeltaV para el Convertidor Pierce Smith

Una vez que contamos con la instrumentación y el diseño de la arquitectura Fieldbus, procederemos a implementar la arquitectura DeltaV para el convertidor.

Llamamos Nodo, a un controlador o una estación de trabajo. La cantidad máxima de controladores en un Sistema DeltaV es 100 y el número máximo de estaciones de trabajo es 60. La comunicación entre los Nodos se le conoce como Red de Control y utiliza el protocolo Ethernet TCP / IP. La velocidad de la red puede trabajar a 10Mbps ó 100Mbps. Todas las estaciones tienen redundancia por comunicación (Figura 5.6). La Red de Control Primaria servirá para la comunicación de históricos, diagnósticos y eventos. La Red de Control Secundaria servirá para la comunicación de datos de control, monitoreo y operación. Lo mínimo que deberá tener nuestra arquitectura es dos nodos, un controlador y una estación que la utilizaremos como ingeniería y de operación.

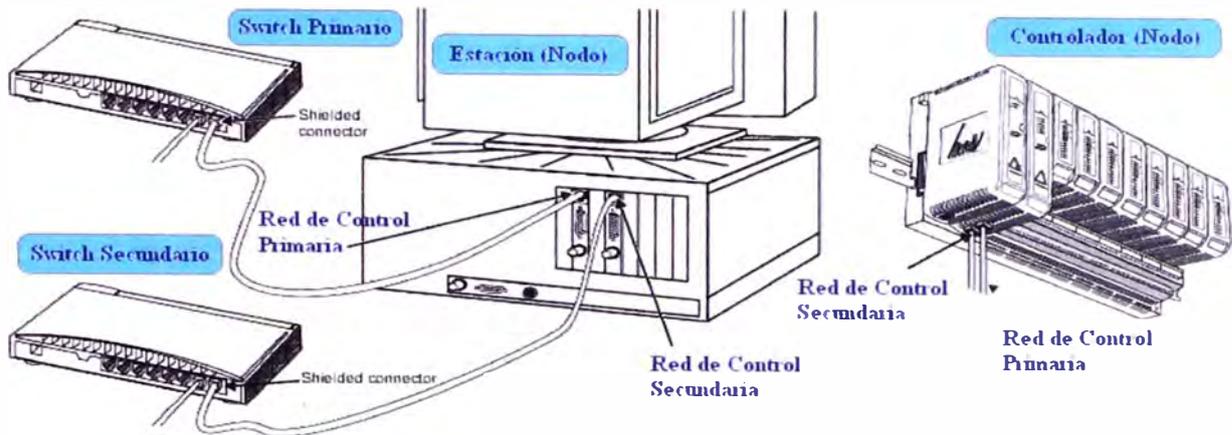


Figura 5.6. Redundancia en Comunicación de Estaciones Trabajo y Controladores

5.4.2 Controlador

El Controlador realiza control local y gestiona la comunicación entre el Subsistema de E/S y la Red de Control (Figura 5.7).

Se recomienda instalar una UPS entre la distribución de alimentación de CA y la Fuente de Alimentación del Sistema para el (los) controlador(es).

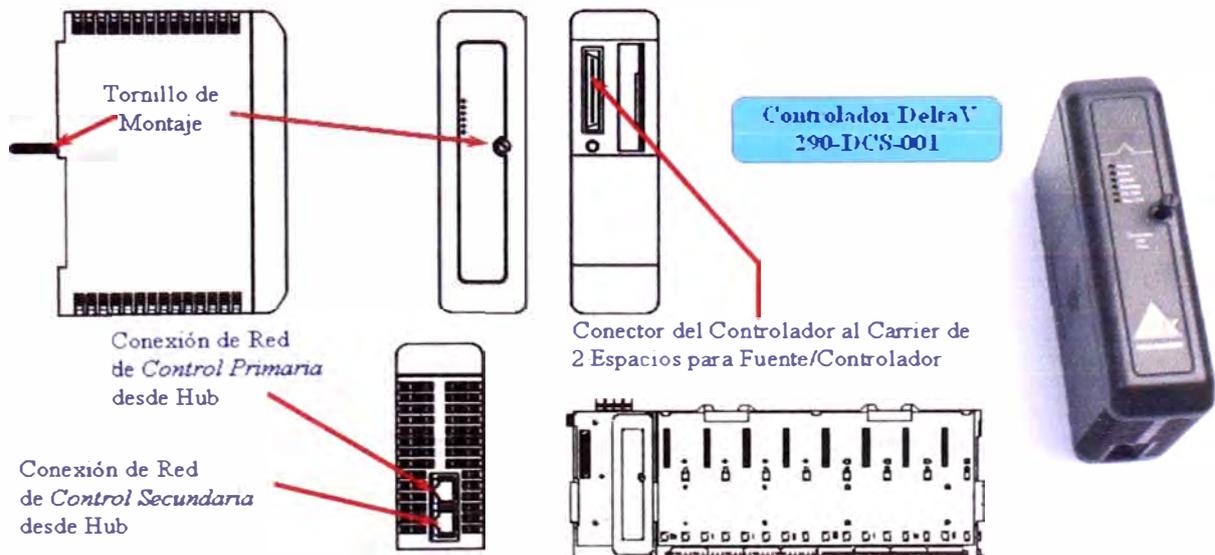


Figura 5.7. Controlador de Proceso DeltaV

El modelo MD-Plus tiene 48 MB de memoria disponible, mientras que el modelo MD cuenta con 14 MB de memoria. Para aplicaciones que se desarrolle con las herramientas de Control Avanzado del DeltaV, como Control Predictivo, es recomendable trabajar con el MD-Plus por la capacidad de memoria. Ambos procesan la información a la misma velocidad. El controlador cuenta con leds que indicarán el comportamiento del equipo, útil para el diagnóstico y mantenimiento. El controlador es capaz de reconocer las tarjetas IOs asociadas a su chasis.

5.4.3 Fuente de Alimentación del Sistema

La Fuente de Alimentación del Sistema DeltaV proporciona 3.3, 5 y 12 Vdc (Figura 5.8).

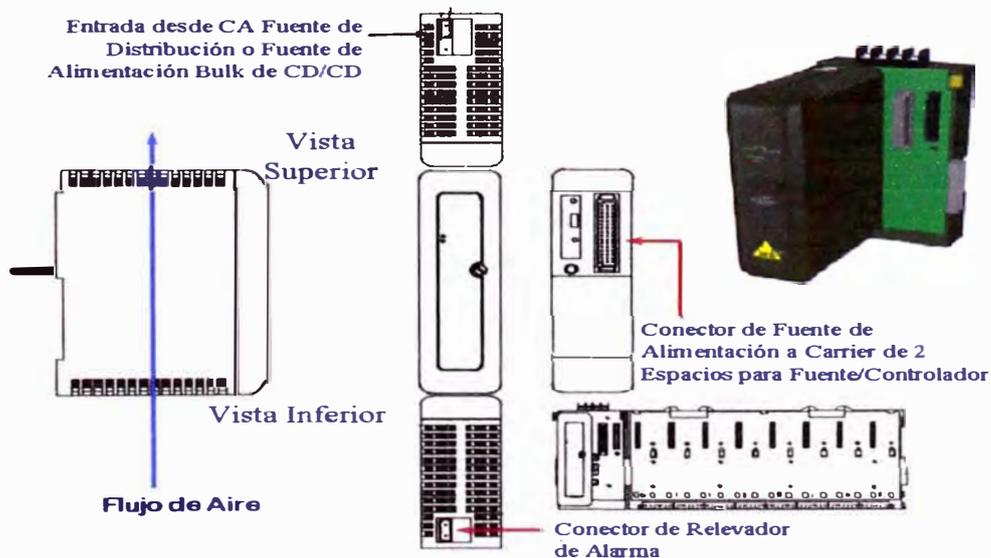


Figura 5.8. Fuente de Alimentación DeltaV

La selección del modelo de Fuente Alimentación del Sistema dependerá del consumo de energía para alimentar a las tarjetas IOs y al controlador.

Dependiendo de la fuente de alimentación, es posible que usted necesite alimentación adicional para cumplir con los requerimientos de carga a medida que se agregan tarjetas de E/S. El modelo recomendado es la Fuente Dual DC/DC, su alimentación es con 12 Vdc, proporciona hasta 13 Amp al bus local y permite compartir carga. La fuente cuenta con leds que indicarán el comportamiento del equipo, útil para el diagnóstico y mantenimiento. Además, en la parte inferior de la fuente cuenta con un contacto normalmente abierto, el contacto cerrara en caso que la fuente entre en modo de falla.

5.4.4 Tarjetas de entradas y salidas

Para la distribución de tarjetas se considera un 25% adicional de señales, es por ello que encontramos en la distribución el Spare Slot. En el diseño se debe considerar que las tarjetas de Bus de Comunicaciones se encuentren asociadas al controlador principal, en los nodos remotos no puede existir ninguna tarjeta de Bus.

La distribución de tarjetas para el controlador 290-DCS-001 se muestra en el Cuadro 5.6.

Distribución de Tarjetas para el Controlador 290-DCS-001					
Controlador	Carrier	Posición	Descripción	Modelo de Tarjeta	Redundante
290-DCS-001	01	1	FieldBus Card #1	FIC_SER2	F
290-DCS-001		2	FieldBus Card #2	FIC_SER2	F
290-DCS-001		3	FieldBus Card #3	FIC_SER2	F
290-DCS-001		4	FieldBus Card #4	FIC_SER2	F
290-DCS-001		5	FieldBus Card #5	FIC_SER2	F
290-DCS-001		6	FieldBus Card #6	FIC_SER2	F
290-DCS-001		7	FieldBus Card #7	FIC_SER2	F
290-DCS-001		8	FieldBus Card #8	FIC_SER2	F
290-DCS-001	02	9	FieldBus Card #9	FIC_SER2	F
290-DCS-001		10	FieldBus Card #10	FIC_SER2	F
290-DCS-001		11	FieldBus Card #11	FIC_SER2	F
290-DCS-001		12	FieldBus Card #12	FIC_SER2	F
290-DCS-001		13	Spare Slot		
290-DCS-001		14	Spare Slot		
290-DCS-001		15	Spare Slot		
290-DCS-001		16	Serial Card, 2 Ports, RS232/RS485, Series2	SERIAL_32DS_SER2	F
290-DCS-001	03	17	AI Card, 8 Ch., 4-20 mA, HART, Series 2	AI_8CH_HART_4-20_SER2	F
290-DCS-001		18	AI Card, 16 Ch., 4-20 mA, HART, Series 2	AI_16CH_HART_4-20	F
290-DCS-001		19	Spare Slot		
290-DCS-001		20	Spare Slot		
290-DCS-001		21	Discrete Input Card #1	DI_8CH_115VAC_ISO	F
290-DCS-001		22	Discrete Input Card #2	DI_8CH_115VAC_ISO	F
290-DCS-001		23	Discrete Input Card #3	DI_8CH_115VAC_ISO	F
290-DCS-001		24	Discrete Input Card #4	DI_8CH_115VAC_ISO	F
290-DCS-001	04	25	DO Card, 32 Ch., High Density	DO_32CH_HD	F
290-DCS-001		26	Spare Slot		
290-DCS-001		27	DeviceNet Card #1	DNIC	F
290-DCS-001		28	DeviceNet Card #2	DNIC	F
290-DCS-001		29	Profibus I/O Card #1	PIC	F
290-DCS-001		30	Profibus I/O Card #2	PIC	F
290-DCS-001		31	Spare Slot		
290-DCS-001		32	Spare Slot		

Cuadro 5.6. Distribución de Tarjetas para el Controlador 290-DCS-001

5.5 CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DELTAV

5.5.1 Consideraciones

El cálculo de carga se muestra en el Cuadro 5.7. Si bien es cierto, estamos utilizando redundancia en controlador, pero para la selección de la Fuente de Alimentación se debe considerar el consumo de un solo controlador. Cada controlador tiene su respectiva Fuente de Alimentación. Es importante tener en cuenta que el bus local de 12 Vdc solo soporta 8 Amp. Para evitar problemas de consumo de corriente cuando se agreguen tarjetas adicionales, cada dos carriers consecutivos se deberá utilizar un Cable Extender, el tercer carrier

deberá tener su propia fuente de 12 Vdc para alimentar al bus local. Para nuestro caso, seleccionamos una Fuente Dual DeltaV.

Calculations for DeltaV Power Supply (Vin=12VDC)						
Device Type	Qty	Amps / Unit	Total for Type			
Simplex H1 Fieldbus I/O 2 Ch	12	0.400	4.800			
Device Net I/O Interface	2	0.400	0.800			
Serial Interface 2ports Modbus RTU	1	0.200	0.200			
DI Card: 8 Channels 120 Vac: Isolated	4	0.075	0.300			
DO Card: 32 Channels 24 Vdc; High Side	1	0.100	0.100			
AI Card: 8 Channels 4-20 ma; HART - 4 wire	1	0.120	0.120			
AI Card; 16 Channels; 4-20 mA; HART - 2 wire	1	0.085	0.085			
AO Card; 8 Channels; 4-20 mA; HART	0	0.085	0.000			
Profibus DP Card	2	0.400	0.800			
Controller MD	2	1.400	2.800			
For Consumption Consideration		Total	10.005			
For I/O Subsystem Power Consideration (*)		Total	7.205			
For DeltaV Power Supply Capability Consideration		Total	8.605			Considering only one SPS and one MD.
DeltaV Power Supply Capability (VE5008)	Qty	Amps / Unit	Total for Type	Spare Amps	% of Spare	% of Use
DeltaV Power Supply - input 12 VDC (max 13A@ 12VDC)	1	13.000	13.000	4.395	34%	66%
(*) Rail Bus 12Vdc max. 8 Amp. Add Power Supply 12Vdc for connection on Extension Cable Carrier 3						

Cuadro 5.7. Cálculo del Consumo de Corriente para la Fuente de Alimentación del Sistema DeltaV - 12 Vdc

5.5.2 Cálculo del consumo de 12 Vdc

Por recomendación cuando utilicemos controladores redundantes, cada Fuente de Alimentación DeltaV deberá contar con su propia fuente externa de alimentación. El circuito eléctrico recomendado es colocar en paralelo ambas fuentes externas para obtener un mayor suministro de corriente (Cuadro 5.8).

Calculations for System Power Supply (Vin=12VDC)						
Device Type	Qty	Amps / Unit	Total for Type			
DeltaV Power Supply (VE5008)	1	13.000	13.000			Considering only one SPS
For Consumption Consideration		Total	13.000			
System Supply Capability	Qty	Amps / Unit	Total for Type	Spare Amps	% of Spare	% of Use
System Power Supply - input 12 VDC (max 10A@ 12VDC)	2	10.000	20.000	11.395	57%	43%

Cuadro 5.8. Cálculo del Consumo de Corriente para la Fuente de Alimentación del Sistema – 12 Vdc.

5.5.3 Cálculo del consumo de 24 Vdc

El cálculo de la fuente de alimentación externa se muestra en el Cuadro 5.9.

Calculations for System Power Supply (Vin=24VDC)						
Device Type	Qty	Amps / Unit	Total for Type			
AI Card; 16 Channels; 4-20 mA; HART - 2 wire	1	0.300	0.300			
AI Card; 8 Channels; 4-20 mA; HART - 4 wire	1	0.300	0.300			
Field AI devices (@ 24VDC)	16	0.030	0.480			
Foundation Field Bus Power Supply	24	0.420	10.080			
Relay (Discrete Output)	1	3.200	3.200			
For Consumption Consideration			Total	14.360		
System Supply Capability						
System Power Supply - input 24 VDC (max 20A@ 24VDC)	Qty	Amps / Unit	Total for Type	Spare Amps	% of Spare	% of Use
System Power Supply - input 24 VDC (max 20A@ 24VDC)	1	20.000	20.000	5.640	28%	72%
Calculations for DO Power Supply (Vin=24VDC)						
Device Type	Qty	Amps / Unit	Total for Type			
Field DO devices (@ 24VDC)	0	0.000	0.000			
For Consumption Consideration			Total	0.000		
System Supply Capability						
System Power Supply - input 24 VDC (max 10A@ 24VDC)	Qty	Amps / Unit	Total for Type	Spare	% of Spare	% of Use
System Power Supply - input 24 VDC (max 10A@ 24VDC)	1	10.000	10.000	10.000	100%	0%

Cuadro 5.9. Cálculo del Consumo de Corriente para la Fuente de Alimentación del Sistema – 24 Vdc.

5.5.4 Cálculo del consumo de 120 Vac UPS

Considerando un spare del 25% el consumo de carga del UPS será de 18 Amp, se considera para el cálculo: las fuentes externas para el hardware DeltaV, fuentes para los switches de comunicación, la fuente de alimentación para red DeviceNet, el sistema de ventilación, alimentación a la salida de los relés para las DO y alimentación a las entradas aisladas.

Adicionalmente tendremos equipos que se alimentara directamente de la distribución de 120 Vac.

Calculations for other equipment (Vin=120VAC UPS)					
Device Type	Qty	120VAC Amps (Each)	Total for Product	% of Use	Actual Current
Compact Power Supply QUINT-PS-100-240AC/24DC/10 (*)	1	2.340	2.340	0%	0.000
Compact Power Supply QUINT-PS-100-240AC/24DC/20 (**)	1	4.760	4.760	72%	3.418
Compact Power Supply QUINT-PS-100-240AC/12DC/10 (***)	2	1.500	3.000	43%	1.291
Compact Power Supply QUINT-PS-100-240AC/12DC/10 (****)	0	1.500	0.000	0%	0.000
RPS60 Power Supply Output 24 VDC/2.5A	2	1.300	2.600	10%	0.260
Devicenet Power Supply 120VAC/24VDC/5A	1	1.620	1.620	100%	1.620
FAN	1	0.530	0.530	100%	0.530
Load Field D.O. 120Vac (per channel)	32	0.100	3.200	100%	3.200
DI Card: 8 Channels 120 Vac. Isolated	32	0.100	3.200	100%	3.200
For Consumption Consideration			Total		13.518
(*) For D.O. Power Supply		(**) For System Power Supply		(***) For Controller	
				(****) For I/O Subsystem Power	
Calculations for other equipment (Vin=120VAC)					
Device Type	Qty	120VAC Amps (Each Device)	Total for Product Type		
Power Distribution Outlets 3	1	6.000	6.000		
Light	3	0.125	0.375		
For Consumption Consideration			Total	6.375	
Grand Totals					
					% use of actual Power Supply
Grand Total 120VAC UPS Consumption (A) Plus 25% spare		18.0		75%	
Grand Total 120VAC UPS Power (W) (*)		2162.9		75%	
Grand Total 120VAC Consumption (A) Plus 25% spare		8.5		75%	
Grand Total 120VAC Power (W) (*)		1020.0		75%	
(*) For 120 VAC power supply consideration					

Cuadro 5.10. Cálculo del Consumo de Corriente del Sistema Alimentación UPS – 120Vac.

Es bueno mencionar, que se deberá realizar un cálculo de la Disipación de Calor del Hardware DeltaV, para la selección del sistema de ventilación., similar al cálculo realizado en el Cuadro 5.10.

5.6 LICENCIAS DELTAV

El dimensionado de licencias del Sistema DeltaV, se realizará teniendo en cuenta la instrumentación mencionada para el Convertidor en los cuadros anteriores.

Primero debemos contabilizar cuantas señales de entrada y salida sean discretas o análogas tenemos. En el caso de los dispositivos Fieldbus (Cuadro 5.1) consideremos por cada instrumento una señal análoga de entrada y por cada actuador una señal

análogo de salida una señal de análogo de entrada. Para cada dispositivo HART / 4-20mA (Cuadro 5.2), una señal análogo de entrada. Para cada dispositivo DeviceNet (Cuadro 5.3) una señal análogo de entrada y una señal análogo de salida. Para cada dispositivo ProfibusDP (Cuadro 5.4) cuatro señales de entrada discreta y dos señales de salida discreta. Por ultimo, por cada dispositivo discreto (Cuadro 5.5) una señal de salida discreta y una señal de entrada discreta respectivamente. En el Cuadro 5.11 se muestra el resumen del dimensionamiento de licencias.

Licencias DeltaV para el Convertidor Pierce Smith			
Descripción	DST	Total *	Licencias DeltaV
AO	19	25	Analog Output Software, 25
AI	40	53	Discrete Input Software, 53
DO	32	43	Discrete Output Software, 43
DI	24	32	Analog Input Software, 32
System Size	115	153	ProfessionalPlus Station, 153
Fieldbus Devices	16	21	Fieldbus Device Database, 21
Redundancia de Controlador		1	Controller Redundancy
Licencia del Sistema		1	DeltaV Version 8
*Se considera el 25% adicional para el conteo total de señales			

Cuadro 5.11. Licencias DeltaV para el Convertidor Pierce Smith

5.7 MÓDULOS DE CONTROL DELTAV

5.7.1 Módulo de Control

El módulo de control del DeltaV es un algoritmo de control que enlaza condiciones, alarmas, desplegados y otras características para un elemento particular de un equipo. Es la entidad más pequeña que se puede descargar al controlador. La velocidad de escaneo es independiente por módulo. Además,

hace referencia a un desplegado de una pantalla desde una estación de operación (Figura 5.9).

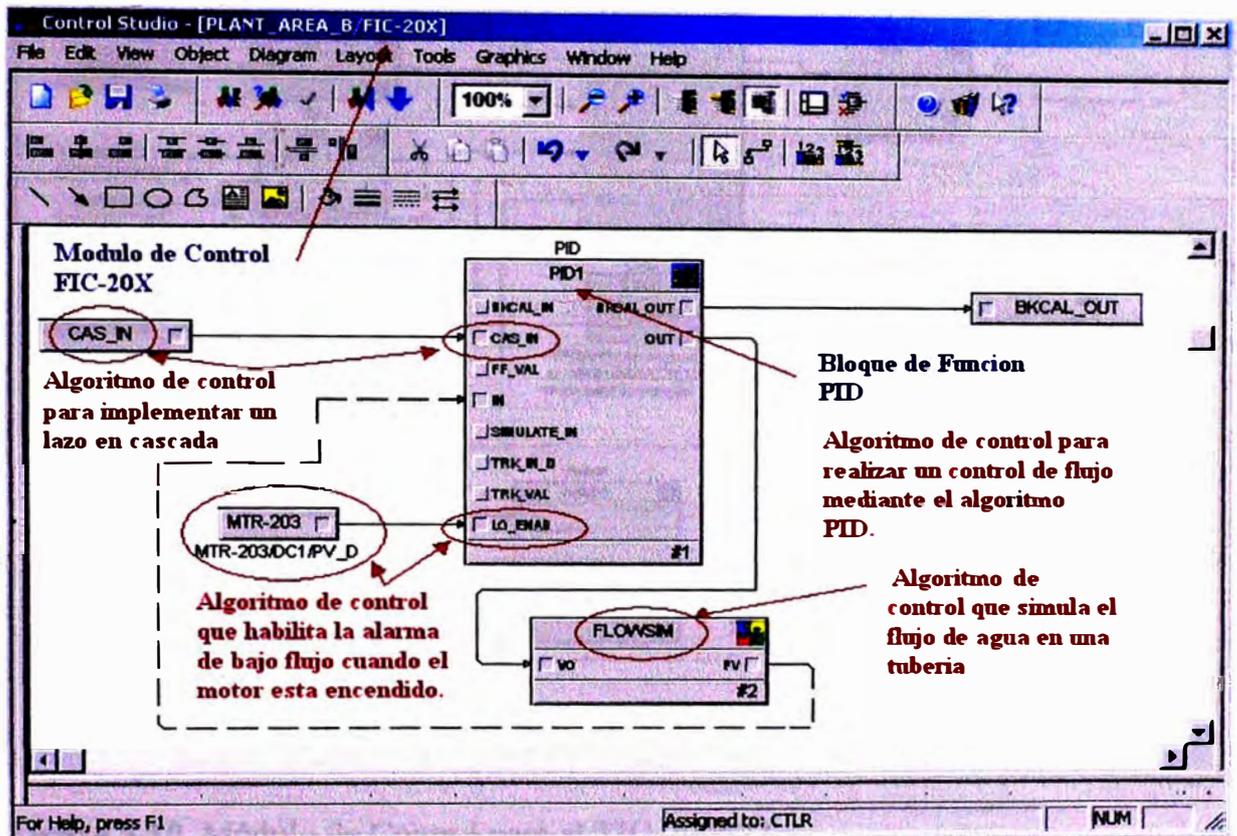


Figura 5.9. Típico de un Módulo de Control para un PID

5.7.2 TIC-290522.

TIC-290522 es el modulo de control donde se realiza el algoritmo para el control de la cámara de enfriamiento (suministro de agua) mencionado en el Capitulo 5.1.4.

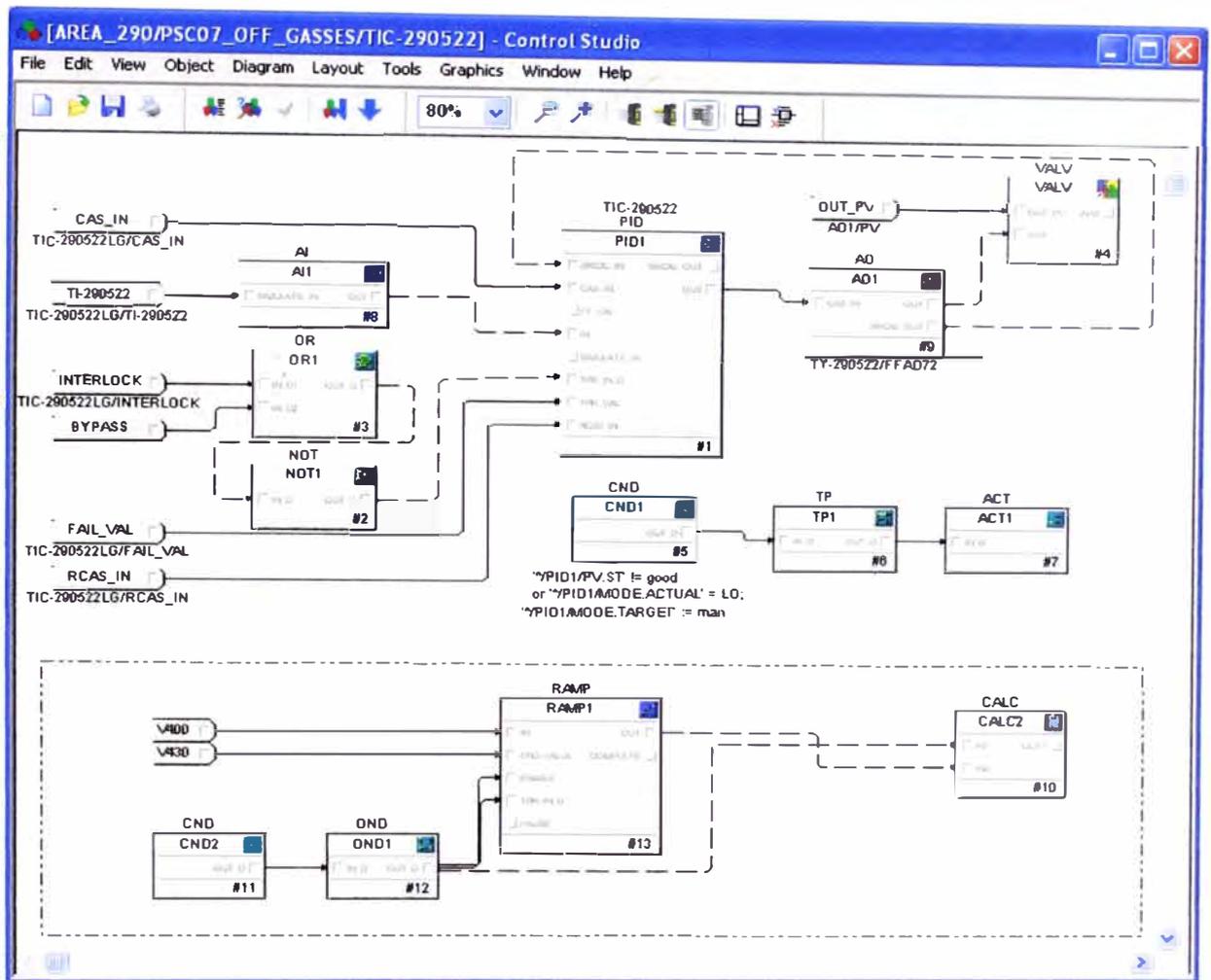


Figura 5.10. Módulo de Control para el TIC-290522

En TIC-290522 se realiza un control de temperatura por el método PID. La referencia del lazo se establece cuando el convertidor inicia su etapa de soplado. El Setpoint se establece mediante una rampa desde 300°C a 400°C en un intervalo de 2 minutos (Figura 5.10).

5.7.3 PSC-SONIC

PSC-SONIC es el modulo de control donde se realiza el algoritmo de arranque y parada del sistema Turbosonic de la cámara de enfriamiento (Figura 5.11).

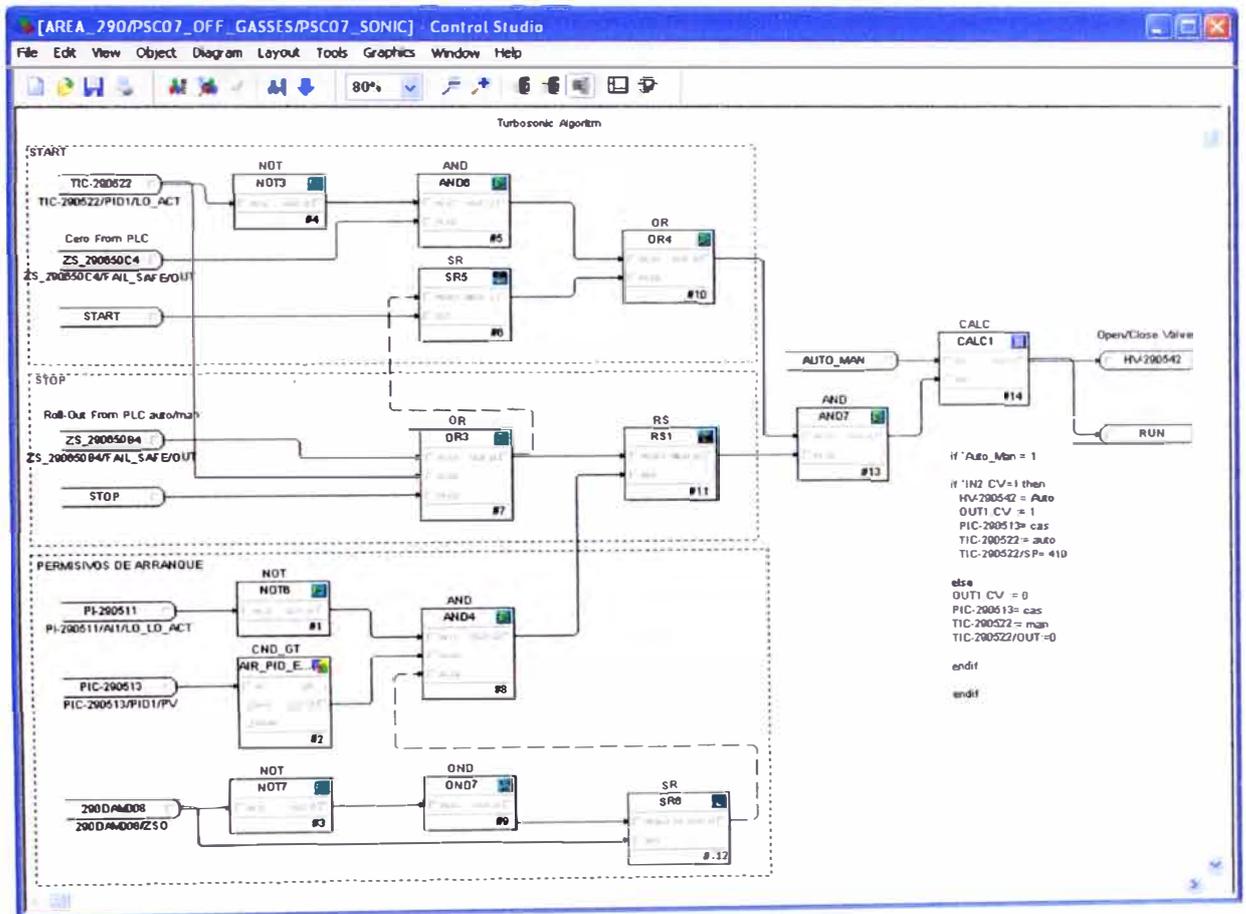


Figura 5.11. Módulo de Control para el TurboSonic

El arranque del sistema inicia cuando el convertidor ingresa en su etapa de soplado, teniendo en cuenta que la presión en la línea de aire sea la adecuada y el damper 290-DAM-008 se encuentre en su posición de apertura. Si el convertidor entra en su etapa de Roll-Up el sistema deberá ser detenido.

5.7.4 PIC-290502LG

PIC-290502LG es el módulo de control donde se establece el funcionamiento de la redundancia entre los instrumentos PI-290502 A y B (Figura 5.12).

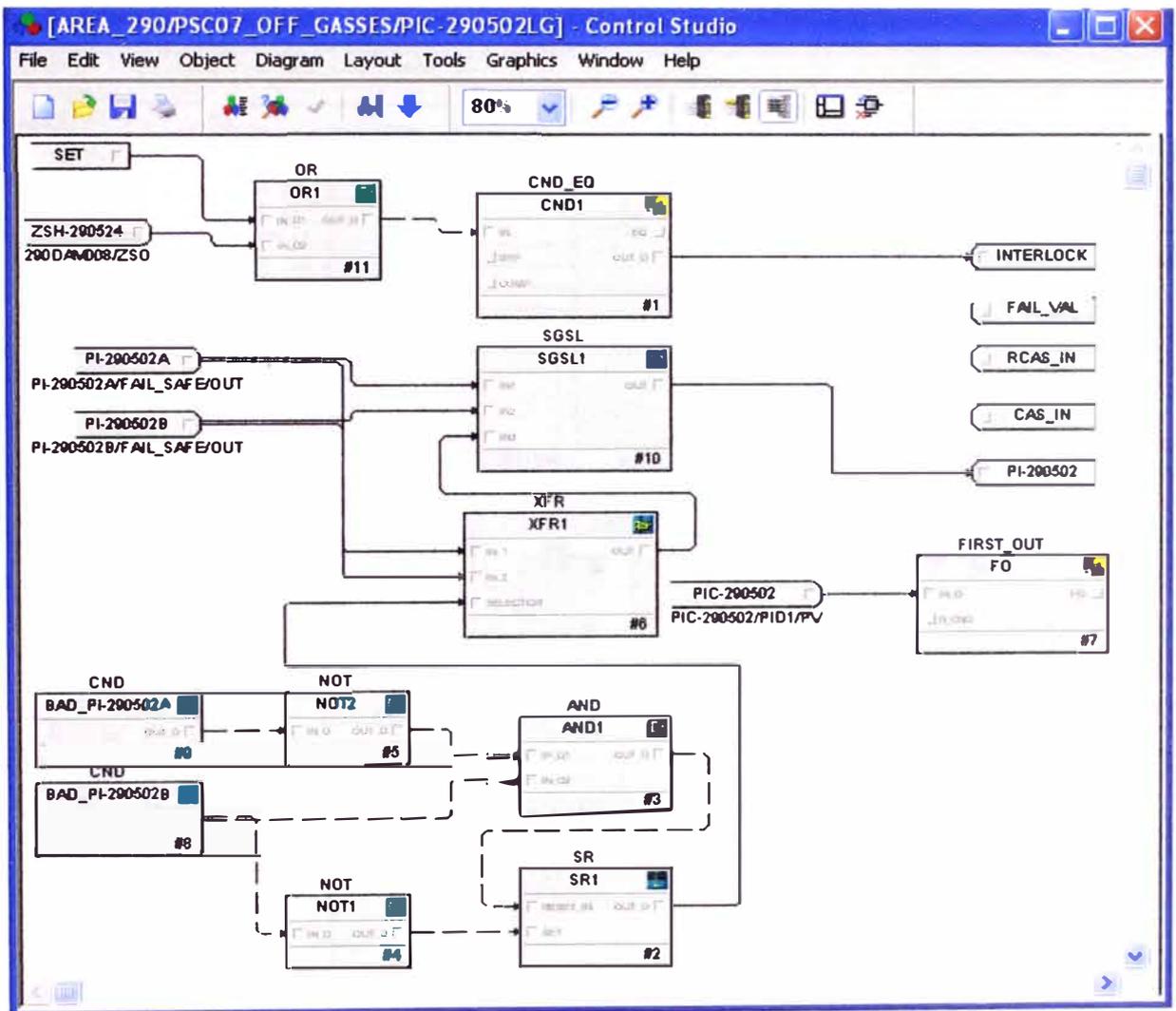


Figura 5.12. Módulo de Control para redundancia de instrumentos

La señal que se encuentre en buena calidad, es enviada como variable de entrada a PIC-290502. Este módulo realiza el control de presión (ver Capítulo 5.1.5).

5.7.5 290DAM008

290DAM008 es el módulo de control donde se realiza el algoritmo de operación para el damper a la salida de la cámara de enfriamiento.

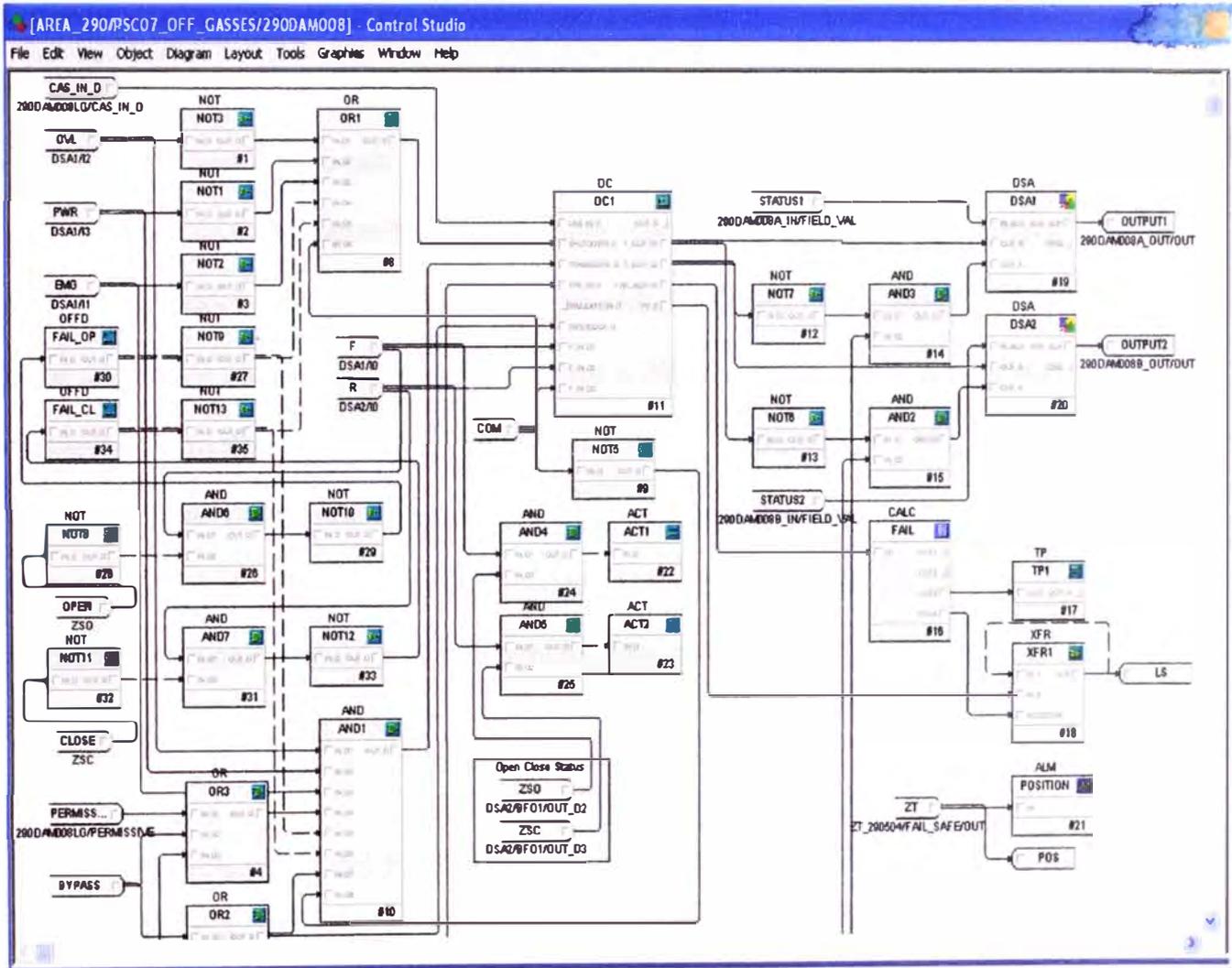


Figura 5.13. Módulo de Control para el damper 290DAM008

El modulo de la Figura 5.13 es un típico para el control de motores utilizando dispositivos DeviceNet. Mediante estos equipos se lee el estado de Overload, Stop de Emergencia y Power del arrancador (estos bits se traen en un Byte que representa a una señal de entrada analógica), también, se envía el Start y Stop al arrancador (estos bits se envían en un Byte que representa a una señal de salida analógica).

5.8 ESTIMACIÓN DEL FRETIME DEL 290-DCS-001

5.8.1 FreTime

El Fretime es un parámetro en el Controlador del DeltaV que representa el porcentaje de tiempo disponible para ejecutar módulos de control. Los módulos de control pueden clasificarse según la prioridad de ejecución.: módulos con prioridad de ejecución alta (scan rate menor a 200ms), módulos con prioridad de ejecución media (scan rate entre 500ms y 2s) y módulos con prioridad de ejecución baja (scan rate mayor a 5s). El Controlador del DeltaV puede ejecutar un máximo 750 módulos de control con un scan rate de 500ms. A medida que tengamos módulos de ejecución con prioridad alta, el FreTime del controlador será menor (Figura 5.14).

Un valor recomendado del FreTime es 10%. Si desea instalar un controlador redundante, el mínimo valor de FreTime es 19%. Esto se debe, porque el consumo de FreTime para el controlador redundante es aproximadamente entre 7% y 9%.

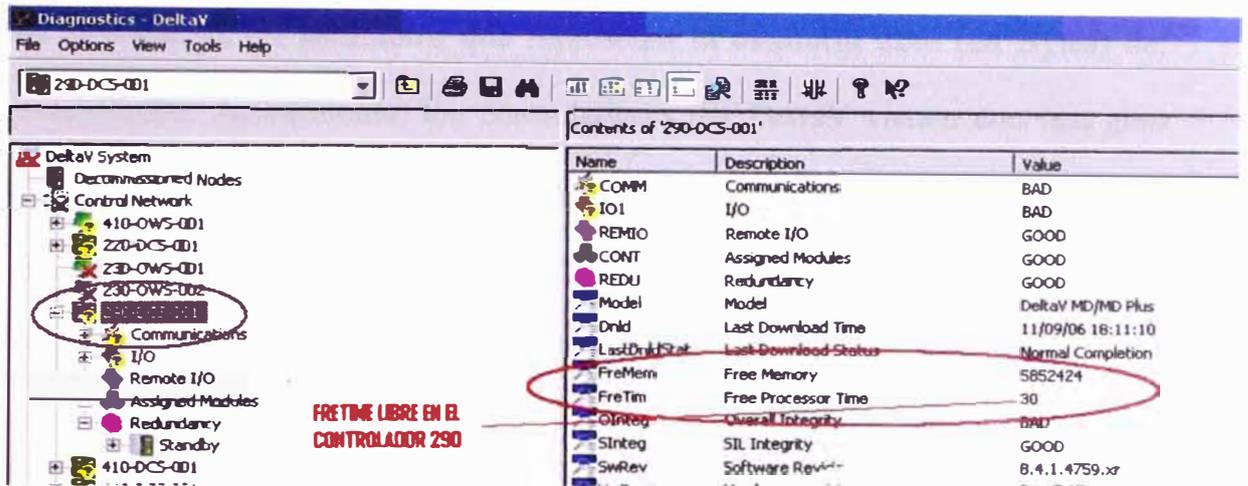


Figura 5.14. Parámetro FreTime de un Controlador DeltaV

5.8.2 Estimación del FreTime

No existe un método exacto para estimar este parámetro. Depende de muchos factores, como por ejemplo el número de bloques de función que tendrá un módulo de control, o el tipo de bloques de función que desee utilizar. Por ejemplo, un promedio estimado para 220 módulos de control con un scan rate de 100ms, obtendremos un valor de 12% del Freetime. Es recomendable realizar un buen criterio de selección del scan rate, este dependerá del tipo proceso que ejecutara el módulo de control. Por ejemplo si tenemos un módulo muestreando un valor de temperatura, es recomendable un scan rate con valores superiores a 5s. Para el caso de medición de presión, valores superiores a 500ms. Para el caso de actuadores o arrancadores debemos tener en cuenta el tiempo de respuesta de los equipos, principalmente si poseen sistemas mecánicos. Dependiendo del tiempo de respuesta en terreno, se puede seleccionar un scan rate adecuado.

Debemos procurar minimizar el uso de bloques de función tipo CALC, debido a su gran consumo en el FreTime.

El FreMem es un parámetro que representa la memoria libre (en Bytes) del Controlador. Actualmente, los controladores del DeltaV vienen con una gran capacidad de memoria. Hasta el momento no se ha presentado ningún inconveniente por este parámetro, pero se recomienda observarlo en el momento de la configuración del sistema.

CAPÍTULO 6

IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA PLANTWEB

6.1 ARQUITECTURA PLANTWEB

En el capítulo anterior, se diseñó la arquitectura DeltaV con Foundation Fieldbus para el proceso de Convertidores de la planta de Fundición, este diseño es la base para la implementación de la arquitectura de control digital PlantWeb. La planta tiene diferentes procesos de producción que denominaremos Área. Cada uno de las áreas tendrá un Controlador Redundante DeltaV y una estación de operación. En la sala de control principal de la planta tendremos diez estaciones de operación, cada una destinada a la supervisión y control de un Área de la planta (Cuadro 6.1). El diagrama esquemático de la arquitectura PlantWeb para la planta de Fundición se muestra en la Figura 6.1.

Para todas las estaciones esta habilitada la redundancia de la Red Control, las direcciones IP son asignadas por el sistema DeltaV.

Los procesos denominados como secundarios o equipos específicos suministrados por los vendedores, están controlados por PLCs. Estos equipos, estarán integrados al

PlantWeb mediante una estación de aplicación del DeltaV que funciona como Servidor OPC.

Se considera la integración del sistema de control distribuido Bailey de ABB a la arquitectura PlantWeb. A través de una estación de aplicación redundante del DeltaV se enlaza el anillo Bailey a la Red de Control PlantWeb.

Cuadro 6.1. Arquitectura para una Planta de Fundición de Cobre

Arquitectura PlantWeb para una Planta de Fundición de Cobre								
Nombre	Tipo	Descripción	IP CN Primaria	IP CN Secundaria	IP LAN	Nodo Redundante	CN Redundante	Cold Restart Time
220-DCS-001	Controlador	ISASmelt Feed Preparation	10.4.0.10	10.8.0.10		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
230-DCS-001	Controlador	ISASmelt Furnace	10.4.0.14	10.8.0.14		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
230-DCS-001B	Controlador	ISASmelt Furnace	10.4.0.18	10.8.0.18		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
230-DCS-002	Controlador	ISASmelt RHF's	10.4.0.22	10.8.0.22		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
230-DCS-003	Controlador	ISASmelt Auxiliares	10.4.0.26	10.8.0.26		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
290-DCS-001	Controlador	Convertidores Pierce Smith	10.4.0.30	10.8.0.30		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
290-DCS-001B	Controlador	Manejo de Gases de Convertidores	10.4.0.34	10.8.0.34		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
410-DCS-001	Controlador	Planta de Acido #2	10.4.0.38	10.8.0.38		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
420-DCS-001	Controlador	Planta de Despacho de Acido	10.4.0.42	10.8.0.42		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
440-DCS-001	Controlador	Planta de Oxigeno #2	10.4.0.46	10.8.0.46		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
460-DCS-001	Controlador	Planta de Efluentes #2	10.4.0.50	10.8.0.50		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
620-DCS-001	Controlador	Planta de Agua de Mar	10.4.0.54	10.8.0.54		Si	Si	1 Days 1 Hours 5 Minutes
230-OWS-001	Operator Station	RHF #1	10.4.0.58	10.8.0.58		No	Si	
230-OWS-002	Operator Station	RHF #2	10.4.0.62	10.8.0.62		No	Si	
290-OWS-001	Operator Station	Convertidores Pierce Smith	10.4.0.66	10.8.0.66		No	Si	
410-OWS-001	Operator Station	Planta de Acido #2	10.4.0.70	10.8.0.70		No	Si	
420-OWS-001	Operator Station	Planta de Despacho de Acido	10.4.0.74	10.8.0.74		No	Si	
440-OWS-001	Operator Station	Planta de Oxigeno #2	10.4.0.78	10.8.0.78		No	Si	
460-OWS-001	Operator Station	Planta de Efluentes #2	10.4.0.82	10.8.0.82		No	Si	
620-OWS-001	Operator Station	Planta de Agua de Mar	10.4.0.86	10.8.0.86		No	Si	
617-EWS-001	Professional Plus Station	Estacion de Ingenieria	10.4.0.6	10.8.0.6		No	Si	
617-EWS-002	Professional Station	Estacion de Ingenieria	10.4.0.130	10.8.0.130		No	Si	
617-EWS-003	Maintenance Station	Estacion de Mantenimiento	10.4.0.134	10.8.0.134		No	No	
617-OWS-001	Operator Station	ISASmelt Furnace	10.4.0.138	10.8.0.138		No	Si	
617-OWS-002	Operator Station	ISASmelt Furnace	10.4.0.142	10.8.0.142		No	Si	
617-OWS-003	Operator Station	WHB & Utilities	10.4.0.146	10.8.0.146		No	Si	
617-OWS-004	Operator Station	Utilities	10.4.0.150	10.8.0.150		No	Si	
617-OWS-005	Operator Station	Planta de Acido #1	10.4.0.154	10.8.0.154		No	Si	
617-OWS-006	Operator Station	Planta de Acido #2	10.4.0.158	10.8.0.158		No	Si	
617-OWS-007	Operator Station	Planta de Acido #2	10.4.0.162	10.8.0.162		No	Si	
617-OWS-008	Operator Station	Planta de Oxigeno #1	10.4.0.166	10.8.0.166		No	Si	
617-OWS-009	Operator Station	Planta de Oxigeno #2	10.4.0.170	10.8.0.170		No	Si	
617-OWS-010	Operator Station	Super Calentador	10.4.0.174	10.8.0.174		No	Si	
617-SER-001	Application Station	PLC's OPC Server	10.4.0.178	10.8.0.178	192.168.1.30	No	Si	
617-SER-002	Application Station	Bailey Interface	10.4.0.182	10.8.0.182		Si	Si	
617-SER-003	Application Station	Historian Server	10.4.0.186	10.8.0.186	192.168.1.35	No	Si	
617-MWS-001	Application Station	AMS Intelligent Device Manager	10.8.0.190	10.8.0.190	192.168.1.40	No	Si	
617-MWS-002	AMS Suite	AMS Machinery Manager			192.168.1.45	No	Si	
617-MWS-003	AMS Suite	AMS Asset Portal			192.169.1.50	No	Si	
617-GWS-001	Factory Suite	InSQL Server			192.169.1.55	No	Si	
617-GWS-002	Kriter Software	ERP			192.168.1.60	No	Si	

Se cuenta con tres estaciones para la gestión de activos: AMS Intelligent Device Manager para la gestión de mantenimiento de instrumentación y actuadores de la planta, AMS Machinery Health Manager para la gestión de mantenimiento de maquinaria y equipos críticos y el AMS Asset Portal como plataforma de integración y gestión de activos de la Fundición.

La plataforma para la gestión de la información que se utilizaba antes de la implementación del PlantWeb, es considerada dentro de nuestra arquitectura. Se implementa un sistema de planificación de los recursos empresariales del Proceso Productivo de toda la Planta de Fundición. Un ERP como parte de la Arquitectura de Control Digital PlantWeb.

6.2 RED DE CONTROL

6.2.1 Estación de Ingeniería

DeltaV como parte de la Arquitectura PlantWeb cuenta con dos tipos de estaciones de Ingeniería: la ProfessionalPlus y la Profesional. La ProfessionalPlus contiene las licencias a nivel de todo el sistema DeltaV. Es la estación de trabajo que contiene la base de datos activa del DeltaV que controla toda la información. Se puede usar para configurar, operar y diagnosticar el sistema. Cada sistema DeltaV tendrá una sola ProfesionalPlus. 617-EWS-001 es la estación ProfessionalPlus para la planta de Fundición.

La Professional se puede usar para configurar, operar y diagnosticar el sistema. 617-EWS-002 es la estación Professional para la planta de Fundición (Cuadro 6.1).

6.2.2 Estación de Operador

Generalmente se usa para monitorear y manipular el proceso usando la Interfaz de Operador del DeltaV. Cada estación puede estar destinada a controlar una o varias Áreas, esto dependerá de los privilegios que le asigne el administrador del sistema. Desde esta estación, el operador puede **administrar**, visualizar y reconocer las alarmas configuradas en el sistema, alarmas generadas por los instrumentos Fieldbus y las alarmas de generadas por los equipos críticos de la Planta. A este conjunto de alarmas se le conoce como Alarmas-PlantWeb. El Proceso de Fundición de Cobre tendrá 18 Estaciones de Operación, 8 son estaciones locales para procesos específicos y 10 estaciones de operación en la sala de control principal de la planta.

6.2.3 Estación de Históricos

Es la estación dedicada al almacenamiento, diagnóstico y administración de toda la información de campo. La data es recolectada de los instrumentos y equipos, conectados a un controlador o una estación de trabajo. La estación de históricos se encuentra instalada en una Estación de Aplicación DeltaV. En general, una Estación de Aplicación se usa para la colección de información y para la distribución fuera de la red de control. No se usa para configuración u operaciones.

Para la Arquitectura PlantWeb del Cuadro 6.1, 617-SER-003 se usa como la estación de históricos. Además, cumple con la función de enviar información a la estación de InSQL-Factory Suite 617-GWS-001, encargada de gestionar la información de la planta de Fundición.

6.2.4 Estación de Bailey

617-SER-002 es la Estación de Aplicación DeltaV, encargada de la conectividad entre el sistema de control distribuido Bailey y la Arquitectura PlantWeb de la Fundición. La comunicación entre la estación Bailey y el DCS Bailey se realiza a través de tarjetas SCSII. Todas las pantallas del DCS Bailey son migradas al sistema DeltaV. El operador PlantWeb, será capaz de monitorear, supervisar y administrar alarmas de los procesos controlados por el DCS Bailey. Es importante aclarar que la instrumentación y las lógicas de control, seguirá siendo controlado por Bailey. La estación de Bailey cuenta con redundancia de estación.

PlantWeb a través de DeltaV, presenta una gran alternativa para la interoperabilidad con los principales sistemas de control distribuidos del mercado.

6.2.5 Estación de OPC

La conectividad entre el sistema de PLCs de la planta y el PlantWeb de la Fundición, se realiza con la estación 617-SER-001. La estación de OPC, se comunica con los PLCs (Controlador Lógico Programable) a través del protocolo Ethernet TCP/IP, realizando peticiones de información. Luego, la

estación se encarga de distribuir dicha información a la Red de Control PlantWeb. La comunicación entre el software de PLCs y el sistema DeltaV, se realiza con el protocolo OPC (Ole Process Control). La estación cuenta con redundancia de estación.

6.3 SEGURIDAD DEL SISTEMA

6.3.1 Redundancia de Controlador

El sistema DeltaV soporta la redundancia de controlador. El montaje del controlador redundante se realiza en carrier de dos posiciones y necesita de una fuente de alimentación DeltaV independiente (Figura 6.2). Ambos controladores deberán ser del mismo modelo. El controlador Activo es el encargado de ejecutar las lógicas de control, mientras que el controlador en Standby (controlador redundante) tendrá la misma lógicas de control del controlador Activo pero no ejecutará control. Las descargas o modificaciones se realizan sobre el controlador Activo. Cada vez que se realiza una modificación en la configuración, la estación ProfessionalPlus sincronizara al controlador en Standby.

Cuando existe una falla por pérdida de energía del controlador activo, falla en el hardware del controlador activo, perdida de la comunicación entre el controlador activo y las tarjetas de entrada y salida del sistema, pérdida de la comunicación en la conexión a la red control primaria y secundaria, desmontaje del controlador activo, se producirá un SwitchOver. Un SwitchOver es el proceso cuando el controlador en Standby toma el control y

se vuelve el controlador Activo del sistema. El SwitchOver tiene una duración de milisegundos, el proceso de la planta continuara operando sin ningún problema y no se provocará una parada de planta. Hay ciertas consideraciones de configuración que se deberán tener en cuenta para lograr un buen éxito del SwitchOver.



Figura 6.2. Redundancia de Controladores DeltaV

6.3.2 Redundancia de Estación

El sistema DeltaV soporta redundancia a nivel de estaciones de trabajo. La redundancia aplica para una estación de tipo Aplicación y a una ProfessionalPlus.

Para Arquitectura PlantWeb de la Figura 6.1, las estaciones de Bailey y OPC poseen redundancia. La estación Bailey tiene dos CPU, una trabaja como estación Activa y la otra como StandBy. Si la estación Activa presenta fallas,

automáticamente se producirá un SwitchOver. Cada estación tiene su respectiva tarjeta SCSI para comunicarse con el anillo Bailey (Figura 6.3).

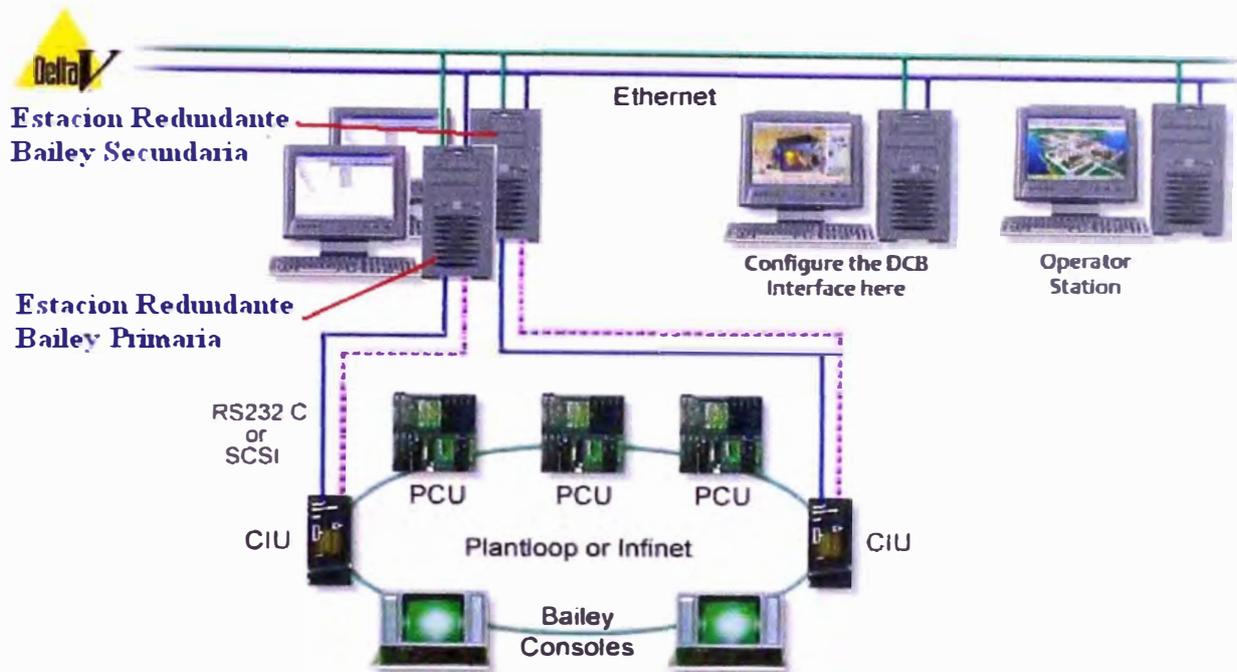


Figure 6.3. Diagrama de Conexión de Sistema Bailey con el Sistema DeltaV

6.3.3 Redundancia de Comunicación

Todos los nodos de la Arquitectura PlantWeb tienen redundancia en comunicaciones. La Red de Control Primaria tendrá la dirección IP 10.4.0.X y la Red de Control Secundaria tendrá la dirección IP 10.8.0.X, donde X puede ser desde 10 hasta 254. La ProfessionalPlus será la encargada de proporcionar las direcciones IP de los nodos. Si una de las dos redes de un nodo falla, automáticamente la red control en buena calidad pasara a administrar la comunicación de la red de control en falla.

Las estaciones que pueden acceder a la Red LAN administrativa de la planta son la ProfessionalPlus y la Application.

6.3.4 Cold Restart Time

En caso que ocurra una falla de alimentación en el sistema, el controlador es capaz de recuperar la configuración desde una memoria no volátil.

La cantidad de tiempo se establece en tres categorías: cualquier combinación de *Días* (0 a 30 máximos), *Horas* (0 a 23 máximos) o *Minutos* (0 a 59 máximos). Los procedimientos de comisionamiento y de descarga se ejecutarán si la alimentación regresa al controlador en un tiempo menor o igual al tiempo de cold restart. Un ajuste de 0 inhabilita la función Cold Restart.

Además, se recomienda instalar una UPS entre la distribución de CA (origen) y la Fuente de Alimentación del Sistema para el controlador para garantizar que el controlador operará durante interrupciones cortas de alimentación de la planta.

6.4 INTERFACES DE OPERACIÓN

6.4.1 Pantallas

La herramienta para la configuración, visualización y operación de pantallas del proceso es el DeltaV Operate. Desde DeltaV Operate el operador de planta tendrá acceso a las herramientas de la Arquitectura PlantWeb. Tiene una barra de de Alarmas donde aparecerán las últimas cinco alarmas que ocurren en el proceso, según la criticidad de la alarma. El color rojo indica una alarma de

tipo Crítica y el color amarillo indica una alarma de tipo Advertencia (Figura 6.4).

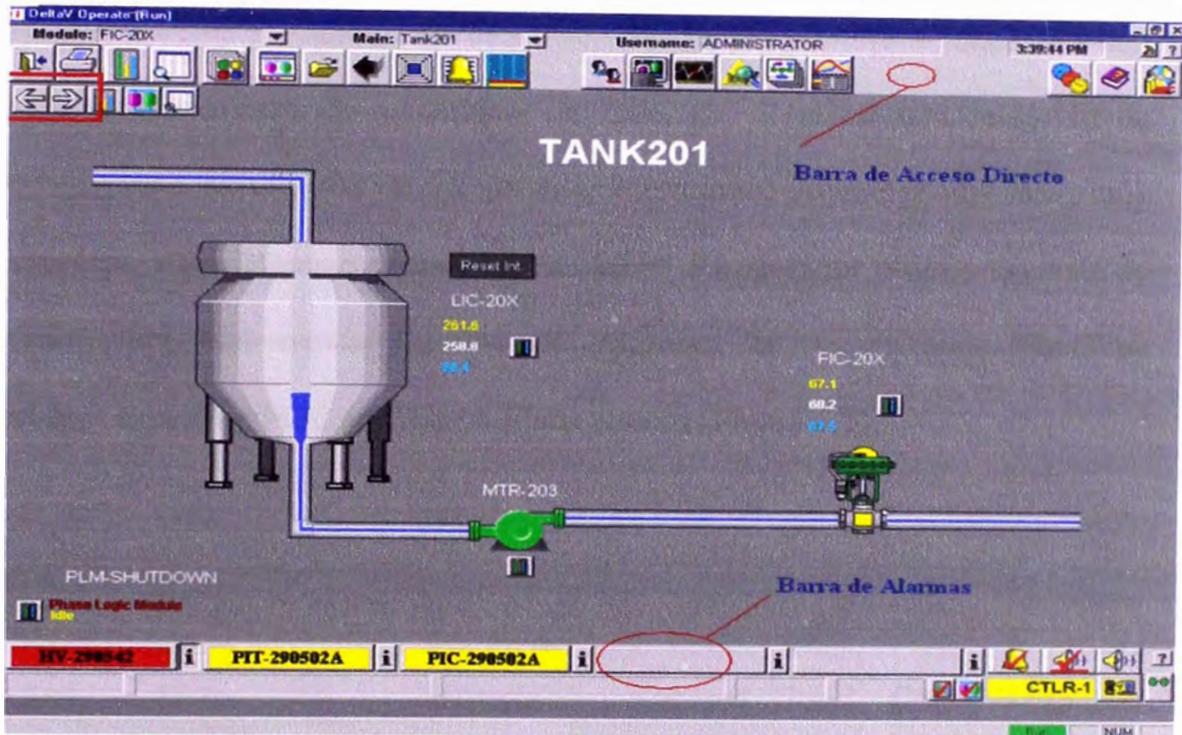


Figure 6.4. Componentes Típicos de una Pantalla de Operación DeltaV

Las alarmas pueden ser generadas directamente desde un instrumento fieldbus (Alarmas PlantWeb), o pueden ser generadas por el controlador (alarmas configuradas por el usuario). En la Figura 6.4 se muestra la alarma de tipo advertencia generada por PIT-290502 (señal fuera de rango por ejemplo), mientras que HV-290542 es una alarma de tipo crítica generada por el controlador (Válvula en posición de cierre por ejemplo). La operación y control que pueda realizar un operador, dependerá de los privilegios que le asigne el administrador del sistema.

6.4.2 La Herramienta para la Gestión de Alarmas

En una planta de Fundición de Cobre se tiene cerca de 1500 Alarmas: alarmas de variables en alto o bajo valor de proceso, alarmas por señales en mala calidad, alarmas por parada de motores, alarmas por comunicaciones, alarmas de proceso, alarmas de actuadores en falla, etc. Realizar una selección de alarmas mas importantes en un instante determinado se vuelve una tarea muy compleja, especialmente cuando es una labor del operador o del procesista de turno. Para una rápida Gestión de Alarmas, la Arquitectura PlantWeb proporciona la herramienta Alarm Management (Figura 6.5).

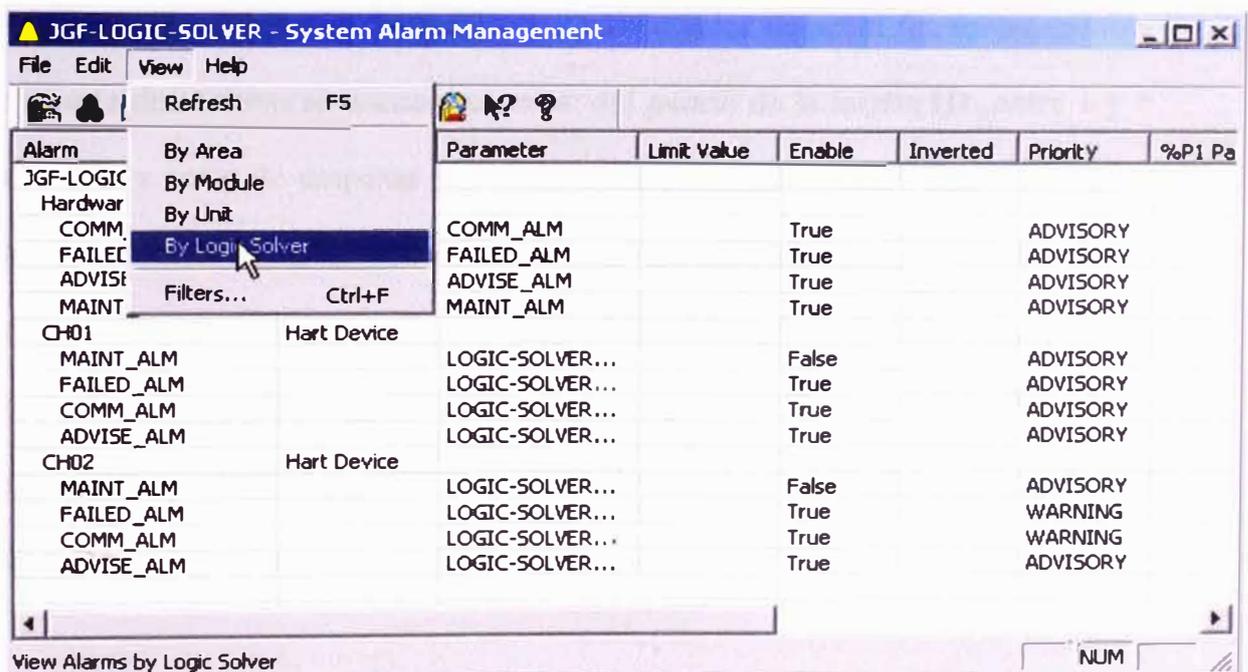


Figura 6.5. Pantalla para la Gestión de Alarmas

Esta herramienta nos permite visualizar las alarmas que vienen configuradas por el sistema y las alarmas configuradas por el usuario. Podemos ordenar las

alarmas según el área del proceso, según su criticidad, según el tipo de parámetro etc. Además, se puede realizar cambios en los límites del valor de la alarma, habilitar o deshabilitar una alarma, cambiar su tipo criticidad, etc. El operador puede realizar un reporte del estado de configuración actual de Alarmas. Una buena administración del manejo de alarmas nos evita tener paradas de planta continuas o innecesarias.

6.5 INSTRUMENTACIÓN FOUNDATION FIELDBUS

6.5.1 Certificación del Segmento

Una vez terminado con el montaje de los dispositivos fieldbus y el cableado de campo, hasta la entrada de nuestro acondicionador de señal (es recomendable que este dispositivo se encuentre cerca del puerto de la tarjeta H1, entre 1 y 4 metros), y antes de empezar con el comisionamiento de dispositivos fieldbus, se deberá realizar la certificación del segmento fieldbus. Este procedimiento consiste en verificar los parámetros eléctricos y resistivos de nuestro segmento, con el objetivo de asegurar el buen desempeño de las comunicaciones del segmento fieldbus durante el funcionamiento de la planta. En el anexo 6.1 se encuentra el protocolo de pruebas establecido por la Fundación Fieldbus.

6.5.2 Comisionamiento

El proceso de reconocer a un dispositivo de campo como parte de un segmento en la configuración de la tarjeta H1, se le denomina comisionamiento. La tarjeta H1 asigna al dispositivo Fieldbus una dirección entre 20 y 35. Cuando

un dispositivo se encuentra en estado de OffLine o en Spare, el equipo se encontrara decomisionado (Figura 6.6).

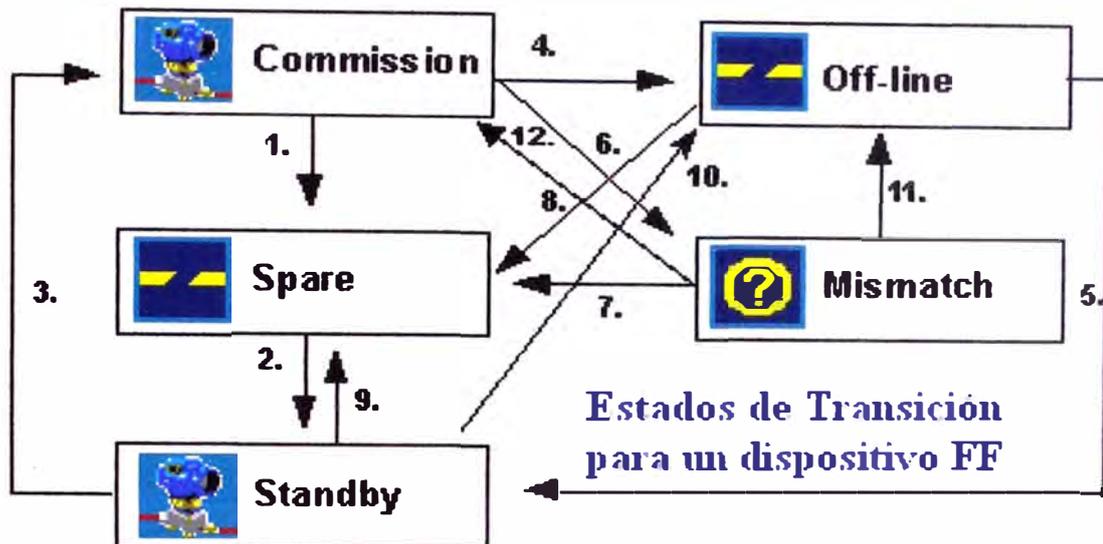


Figura 6.6. Estados de Transición de un dispositivo Foundation Fieldbus

Usamos el estado Offline cuando deseamos realizar mantenimiento o una calibración de un dispositivo fieldbus. En Offline el dispositivo no pierde la dirección. Cuando desconectamos y volvemos a conectar después de haber realizado el mantenimiento respectivo, el equipo fieldbus automáticamente pasará al modo Standby, y volvemos a comisionarlo sobre la misma posición en la tarjeta H1.

Usamos el estado Spare cuando deseamos liberar la dirección en el dispositivo y en la base de datos del DeltaV. El dispositivo fieldbus perderá su Tag y tomará el nombre de fábrica.

6.5.3 Configuración de Alarmas PlantWeb

Una de las ventajas de implementar una Arquitectura de Control Digital PlantWeb, es la capacidad de los dispositivos de campo Fieldbus y HART en realizar autodiagnóstico. El dispositivo envía mensajes de alarmas a una estación de operador referente a su funcionamiento. Pero es necesario habilitar esta opción, desde la configuración del sistema (Figura 6.7).

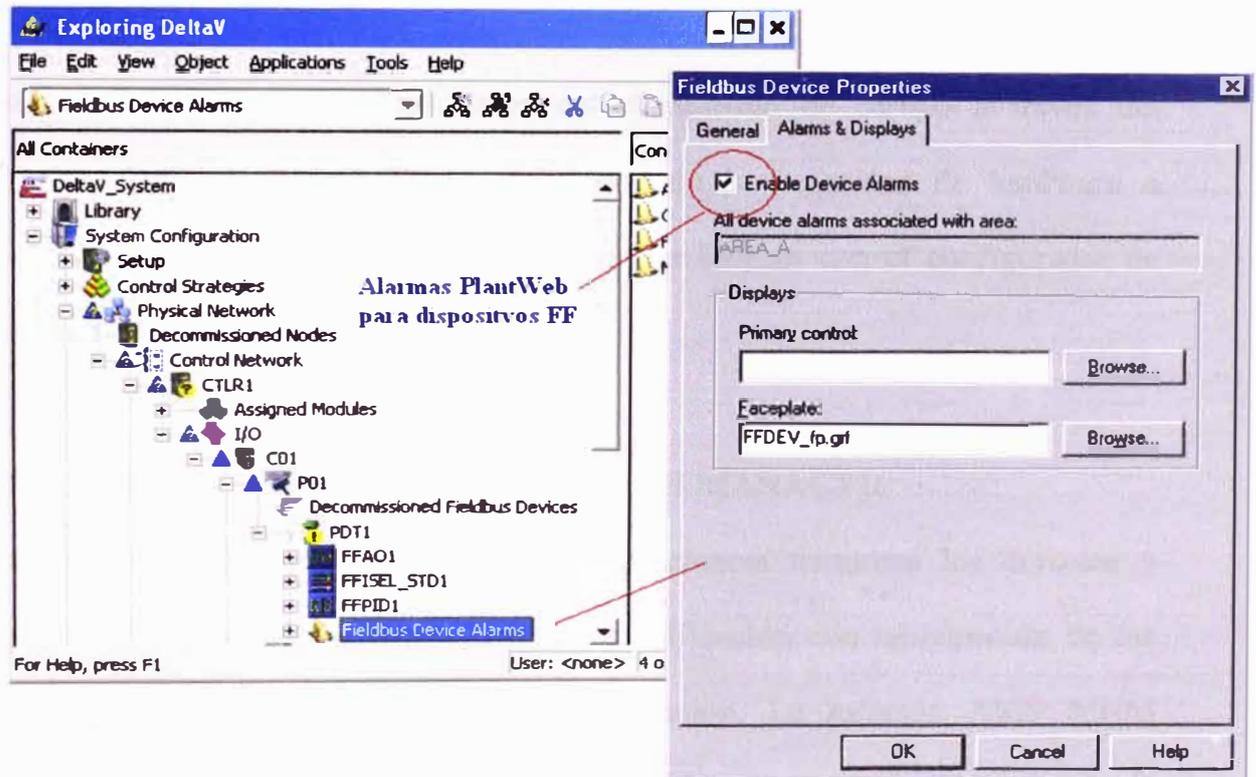


Figura 6.7. Habilitación de Alarmas para un instrumento Foundation Fieldbus

6.6 ESTACIÓN AMS INTELLIGENT DEVICE MANAGER

La estación 617-MWS-001 es una Application dentro de la Arquitectura PlantWeb, tiene como función el diagnóstico predictivo, documentación de tareas de

mantenimiento, configuración y calibración remota de los instrumentos y válvulas de la planta de Fundición. Esta estación se le conoce como AMS Intelligent Device Manager.

Es recomendable que la estación se implemente en la planta, desde la etapa de comisionamiento de los dispositivos de campo, con el objetivo de minimizar costos y llevar un control de la vida útil de los instrumentos y válvulas.

El sistema DeltaV transfiere los datos del dispositivo de campo a través del controlador al sistema AMS Device Manager sin la necesidad de hardware o cableado adicionales. El AMS Device Manager se integra con el configurador de campo 375 de Emerson.

6.7 ESTACIÓN AMS MACHINERY HEALTH MANAGER

617-MWS-002 tiene como función advertir de manera temprana los defectos y problemas en la maquinaria, permitiendo la planificación con anticipación de las tareas de mantenimiento y optimizar la producción. La estación AMS MHM transfiere información a la estación AMS Device Manager a través del protocolo de comunicación OPC y el lenguaje XML. Esto se realiza con el objetivo de que todas las estaciones de la red de control DeltaV estén pendientes de alguna alarma que detecte el MHM. El operador estará informado de los defectos y problemas de los equipos mecánicos a través de las Alarmas PlantWeb.

Para el monitoreo de condiciones es recomendable utilizar el CSI 4500, es un dispositivo que trabaja con el MHM y la comunicación se realiza con el protocolo Ethernet TCP/IP (Figura 6.8).

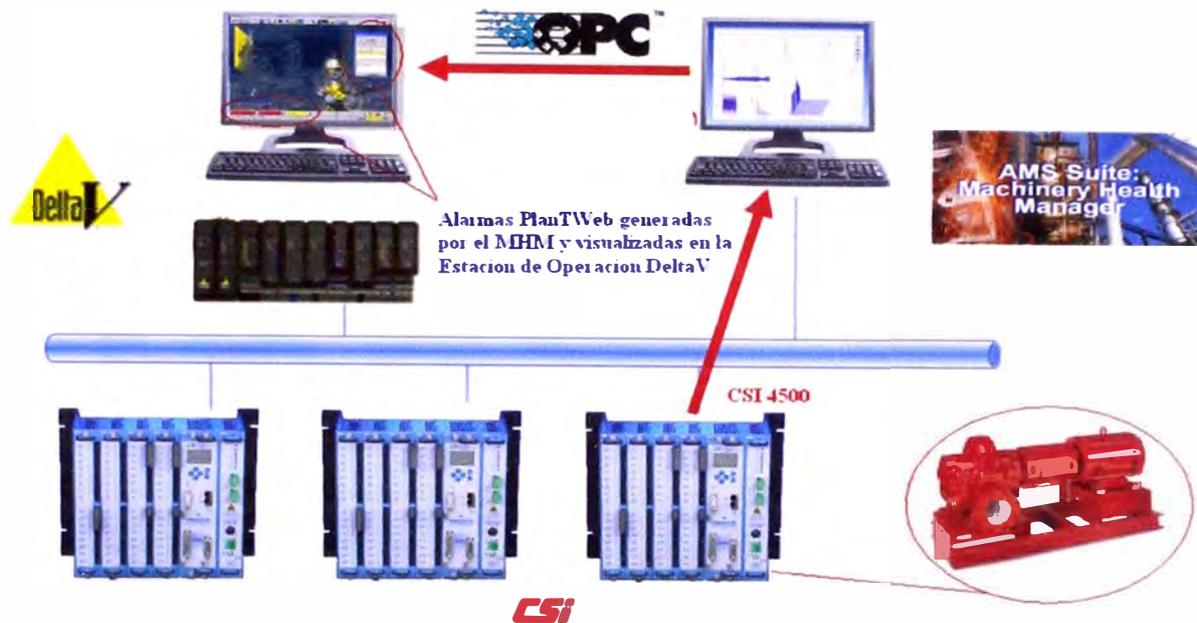


Figura 6.8. Conectividad entre el AMS MHM y el DeltaV

6.8 ESTACIÓN AMS ASSET PORTAL

La estación AMS Asset Portal tendrá la función de integrar la información generada por las estaciones IDM y MHM de la Fundición. La comunicación se establece por el protocolo OPC y el lenguaje XML. La 617-MWS-003 pone a disposición esta información a través de la Intranet de la Planta.

Proporcionará la información y las herramientas esenciales que necesitan los ingenieros de confiabilidad, líderes de mantenimiento y la gerencia de la planta de Fundición de Cobre para mejorar la disponibilidad y el rendimiento de los activos y

de los procesos. La estación se comporta como un servidor de datos, donde se puede tener varios clientes solicitando información a través de una página web (Figura 6.9).

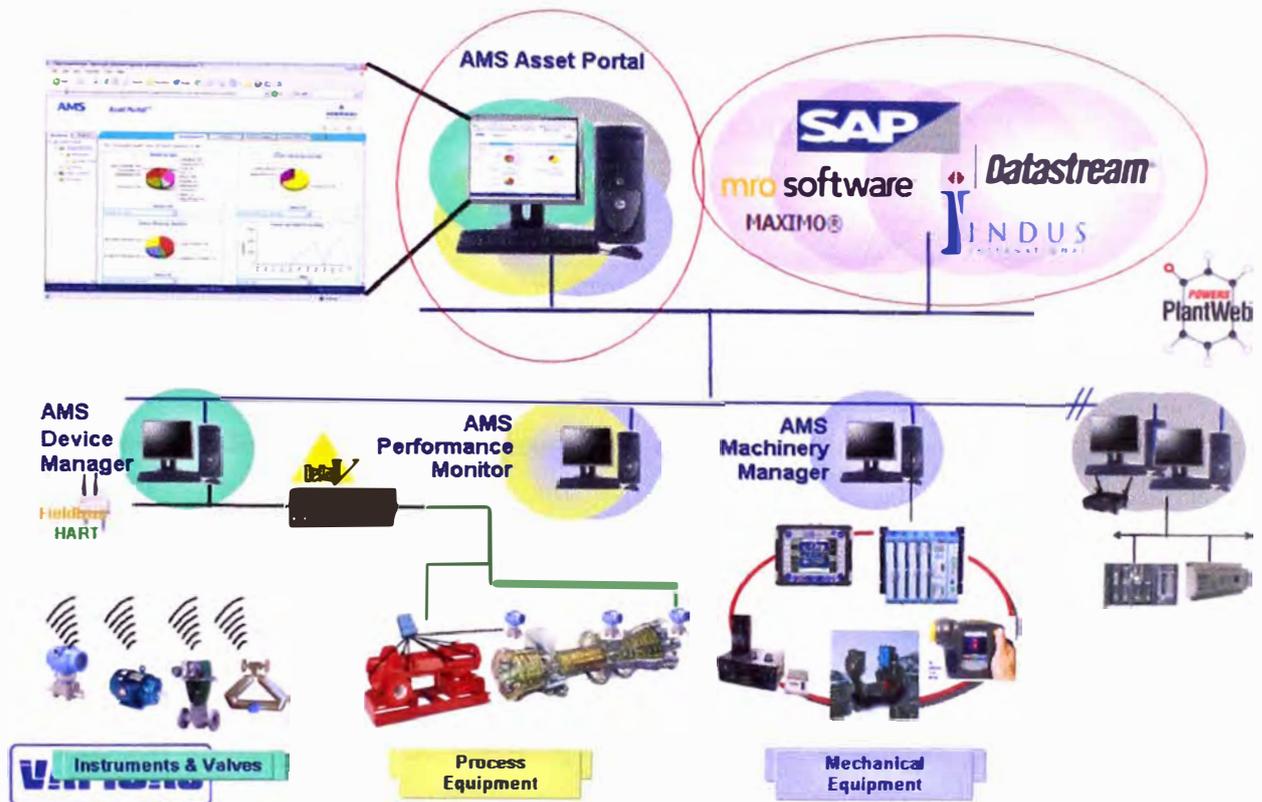


Figura 6.9. Sistema de Gestión Activos Asset Portal

CAPÍTULO 7

PROPUESTA ECONÓMICA

7.1 LISTA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

Para la arquitectura de automatización propuesta en el capítulo 5, la lista equipos y servicios se divide en los siguientes grupos:

- a. **Instrumentación de Campo**, en este grupo estarán las válvulas, los transmisores de presión, flujo y temperatura. Todos los instrumentos vienen con el protocolo Foundation Fieldbus. No se contempla el costo de Dampers o accesorios mecánicos.
- b. **Cableado de Campo**, en este grupo estará el cableado de campo que cumple con las especificaciones IEC 61158-2, las cajas de empalme localizadas en campo, conectores rápidos para instalación de cableado fieldbus.
- c. **Equipos DeltaV**, en este grupo estarán los procesadores, tarjetas de entrada y salida, tarjeta de comunicaciones y los carriers para montaje de tarjetas.
- d. **Gabinete DeltaV**, en este grupo encontraremos el gabinete donde se montara los equipos DeltaV, las fuentes de alimentación, los acondicionadores de señal para los segmentos fieldbus, borneras frontera para la conexión del cableado de campo y circuit breakers.

- e. Estaciones de Operación, en este grupo estará una estación de ingeniería, una estación de operador, una estación de históricos y las licencias de software.
- f. Estaciones de Mantenimiento, en este grupo estará una estación servidor de AMS Device Manager, una estación cliente AMS Device Manager y las licencias de software.
- g. Conectividad a un ERP, en este grupo se considera una estación Asset Portal y la aplicación para conectividad a un ERP (esta costo varia dependiendo del ERP que utilicemos en la planta).

7.2 CRONOGRAMA DE LA IMPLEMENTACIÓN

La implementación del proyecto se muestra en el Anexo 3.

La ejecución del proyecto se divide en siete etapas:

Cuadro 7.1. Etapas para la implementación de una Arquitectura PlantWeb

Item	Etapa	Fecha Inicio	Fecha Final
1	Inicio del Proyecto	15-04	21-04
2	Procura de Equipos y Accesorios	16-04	15-07
3	Ingeniería de Detalle	22-04	07-07
4	Integración de Gabinetes	26-05	14-07
5	Configuración y Ejecución de Pruebas	25-05	28-08
6	Embalaje y traslado de gabinetes	20-08	05-09
7	Puesta en Marcha	21-07	07-11

La duración de la implementación es de 148 días.

Los hitos del proyecto son:

Cuadro 7.2 Hitos para la implementación de una Arquitectura PlantWeb

Hito	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final
3	Recepción de Orden de Compra	15-04	15-04
5	Procura de Equipos y Accesorios	16-04	15-07
46	Integración de Gabinetes	26-05	06-06
69	Traslado de Gabinetes a planta	22-07	31-07
72	Montaje de Instrumentos y Gabinetes	21-07	14-08
91	Puesta en Marcha	11-09	22-09

7.3 RECURSOS HUMANOS

El Organigrama para la implementación del Proyecto se muestra en el Anexo

4. La cantidad de personas que participaran en cada etapa se muestra a continuación:

Cuadro 7.3. Recursos humanos para la implementación de una Arquitectura PlantaWeb

Item	Etapa	Fecha Inicio	Fecha Final	Cantidad de Personas
1	Inicio del Proyecto	15-04	21-04	5
2	Procura de Equipos y Accesorios	16-04	15-07	2
3	Ingeniería de Detalle	15-04	07-07	4
4	Integración de Gabinetes	26-05	06-06	4
5	Configuración y Ejecución de Pruebas	19-05	19-07	6
6	Embalaje y traslado de gabinetes	21-07	31-07	4
7	Puesta en Marcha	21-07	22-09	20

7.4 COSTOS ESTIMADOS

Primero realizaremos el costeo global del proyecto para luego realizar una comparación con los costos de implementar un proyecto con una arquitectura tradicional de 4-20 mA.

7.4.1 Costos del Proyecto

De la lista de equipos y accesorios, cronograma y recursos humanos del proyecto procedemos a realizar una estimación de costos.

Cuadro 7.4. Estimación de Costos para la implementación de una Arquitectura PlantWeb

Item	Descripción	Costos US\$
	Arquitectura de Control Digital	580,960.00
1	Lista de Equipos y Accesorios	428,600.00
1.1	Instrumentación de Campo con Fieldbus	240,000.00
1.2	Cableado de campo	33,600.00
1.3	Equipos DeltaV	35,000.00
1.4	Gabinete DeltaV	20,000.00
1.5	Estaciones de Operación	27,000.00
1.6	Estaciones de Mantenimiento	18,000.00
1.7	Conectividad ERP	55,000.00
2	Implementación del Proyecto	122,360.00
2.1	Inicio del Proyecto	480.00
2.2	Procura de Equipos y Accesorios	500.00
2.3	Ingeniería de Detalle	30,000.00
2.4	Integración de Gabinetes	5,600.00
2.5	Configuración y Ejecución de Pruebas	10,280.00
2.6	Embalaje y Traslado de Gabinetes	500.00
2.7	Puesta en Marcha	75,000.00
3	Gastos Operativos	30,000.00

Para la estimación de costos se considera 30 instrumentos, distribuidos en 3 segmentos con 10 instrumentos por segmento.

Ahora mostraremos la comparación de costos del cuadro 7.5, con una arquitectura tradicional. En el control tradicional no se estima la implementación de un software de gestión de activos para instrumentos y válvulas.

Cuadro 7.5. Comparación de Costos para la implementación de una Arquitectura PlantWeb y una Arquitectura Tradicional

Item	Descripción	Control Digital	Control Tradicional
		Costos US\$	Costos US\$
1	Lista de Equipos y Accesorios	433,600.00	274,000.00
1.1	Instrumentación de Campo	240,000.00	150,000.00
1.2	Cableado de campo	33,600.00	48,000.00
1.3	Controlador y Tarjetas IO	40,000.00	35,000.00
1.4	Gabinete para Controlador	20,000.00	26,000.00
1.5	Estaciones de Operación	27,000.00	15,000.00
1.6	Estaciones de Mantenimiento	18,000.00	0.00
1.7	Conectividad ERP	55,000.00	0.00
2	Implementación del Proyecto	122,360.00	130,424.00
2.1	Inicio del Proyecto	480.00	480.00
2.2	Procura de Equipos y Accesorios	500.00	500.00
2.3	Ingeniería de Detalle	30,000.00	24,000.00
2.4	Integración de Gabinetes	5,600.00	6,720.00
2.5	Configuración y Ejecución de Pruebas	10,280.00	8,224.00
2.6	Embalaje y Traslado de Gabinetes	500.00	500.00
2.7	Puesta en Marcha	75,000.00	90,000.00
3	Gastos Operativos	30,000.00	39,000.00
	Total	585,960.00	443,424.00

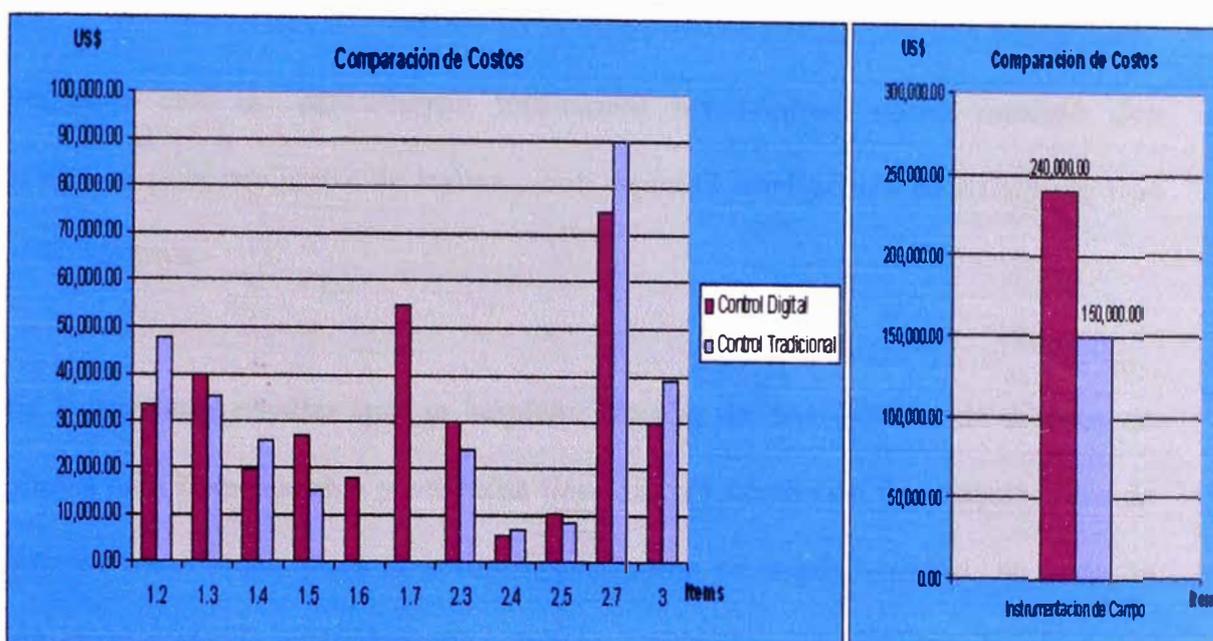


Figura 7.1. Comparación de Costos para la implementación de una Arquitectura PlantWeb y una Arquitectura Tradicional

Del cuadro 7.5 vemos que el costo de implementar una arquitectura de control tradicional equivale a un 25% menos que el implementar una arquitectura de control digital. La variación de costos es notoria en la compra de instrumentación de campo, existe un margen del 38% entre ambas arquitecturas. Una de las ventajas económicas del control digital con Fieldbus es en el cableado de campo. A pesar que en el costo del cableado Fieldbus incluimos las cajas de empalme, la diferencia es del 43% menos que implementar una arquitectura de control digital. Esto se debe a que existe una mayor cantidad de cableado.

Al ser una arquitectura de control digital y trabajar con instrumentos inteligentes los tiempos de la puesta en marcha se reducen en un 25%, debido a

que existe una reducción notable en la etapa de comisionamiento y calibración. Mientras con un instrumento tradicional necesitamos como mínimo dos personas para realizar este trabajo, con equipos inteligentes es suficiente una sola persona.

Es importante resaltar que la implementación de una gestión de activos de planta para instrumentos y válvulas tiene mayor costo con una arquitectura de control tradicional, pues si a futuro pensamos en implementarlo, se necesita incluir el costo de multiplexores e instalación de los mismos, para recolectar la información de los instrumentos y llevar la información hasta el software de gestión. A través de la Arquitectura de Control Digital PlantWeb, la información viaja desde el instrumento de campo utilizando las tarjetas de IO del sistema de control DeltaV y llevándola hasta el software de Gestión de Activos AMS Device Manager.

7.4.2 Evaluación de Costos

En la figura 7.2 se muestra los problemas típicos que influyen directamente en los costos de mantenimiento de una planta de procesos, donde los *chequeos de rutina* y los problemas donde *no existe ningún problema* equivalen al 63% del total de los costos de mantenimiento.

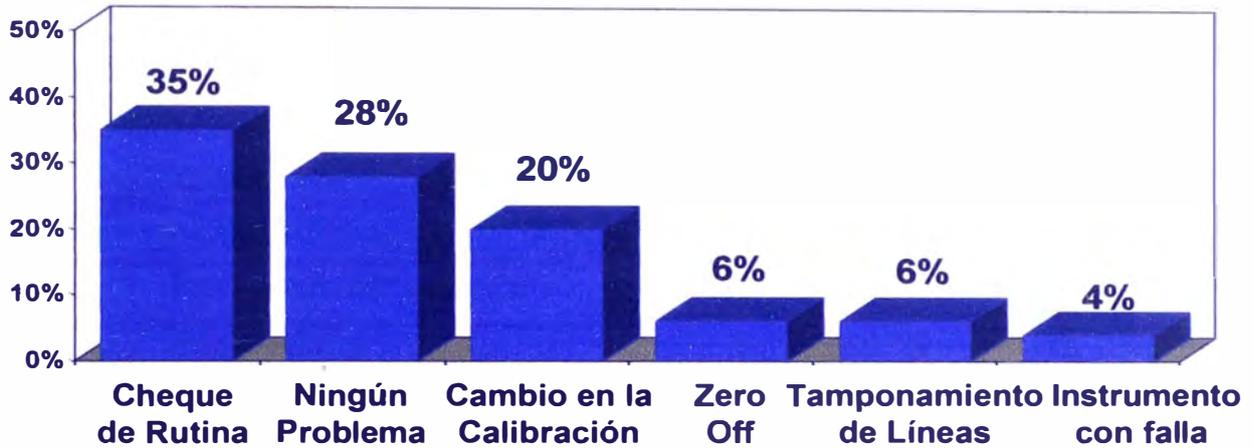


Figura 7.2. Problemas Típicos que influyen en los costos de mantenimiento de una planta

Presentamos el siguiente cuadro donde muestra la producción y costos de una planta de fundición de cobre (estos datos fueron recolectados el 28-04-08 de la Bolsa de Metales de Londres)

Cuadro 7.6. Producción Anual de una Planta de Fundición de Cobre

Item	Descripción	Monto	Unidades
1	Producción Anual de Cu	314,000.00	Toneladas
2	Costo del Cu	8,600.00	US\$/Tonelada
3	Producción Anual de Cu	2,700.00	MillonsUS\$
4	Producción Mensual de Cu	225.00	MillonsUS\$
5	Producción Diaria de Cu	8.00	MillonsUS\$
6	Gasto Operativo Anual de la Planta	675.00	MillonsUS\$
7	Costo por Mantenimiento Anual de la Planta	405.00	MillonsUS\$
8	Costo Anual de Personal de Mantenimiento por Chequeos de Rutina	201.60	MilsUS\$
9	Costo Anual de Personal de Mantenimiento por Ningún Problema	168.00	MilsUS\$
10	Costo Mensual de Personal de Mantenimiento por Chequeos de Rutina	16.80	MilsUS\$
11	Costo Mensual de Personal de Mantenimiento por Ningún Problema	14.00	MilsUS\$
12	Diferencia de Costos entre Control Digit. y Control Tradi. (Cuadro 7.6)	142.54	MilsUS\$
13	Reducción de Costos con PlantWeb al	15	%

El costo de mantenimiento anual en una Planta de Fundición de Cobre por *Cheques de Rutina* y por *Ningún Problema* es aproximadamente de US\$369,000.00. Esta cantidad implica que existe Personal de Mantenimiento realizando labores que no son necesarias y aumenta la probabilidad de riesgo del personal de la planta.

Tomare como ejemplo solo este pequeño monto, para realizar una evaluación del retorno de inversión (ROI) para la diferencia de implementar un Proyecto de con Arquitectura Digital de Planta PlantWeb y una Arquitectura Tradicional.

En la evaluación considero que existe un tiempo de aprendizaje y adaptación en los 3 primeros meses de implementado el PlantWeb. Desde el cuarto mes, presenta una reducción de 1 % sobre el costo mensual de mantenimiento (solo para los problemas mencionados). En el onceavo mes presenta una reducción del 15% y se mantiene constante. El tiempo de retorno es de 1 año y 4 meses de implementado el PlantWeb en la planta (Figura 7.3).

Es importante resaltar el costo que implica una parada de planta desde el punto de vista de producción. Del cuadro 7.6 vemos que un día de producción para una planta de fundición de cobre es de *8 millones de dólares* más los costos de mantenimiento asociados.

Con la Arquitectura de Control Digital es posible predecir una falla de un equipo o proceso que implique la parada parcial o total de planta. Los instrumentos inteligentes Fieldbus reportan sus fallas al Operador o al Supervisor de Mantenimiento con anticipación, para proceder a tomar la acción respectiva.

Evitar una parada de planta justifica tremendamente la diferencia de implementar un control digital (Figura 7.4).

1000US\$																	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Acumulado		-173.34	-204.14	-234.94	-265.74	-296.23	-323.84	-347.36	-366.46	-377.85	-375.38	-354.44	-307.32	-234.01	-134.53	-8.86	142.98
Implementación del Proyecto																	
Diferencia de Costos de Arquitecturas	-142.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Egresos Mantenimiento																	
Chequeo de Rutina Annual	-16.8	-16.8	-16.8	-16.8	-16.632	-14.952	-12.936	-10.416	-6.216	1.344	11.424	25.704	39.984	54.264	68.544	82.824	97.104
Ningun Problema	-14	-14	-14	-14	-13.86	-12.46	-10.78	-8.68	-5.18	1.12	9.52	21.42	33.32	45.22	57.12	69.02	80.92
Costos Mensuales	-30.8	-30.8	-30.8	-30.8	-30.492	-27.412	-23.716	-19.096	-11.396	2.464	20.944	47.124	73.304	99.484	125.664	151.844	178.024
Ingresos por PlantWeb																	
Chequeo de Rutina Annual	0	0	0	0.168	1.68	2.018	2.52	4.2	7.56	10.08	14.28	14.28	14.28	14.28	14.28	14.28	14.28
Ningun Problema	0	0	0	0.14	1.4	1.68	2.1	3.5	6.3	8.4	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
Reducción Mensual PlantWeb	0	0	0	0.308	3.08	3.696	4.62	7.7	13.86	18.48	26.18	26.18	26.18	26.18	26.18	26.18	26.18
ROI	-173.34	-204.14	-234.94	-265.74	-296.23	-323.64	-347.36	-366.45	-377.85	-375.38	-354.44	-307.32	-234.01	-134.53	-8.86	142.98	321.00

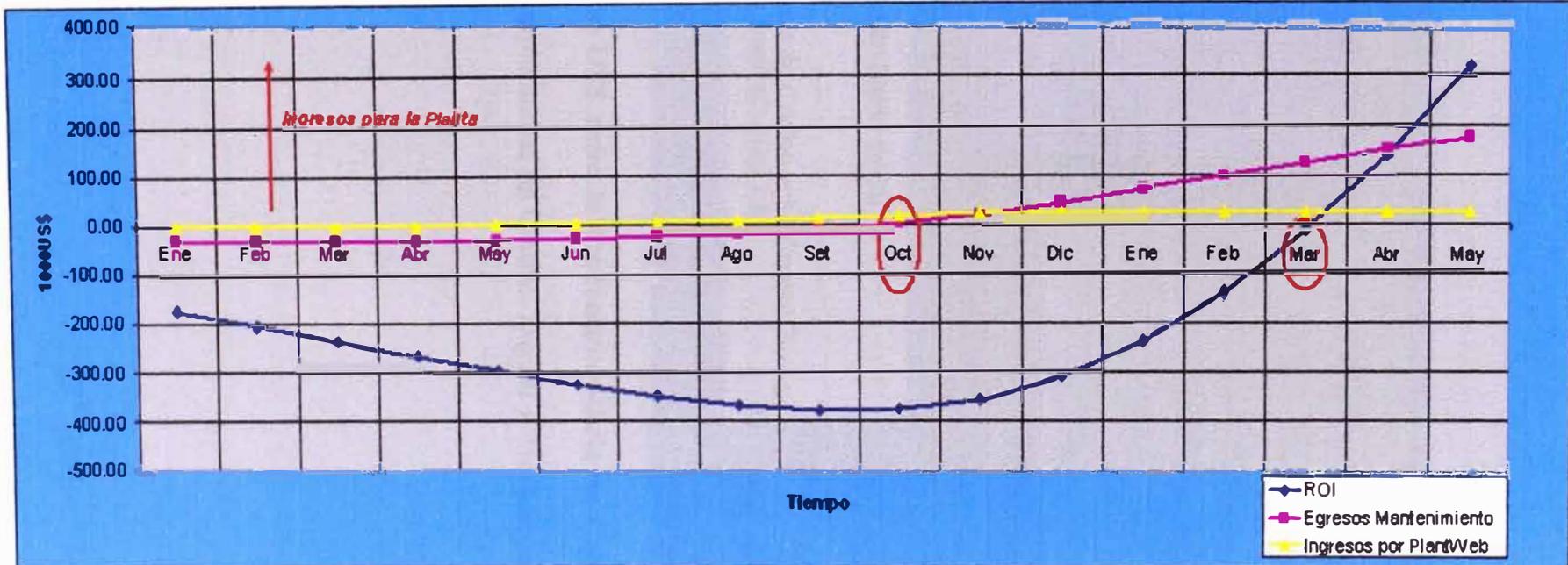


Figura 7.3 Evaluación del ROI para la implementación de una Arquitectura de Control Digital

+

'+

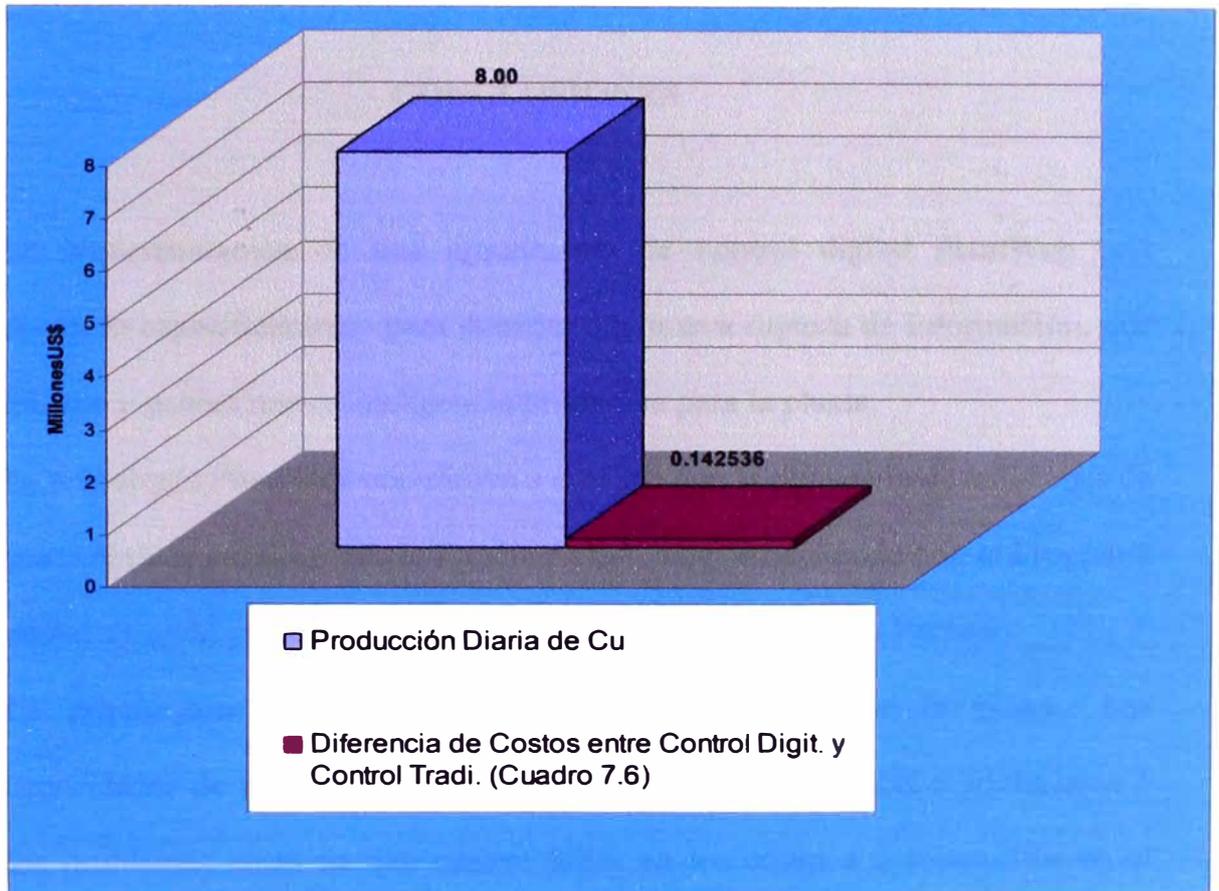


Figura 7.4. Comparación en US\$ entre la Producción Diaria de Cobre y la Diferencia de Implementar un Control Digital y Tradicional

CONCLUSIONES

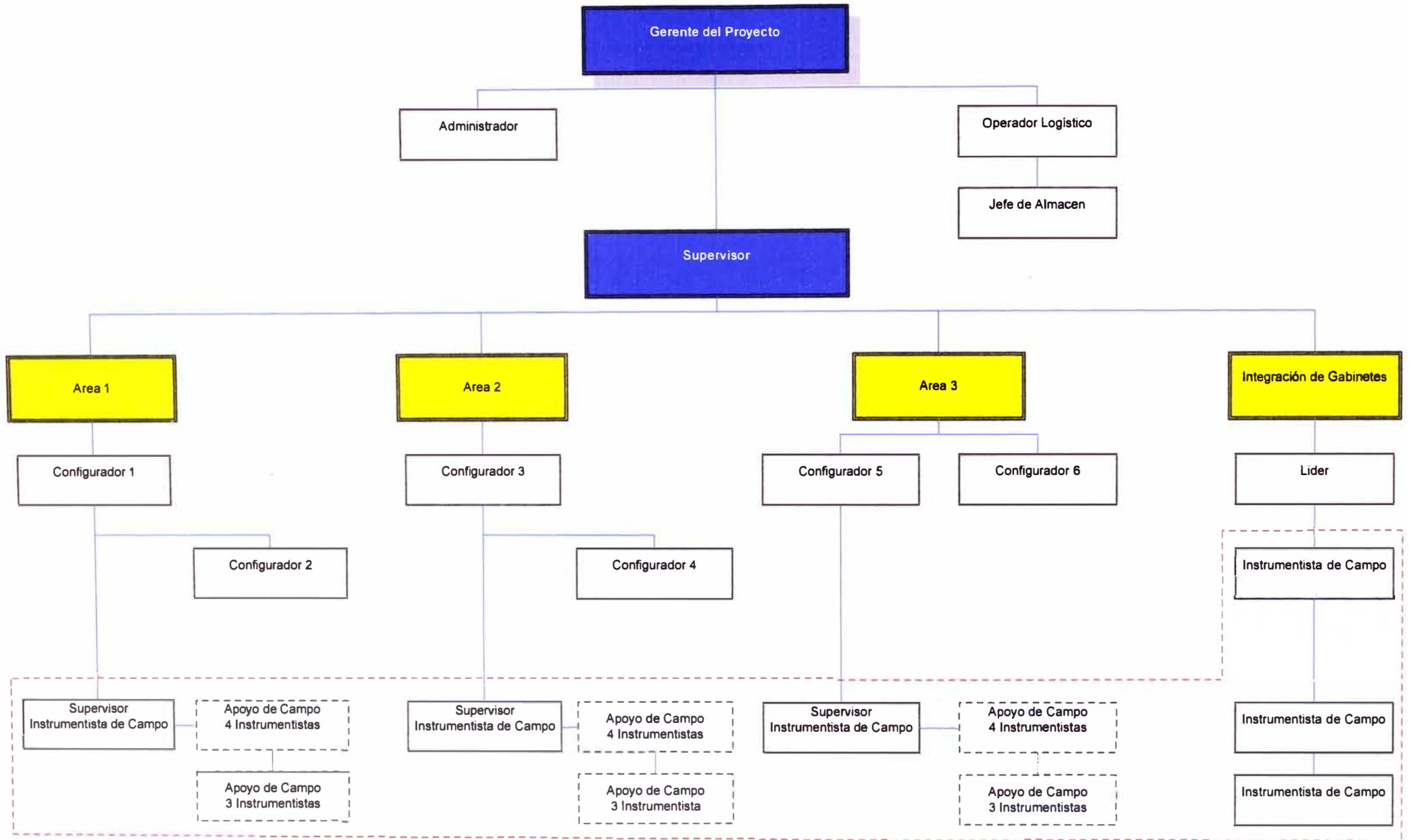
- 1. La implementación de una arquitectura de control digital PlantWeb está diseñado específicamente para manejar una nueva riqueza de información, que incluye y genera nueva inteligencia predictiva para la planta.**
- 2. La tecnología PlantWeb contribuye a cumplir con la reducción de emisiones de gases tóxicos emitidos por la Fundición de cobre, cumpliendo con el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental suscrito por el Gobierno Peruano.**
- 3. La arquitectura PlantWeb mejora la disponibilidad de la planta. Las capacidades de monitoreo y diagnóstico de PlantWeb ayudan a adelantarse a los problemas antes de que causen fallas en los equipos o sobresaltos en el proceso y por supuesto paros de planta que disminuyen la producción.**
- 4. Mejora el control y el mantenimiento. Los paros programados también pueden ser más cortos y menos frecuentes cuando se tiene una mejor visión de la condición real del equipo, además de arranques más rápidos después de los mismos.**
- 5. La inteligencia predictiva de PlantWeb incrementa la productividad del mantenimiento al detectar y diagnosticar problemas potenciales del equipo antes de que crezcan, reduciendo la frecuencia, lo severo y costoso de las reparaciones y disminuyendo el número de tareas innecesarias e improductivas.**

6. Su integración de información y facilidad de uso en las herramientas de control y optimización incrementa la productividad al permitir a los operadores expandir su alcance de control y operar el proceso en el punto más productivo y de mayor rendimiento operativo.
7. PlantWeb ayuda a reducir los viajes innecesarios a áreas peligrosas de la planta. Ya no es necesario enviar personal a campo para localizar dispositivos y conectar comunicadores portátiles o conectarse punto por punto en un gabinete.
8. Con las alertas PlantWeb tenemos:
 - a. Monitoreo del estado de la planta e instrumentación de campo: alerta predictiva, alerta de mantenimiento o alerta de falla.
 - b. Analiza inmediatamente la información.
 - c. Da prioridades a la alertas por lo severo de la alerta y por lo critico del tiempo que representa.
 - d. Categoriza las alertas para saber a quién avisar, ya sea operación, mantenimiento o ambos.
 - e. Propone que hacer al respecto para solucionar la falla.
9. Existe una diferencia económica del 30% entre implementar un proyecto con arquitectura digital o con arquitectura tradicional. En el primer caso el retorno de inversión promedio es de dos años.

BIBLIOGRAFÍA

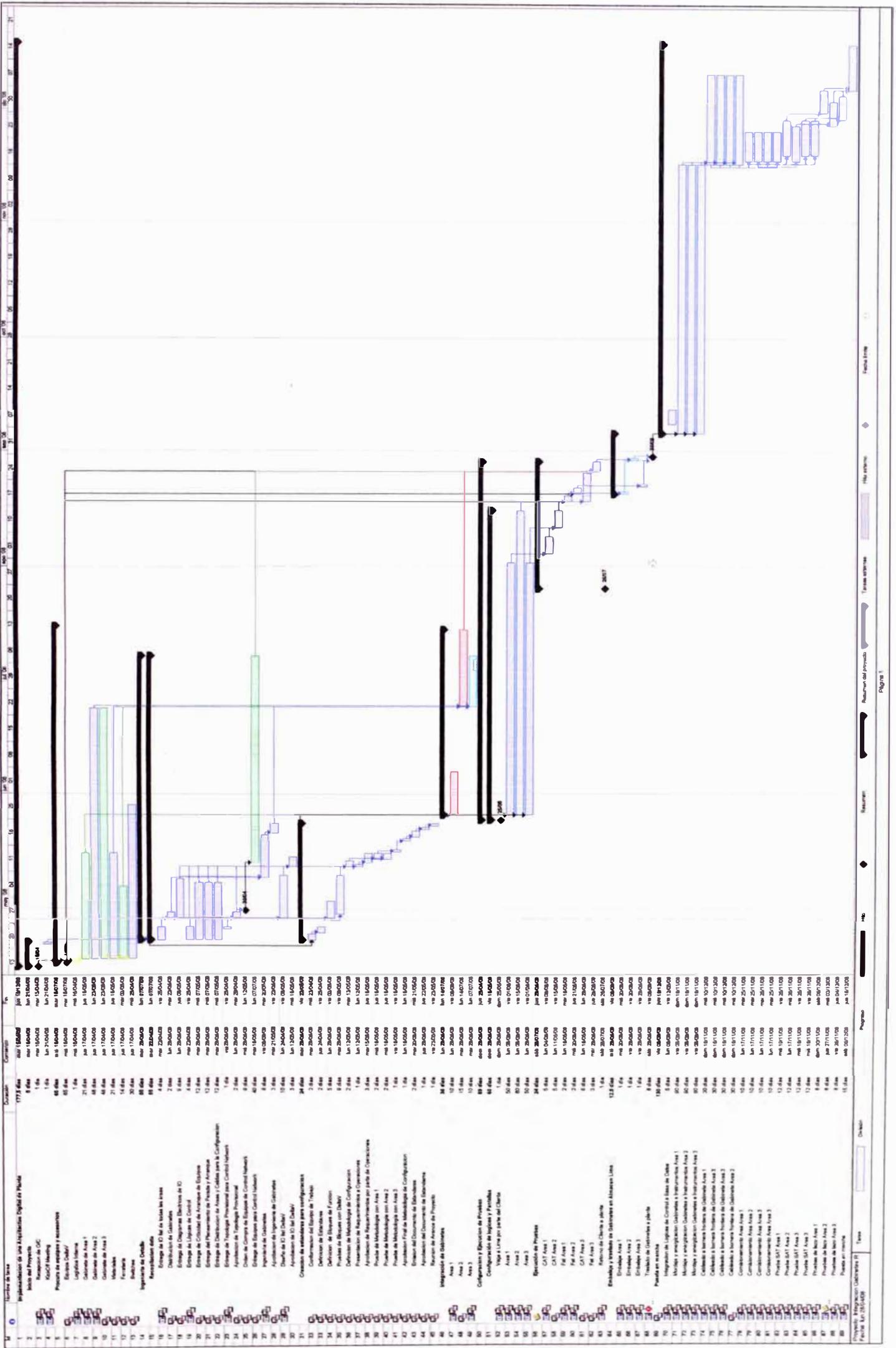
1. KURAMOTO, Juana; GLAVE, Manuel; "Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú". *Minería, minerales y desarrollo sustentable*. London: CIPMA; IDRC; IIED, 2002. p. 529-591.
2. Hernán Vives Navarro; "Reseña de la Innovación Tecnológica en la Minería del Cobre: El Caso Codelco", 2005.
3. Comisión Chilena del Cobre; "Evolución de la Industria Mundial de Fundiciones y sus Perspectivas", 2004.
4. Myriam García Berro; "Tendencias Tecnológicas a Medio y Largo Plazo en el Diseño y la Producción Industrial", 2001.
5. Institute for Human and Machine Cognition University of West Florida; "Software Agents and Knowledge Discovery and Data Mining for Enhanced Safety and Control of Hydrogen Operations", 2004.
6. Augusto Pereira, Ian Verhappen; "Foundation Fieldbus"; 2004.

ORGANIGRAMA DEL PROYECTO



Su participación será en la Puesta en Marcha de la Planta

ITEM	DESC	REVISION N	REVISADO	FECHA	POR	FECHA	PLANO: Organigrama del Proyecto
					Diseño P.C. Dibujo P.C. Revisado Aprobado	PROYECTO: Arquitectura de Control Digital	ESCALA: N° S / E



ID	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Programa
1	1773 días	01/01/2025	01/01/2025	
2	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
3	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
4	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
5	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
6	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
7	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
8	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
9	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
10	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
11	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
12	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
13	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
14	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
15	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
16	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
17	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
18	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
19	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
20	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
21	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
22	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
23	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
24	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
25	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
26	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
27	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
28	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
29	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
30	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
31	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
32	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
33	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
34	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
35	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
36	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
37	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
38	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
39	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
40	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
41	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
42	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
43	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
44	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
45	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
46	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
47	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
48	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
49	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
50	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
51	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
52	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
53	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
54	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
55	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
56	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
57	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
58	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
59	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
60	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
61	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
62	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
63	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
64	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
65	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
66	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
67	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
68	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
69	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
70	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
71	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
72	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
73	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
74	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
75	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
76	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
77	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
78	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
79	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
80	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
81	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
82	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
83	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
84	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
85	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
86	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
87	1 día	01/01/2025	01/01/2025	
88	1 día	01/01/2025	01/01/2025	

ARQUITECTURA DE CONTROL DIGITAL PLANTWEB

Red Len
Administrativa

