

Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.

Título: Alimentación continua de mineral en la planta de Secaderos mediante el uso de PLC y accionamiento con variadores de Velocidad.

Autor: Rafael Maresma Laurencio

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

Dpto. Ingeniería Eléctrica

ISM, Moa, Holguín

Ing. Alien Sergio Reyes Almaguer

Moa, 2012

Agradecimientos

En este trabajo de diploma que he realizado, quiero agradecer a todos aquellos que hicieron posible el desarrollo del mismo, pero en especial a mis padres Sorangel y Rafael, por confiar en mí y por toda la ayuda que me brindaron, a los trabajadores de La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, por su colaboración y a mis tutores por sus horas de desvelo y dedicación.

Dedicatoria

Dedico este trabajo en especial a mi familia, a todos los que de una u otra forma, contribuyeron con mi formación integral y profesional, en esta Sociedad Socialista.

Pensamiento

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber. “

A. Einstein

Hoja de firmas

Este trabajo de diploma ha sido revisado y aprobado por las instancias correspondientes y para que así conste se firma la presente.

Tutor:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

Oponente:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

J Dpto.:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

Declaración jurada

Declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y autorizo al Instituto Superior MINERO METALURGICO para que haga de este trabajo de diploma el uso que estime pertinente.

Firma: _____

Resumen

Debido a la necesidad de garantizar una alimentación continua de mineral a la entrada de los hornos rotatorios para su eficiente secado, en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa, se desarrolla el algoritmo de medición del flujo de mineral, programado en los PLC instalados en la planta y se sintoniza un regulador PID, que acciona un motor de inducción con variador de velocidad encargado de gobernar una banda transportadora de tipo alimentador de esteras. El sistema de control, mando y visualización se desarrolla en el Step 7 de Siemens y el SCADA CITECT.

Se identifica las variables que permiten determinar el flujo de mineral en una banda transportadora, y se expone un sistema informativo que mantiene actualizado el comportamiento de las variables del inversor de tensión, del motor de inducción, así como del mecanismo industrial.

Abstract

Due to the need to ensure a continuous supply of ore to the entry of efficient kilns for drying, the company commander Ernesto Che Guevara in Moa, the algorithm is developed for measuring the flow of ore, programmed in PLC installed in the plant and tuning a PID controller, which drives an induction motor with variable speed control in charge of a conveyor belt type feeder mats. The control system, control and visualization are developed in Step 7 from Siemens and SCADA Citect.

It identifies the variables that determine the flow of ore on a conveyor belt, and exposed an information system that maintains the behavior of the variable voltage inverter, induction motor, and the industrial mechanism.

Índice

Introducción General	XII
Problema	XIII
Hipótesis	XIII
Objetivo General	XIII
Objetivos Específicos	XIII
Objeto de estudio	XIII
Campo de acción	XIII
Resultados esperados	XIII
Capítulo 1: Estado del arte sobre sistemas de alimentación continua de mineral asistido con accionamientos eléctricos en bandas transportadoras con variadores de Velocidad. ...	1
1.1 Variadores de velocidad, importancia y aplicación	1
<i>Figura 1.1 Gráfico de potencia de un motor con velocidad variable y constante</i>	2
1.2 Sistemas de pesaje continuo en bandas transportadoras	4
<i>Figura 1.2 Equipo de pesaje continuo en banda</i>	5
1.3 Componentes del equipo de pesaje continuo	5
1.3.1 Rodillos	5
1.3.2 Celdas de carga	6
1.3.3 Sensor de velocidad.....	7
<i>Figura 1.3 Montaje del sensor</i>	8
1.3.4 Controlador electrónico	8
1.4 Consideraciones Técnicas	8
1.4.1 Velocidad de la banda.....	9
1.4.2 Peso por unidad de longitud.....	9
1.5 Consideraciones del Transportador	10
1.5.1 Dispositivo tensor de la banda	10
<i>Figura 1.4 Tipos básicos de tensores</i>	10
1.5.2 Carga de material.....	11
1.5.3 Bandas del transportador	12
Capítulo 2. Fundamentos sobre reguladores PID en accionamientos Eléctricos.	13
2.1 Fundamentos sobre control PID	13

2.2 Funcionamiento del control PID	14
2.2.1 Control proporcional	15
2.2.2 Control integral	15
2.2.3 Control derivativo	16
2.2.4 Significado de las constantes	17
2.3 Ajuste de parámetros del PID	18
2.3.1 Ajuste manual	19
2.4 Limitaciones de un control PID	19
Capítulo 3. Programa Supervisor en accionamientos	21
3.1 Periferia Descentralizada.....	21
<i>Figura 3.1. Configuración de Periferia Descentralizada</i>	<i>22</i>
3.2 Perfiles PROFIBUS	23
3.3 PROFIBUS DP	24
<i>Figura.3.2 Topología de una red PROFIBUS.....</i>	<i>26</i>
3.4 Estructura de Hardware de la Aplicación	29
3.5 Descripción de la aplicación	30
3.6 Desarrollo de la aplicación en Simatic	31
<i>Figura 3.3 Ventana de adición de nuevo proyecto en Simatic</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.4 Ventana de selección del PLC a usarse en Simatic.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.5 Ventana de los componentes de hardware del Simatic.....</i>	<i>33</i>
3.7 Programación de la aplicación mediante el uso del lenguaje SCL (Structured Control Language) y el ambiente grafico de CFC (Continuous Function Chart)	34
<i>Figura 3.7 Diagrama de bloque de la aplicación</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.8 Señales que se conectan entre el variador de velocidad y el PLC.....</i>	<i>38</i>
3.8 El sistema SCADA Citect	38
3.9 El entorno de configuración	39
3.10 Ventana principal del explorador Citect	40
<i>Figura 3.9 ventana del Explorador de Citect</i>	<i>40</i>
3.11 Ventana del Editor de Proyecto	40
<i>Figura 3.10 Ventana del Editor de Proyecto Citect.....</i>	<i>41</i>
3.12 El sistema de ejecución (RUNTIME).....	41
Capítulo 4. Interfaces de Citect en Accionamientos Eléctricos.....	42

4.1 Configuración de la comunicación entre el Citect y el PLC.....	42
4.1.1 Servidor de Entrada y Salida de datos. (I/O Servers)	42
<i>Figura 4.1 Ventana de configuración del servidor de entrada y salida</i>	42
4.1.2 Tarjetas (Boards)	42
<i>Figura 4.2 Ventana de configuración de las Tarjetas</i>	43
4.1.3 Puerto de Comunicación (Ports)	43
<i>Figura 4.3 Ventana de configuración de los puertos</i>	43
4.1.4 Dispositivo de Entrada y salida de datos. (I/O Devices)	44
<i>Figura 4.4 Ventana de configuración del dispositivo de entrada y salida</i>	44
4.2 Variables del sistema	44
<i>Tabla 4.1 Listado de variables incorporadas al Citect</i>	45
4.3 Ambiente gráfico de la aplicación.....	46
<i>Figura 4.5 Página principal de la aplicación</i>	46
4.3.1 Ventanas de ajuste y configuración	47
<i>Figura 4.6 Ventana de parametrización</i>	48
<i>Figura 4.7 Ventana para realizar el ajuste de Tara</i>	48
<i>Figura 4.8 Ventana para la realización de la calibración</i>	49
<i>Figura 4.9 Ventana de ajuste del Lazo de regulación</i>	50
4.4 Filosofía de operación del sistema.....	50
Capítulo 5. Valoración Económica	51
5.1 Módulo electrónico usado en la ECG para los sistemas de pesaje continuo	51
<i>Figura 5.1 Modulo de pesaje MILLTRONICS BW500</i>	52
5.3 Necesidades de implementación de sistemas de alimentación continua con bandas transportadoras en la ECG	52
5.4 Ventajas que brinda el uso del sistema de pesaje por PLC.....	52
<i>Tabla 5.1 Taba comparativa entre el sistema de pesaje por PLC y el módulo MILLTRONICS.</i>	53
5.5 Análisis económico de la aplicación	53
Conclusiones Generales	
Recomendaciones	
Anexos	

Introducción General

En las industrias metalúrgicas que su materia prima se obtiene en minas a cielo abierto el factor humedad tiene gran influencia en la calidad de dicha materia prima, es por ello que existen secciones en su proceso tecnológico dedicado a la disminución de este parámetro.

En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara existe una planta de proceso que su misión es disminuir los niveles de humedad del mineral proveniente de los yacimientos a cielo abierto. Los equipos encargados de realizar esta operación se les denominan Tambores Rotatorios de Secado de Mineral o Secaderos.

En los secaderos existe un conjunto de variables que deben ser controladas por ser de gran importancia para logran una operación eficiente del proceso de secado.

Las operaciones asistidas mediante la utilización de variadores de velocidad permiten garantizar en los secaderos que los parámetros de velocidad del tambor y en los alimentadores, puedan ser variados en dependencia de las necesidades operacionales de la planta.

Al actuar sobre el proceso tecnológico, no es conveniente dejarlo solo a criterio del operador, ya que las variaciones en los parámetros ocurren en cortos períodos de tiempo. Los sistemas de control de regulación automática juegan un papel importante en estos casos.

La alimentación continua de mineral al Secadero es uno de los parámetros que caracteriza la correcta operación del mismo. Garantizar esto se logra regulando la cantidad de mineral que se deposita en una banda transportadora, donde se mide el peso y la velocidad del mineral, para luego mediante un sistema de cálculo obtener el valor del flujo de mineral que se introduce al secadero.

Existen dispositivos que realizan el cálculo del flujo de mineral para este tipo de aplicaciones, pero tiene como deficiencia el elevado costo de adquisición y la imposibilidad de reparación. La obtención del valor del flujo de mineral mediante un algoritmo programado en los PLC S7 400 de la planta de secaderos representa una ventaja funcional, operacional y económica con respecto a los módulos ya existentes en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Problema

Actualmente no existe una adecuada regulación del flujo estable de mineral laterítico en la entrada de los hornos rotatorio de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa, para su eficiente secado durante el proceso CARON.

Hipótesis

Si se identificaran las principales variables que participan en la explotación del accionamiento eléctrico de los alimentadores de mineral con bandas transportadoras en los tambores rotatorios de la planta de secaderos, se podrá configurar un regulador PID para el trabajo estable del sistema de alimentación de mineral a los Secaderos y la posibilidad de una correcta regulación en el suministro de mineral secado.

Objetivo General

Desarrollar la programación del algoritmo para la determinación del flujo de mineral y su regulación a la entrada de los secaderos en la planta de Preparación de Mineral de la empresa Ernesto Che Guevara.

Objetivos Específicos

- Utilizar los PLC S7-400 de Siemens instalados en la planta, para la aplicación del algoritmo creado.
- Implementar un regulador PID que accione el motor de inducción con variador de velocidad, de los alimentadores de mineral de los tambores de secado para su trabajo estable.
- Valorar económica y socialmente el efecto de la inversión propuesta.

Objeto de estudio

Bandas transportadoras de mineral laterítico.

Campo de acción

Regulación de velocidad en máquinas de inducción

Resultados esperados

- Descripción del accionamiento eléctrico de las bandas transportadoras de mineral a los secaderos.

- Implementación de la programación del algoritmo para la medición continua del flujo de mineral alimentado.
- Configurar un regulador PID para el trabajo estable de alimentación del proceso de secado.
- Ofrecer una interface para el monitoreo y supervisión de los accionamientos con variadores de velocidad a partir de varios criterios utilizados internacionalmente.
- Brindar una base experimental bien ordenada que permita elaborar un sistema para la supervisión de accionamientos.
- Desarrollar un caso de estudio para la validación de la tarea a través de un sistema programado en un PLC S7-400 y el sistema de visualización y mando desde el SCADA CITECT.

Capítulo 1: Estado del arte sobre sistemas de alimentación continua de mineral asistido con accionamientos eléctricos en bandas transportadoras con variadores de Velocidad.

1.1 Variadores de velocidad, importancia y aplicación

Tanto en la industria, como en aplicaciones específicas, es común encontrarse con la necesidad de variar la velocidad de un motor en forma continua y manteniendo el torque en el eje. También en ocasiones es necesario proporcionar a los motores un arranque suave y gradual. Para ello se idearon gran cantidad de motores específicos y equipos de regulación que permitan satisfacer estas necesidades.

Entre los más comunes en uso, se encuentran los motores de corriente continua controlados mediante la tensión del inducido y los motores asíncronos trifásicos controlados mediante la variación de frecuencia.

Los motores de corriente continua tienen las desventajas de ser más caros, voluminosos y necesitar mayor mantenimiento debido a que utilizan carbones.

Por lo expuesto anteriormente y por el amplio desarrollo de dispositivos de estado sólido que permiten conmutar grandes corrientes a tensiones industriales, se popularizó el uso de variadores de frecuencia para motores asíncronos.

Los sistemas de control de regulación de velocidad, o variadores de velocidad, son dispositivos que permiten controlar a voluntad la velocidad de funcionamiento de los motores de corriente alterna.

Los variadores de velocidad son sistemas electrónicos que permiten variar en forma continua la velocidad manteniendo el par de los motores, convirtiendo la frecuencia y tensión de la red en magnitudes variables.

El uso de reguladores de velocidad permite mejorar el rendimiento de los motores, ajustando su funcionamiento al par y velocidad que requiere la aplicación en cada momento. De esta manera se proporciona un ahorro energético importante.

Las cintas transportadoras son de los elementos más abundantes en toda la industria. Son mecanismos con par constante con la velocidad, variando la potencia linealmente con la velocidad.

Cuando se tiene una cinta de carga variable, si se mantiene la velocidad constante la potencia demandada va desde el 50% en vacío al 100% en plena carga. Utilizando la regulación de velocidad se pueden reducir las potencias demandadas reduciendo las pérdidas de rozamiento, que son proporcionales a la velocidad. Se busca el ajustar la velocidad del motor para que la carga sea siempre el 100%.

La siguiente gráfica muestra cómo se reduce la potencia demandada al utilizar velocidad variable.

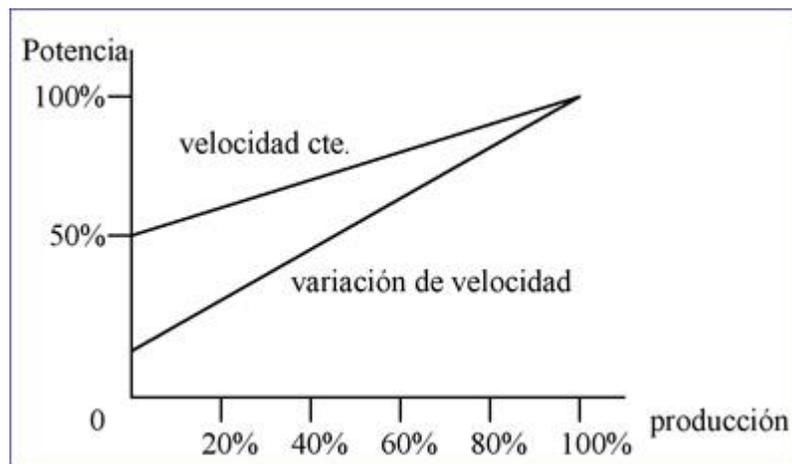


Figura 1.1 Gráfico de potencia de un motor con velocidad variable y constante.

A pesar del coste que supone la inversión en un sistema de ajuste electrónico de la frecuencia para controlar la velocidad de los motores, el desarrollo en precisión y fiabilidad ha alcanzado cotas tan elevadas que el coste inicial, se justifica por la mejora sustancial de los resultados y por la bajada de costes debida a la reducción de pérdidas y en mantenimiento.

Algunos factores que determinan la decisión sobre la aplicación de regulación electrónica de velocidad son los siguientes:

- El valor del ahorro energético que se puede lograr con la instalación de regulación electrónica de velocidad, depende principalmente del tipo de carga que esté acoplada al motor. Así, los motores con cargas con par proporcional al cuadrado de la velocidad, tales como bombas, compresores o ventiladores, son los susceptibles de un mayor ahorro energético.

- Un aspecto a tener en cuenta en la valoración del consumo de energía ahorrado es la forma de regulación empleada hasta el momento en que se plantea la instalación de reguladores electrónicos. El control de la instalación de forma mecánica (por ejemplo mediante válvulas de estrangulamiento en bombas o persianas en ventiladores), o la ausencia de control, produce un sobredimensionamiento del mecanismo, dando lugar a un exceso de potencia demandada. La instalación de reguladores electrónicos permite un ahorro importante de energía.
- Por otra parte, la regulación electrónica de velocidad permite suavizar los críticos procesos de arranque y paradas (limitando las altas intensidades de arranque y evitando caídas de tensión), así como realizar un trabajo más continuo y suave del proceso. Se disminuye de esta forma el número de averías, las paradas del proceso y el coste en mantenimiento, además de prolongar la vida útil de la máquina. Por tanto, la aplicación será especialmente interesante en instalaciones envejecidas o que tienen que soportar grandes esfuerzos.
- Un parámetro esencial a la hora de estimar el ahorro derivado de la instalación de la regulación electrónica de velocidad es el tiempo total de trabajo de la máquina y su régimen de trabajo. Cuanto mayor sea el tiempo de trabajo de la máquina, mayor será el ahorro producido y menor el tiempo de amortización de la inversión realizada.
- La variación de frecuencia es especialmente atractiva en sistemas multimotor, cuando una gran cantidad de pequeños motores de corriente alterna son alimentados simultáneamente con la misma frecuencia y tensión. En tales instalaciones, el coste del convertidor de frecuencia se justifica por la reducción significativa del coste de la máquina debida al gran número de motores cubiertos.

La decisión de instalar un regulador de velocidad debe contemplar, además del ahorro energético y la rapidez en la amortización de la inversión realizada, otras ventajas de la regulación de velocidad como la reducción en averías, paradas y costes de mantenimiento o mejoras en la calidad y rentabilidad del sistema productivo.

La instalación de variadores electrónicos de frecuencia ofrece otras mejoras como la compensación del factor de potencia y disminuciones considerables del nivel de ruido generado.

1.2 Sistemas de pesaje continuo en bandas transportadoras

El sistema de pesaje continuo es un equipo compuesto por celdas de carga que nos monitorean en forma análoga el peso que pasa por la banda transportadora. Este se comunica a un integrador que nos indica los resultados totales o parciales que sean necesarios para mayor control de la producción.

No solamente durante los procesos de fabricación y tratamiento se requiere de un control de la materia prima y los productos, sino también durante el transporte y el almacenamiento. La acumulación de humedad o la absorción de agua puede ser un factor que altere los resultados de los mismos.

El equipo de pesaje continuo es un sistema diseñado para ser colocado en los transportadores de banda para el pesaje de sólidos áridos a granel. El equipo está diseñado para reaccionar solamente con las componentes verticales de las fuerzas que le están siendo aplicadas. En esencia, este sistema consiste en una estructura de apoyo fija (estática) y una estructura viva (dinámica). La estructura estática es el apoyo principal del equipo entre las vigas del transportador, que a su vez sirven de apoyo a la estructura viva, incluyendo las celdas de carga. La estructura dinámica sirve de apoyo al rodillo y transfiere el peso del material a las celdas de carga.

La estructura dinámica es proporcionalmente forzada hacia abajo. Las celdas de carga del sistema proporcionan una señal electrónica, proporcional a la carga, que es enviada al controlador o integrador. De esta forma, el pesaje es efectuado sin interrumpir el proceso y sin afectar el proceso del material.

Los equipos de pesaje continuo, son utilizados para la medición de grandes cantidades de material cargado en la banda del transportador, y para medir la velocidad de la banda. El método de pesaje continuo permite aminorar tiempo de pesaje en comparación con el método de las balanzas industriales para transporte. Además, proporciona una exactitud y precisión idéntica entre ambos métodos. Dependiendo de la selección, instalación y

calibración adecuada, se obtiene el mejor aprovechamiento del equipo, así como, brindándole el mantenimiento necesario y adecuado.

Estos equipos son muy exactos, precisos y confiables, se componen de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, que requieren de ciertas consideraciones técnicas para su selección, ubicación, instalación y mantenimiento, brindan una información que puede llegar a ser no confiable, si se practica una mala instalación y calibración del equipo y sus componentes. Ver figura 1.2.



Figura 1.2 Equipo de pesaje continuo en banda.

1.3 Componentes del equipo de pesaje continuo

Los equipos de pesaje continuo están compuestos por Rodillos, Celdas de cargas, Sensores de Velocidad y un controlador electrónico capaz de procesar todas las informaciones y brindar el valor del pesaje.

1.3.1 Rodillos

De todos los rodillos disponibles, solo algunos de ellos son idóneos para su uso con el sistema de pesaje. Existen distintos tipos de rodillos los cuales se conocen:

- Rodillo de transportador con eje desplazado
- Rodillo con cable impulsor
- Rodillo en V de transportador

- Rodillo de catenaria
- Rodillos sencillos planos
- Rodillos inclinados en líneas de 3

No se deben utilizar rodillos del tipo con cable impulsor, rodillos en V, ni rodillos tipo catenaria en o cerca del equipo. Los del tipo de eje desplazado puede ser aceptables en algunas instalaciones. Los únicos realmente aceptables son los tipos de rodillos inclinados en líneas de 3 o los rodillos sencillos planos. [9]

Estos rodillos pueden variar sus dimensiones de un ancho de banda de 450 hasta 2134 mm, diámetro de 50 a 180 mm y se instalaran con una distancia entre rodillos de 500 a 1500 mm entre los 10 a 45°. Dependiendo del diseño del transportador y los requerimientos de exactitud y precisión que necesitemos de nuestros equipos.

1.3.2 Celdas de carga

A medida que se mueve a lo largo de la banda del transportador, el material ejerce una fuerza a través del rodillo de suspensión, sobre la estructura dinámica. En las celdas de carga, este movimiento es detectado por sus medidores de deformación al ser excitados por el voltaje proveniente del integrador electrónico. Estos producen una señal que es proporcional al peso, y que es enviada de regreso al integrador. El movimiento en cada celda de carga está limitado por un tope positivo incorporado en el diseño de cada celda de carga. El voltaje de excitación de la celda de carga es de 10 V cc nominal y un máximo de 15 Vcc. Con un rango de operación de temperatura – 40 °C a 85 °C, con rangos máximos de capacidad de 35, 100 y 200 Kg en carga estática.

Su factor de sobrecarga es de 150% hasta un 300% de su capacidad nominal. La salida de estas es de 2 μ V / V de excitación a la capacidad nominal de la celda.

Es importante comprender que estos equipos son detectores de fuerza, muy precisos y repetitivos, para ello se debe tener conocimientos de las características de los componentes. Una celda de pesaje puede medir hasta 5,000 toneladas métricas por hora y una velocidad máxima de 4 m/s brindando una precisión \pm 0.5% del total en un rango de operación de 5 a 1.

Campos de aplicación típicos para celdas de pesaje:

- Control de procesos de dosificación
- Llenado de sólidos o líquidos
- Comprobación de cantidades individuales
- Descarga o recepción de material con totalización

1.3.3 Sensor de velocidad

Es un sensor de rueda de alta resolución, para la banda de retorno. El sensor de velocidad integra un interruptor de proximidad inductivo. El interruptor detecta la rotación del engrane y transmite la señal al integrador a través de un seccionador.

El sensor se compone de un brazo que tiene un engrane de dientes y una rueda en contacto con la banda de retorno y también puede ser instalado en rodillo de cola, sobre la banda utilizando un brazo el cual cae sobre el transportador. La rueda y el engrane giran alrededor de un eje fijo en el brazo.

El sensor magnético u óptico interno detecta la rotación del engrane y genera una señal proporcional a la velocidad de la banda. La señal de salida se transmite por cable hasta el integrador para calcular la velocidad del producto transportado.

Para simplificar un poco la instalación del cableado se recomienda instalar el sensor a proximidad del equipo. La rueda debe girar en la banda de retorno, directamente antes o directamente después de un rodillo. Se debe fijar el brazo del sensor en la estructura estática del equipo. Para el montaje del sensor debemos de medir la distancia entre las partes interiores de los largueros del transportador y cortar una barra transversal de 24 mm a la medida, colocándola a través del orificio situado en el extremo del sensor de velocidad de banda de retorno y poner arandelas 24 mm de cada lado del equipo. El conjunto debe quedar posicionado con la rueda en el centro de la banda de retorno. Debemos mantener un espacio de 3mm entre los lados del sensor y las arandelas, podemos soldar o atornillar las arandelas a la barra. Unimos por medio de soldadura o de tornillo un extremo de la barra transversal en un travesaño, para poder tener el conjunto perpendicular a la banda y la rueda vaya recto, como se muestra en la figura 1.3.

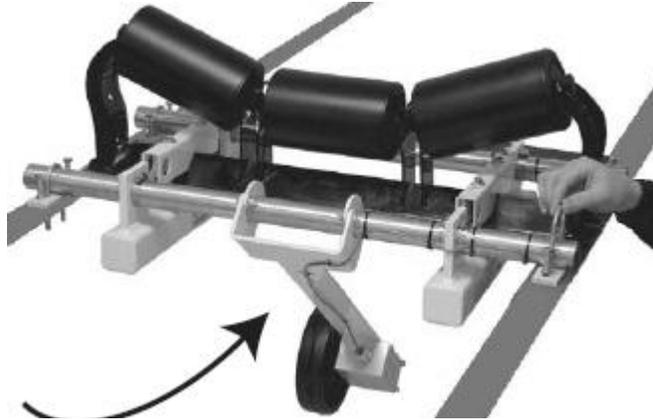


Figura 1.3 Montaje del sensor

La conexión eléctrica del sensor debe proporcionar suficiente holgura para compensar el movimiento del sensor y la rotación de la rueda en la banda. Limitando el movimiento del brazo se puede provocar el restablecimiento de la rueda o el contacto excesivo con la banda. Este tipo de instalación no es muy recomendable para bandas que giren muy rápido, estas provocan que el sensor pivotee sobre la banda, por tal razón también es bueno hacer mención de la instalación del sensor en un rodillo.[9]

1.3.4 Controlador electrónico

Es un integrador basado en un microprocesador diseñado específicamente para ser utilizado con las básculas y dosificadores, o con equipos equivalentes. El integrador emplea las señales de velocidad y de carga obtenidas de la cinta transportadora o del equipo. Mediante sistemas de cálculos implementados en el controlador electrónico y usando estas señales se obtiene el flujo de material.

1.4 Consideraciones Técnicas

Resulta de gran importancia técnica en el trabajo de las bandas transportadoras que se le aplican dispositivos de medición de flujo contar con el conocimiento de la velocidad con que se mueve la banda y el peso por unidad de longitud que se transporta.

1.4.1 Velocidad de la banda

El material no debe viajar a través del espacio de medición con una velocidad menor a 0.4 segundos. Si en el caso de que en este trayecto el material viajase en menos tiempo al indicado, se puede proceder a tomar las siguientes modificaciones:

- Incrementar el número de rodillos de suspensión y el juego de celdas de carga.
- Aumentar la distancia entre los rodillos del transportador.
- Disminuir la velocidad de la banda.

El espacio de medición es igual a la distancia entre rodillos del transportador donde se ubica nuestro equipo por la cantidad de rodillos de suspensión y la velocidad se debe expresarla en metros sobre segundos siendo esta la velocidad de la banda.

Ejemplo:

Velocidad de la banda = 2.54 m/s

Espacio entre rodillos = 0.9144 m

Para un sistema de pesaje $0.9144 / 0.254 = 0.36$ s

Este ejemplo no satisface la ley de velocidad de banda por lo que debemos optar por cualquiera de las siguientes resoluciones según sea el caso:

- Si nos es posible modificar la estructura de la banda para aumentar la distancia entre los rodillos.
- Si nuestro presupuesto nos lo permite debemos incrementar una unidad de pesaje.
- Si ninguna de las anteriores es posible una solución es la de reducir la velocidad de la banda, esta opción es la menos recomendada y puede afectar la capacidad del transportador.

1.4.2 Peso por unidad de longitud

Estos equipos están diseñados para tener un límite mínimo y máximo de peso el cual pueda ser medido con exactitud y es calculado en base a la carga que pasa por el transportador y la información que nos proporcione la documentación técnica brindada por los fabricantes de estos.

Consideremos una banda que transporta 83.33 Kg / s a una velocidad de 0.762 m/s, según esta información, se puede dividir estos datos para conseguir el peso por unidad de longitud, lo cual da 109.36 Kg / m. Por medio de este resultado y la información que brinda el fabricante se puede decidir la solución ideal para el sistema y la más económica.

En este caso una solución a elegir es el sistema de un rodillo de suspensión y celdas de pesaje de 200 Kg. Otra opción es de presupuestar un equipo modular de dos rodillos de suspensión y celdas de carga de 100 y 35 Kg.

1.5 Consideraciones del Transportador

El correcto funcionamiento de un transportador de mineral depende de la adecuada selección de las partes que lo integran, estas son los dispositivos tensores de la banda, el tipo de carga de material que se va a transportar y el tipo de banda a emplearse.

1.5.1 Dispositivo tensor de la banda

La tensión del transportador se puede controlar por diversos tensores, los tres tipos básicos:

- Tensor de tornillo
- Tensor de gravedad horizontal
- Tensor de gravedad vertical

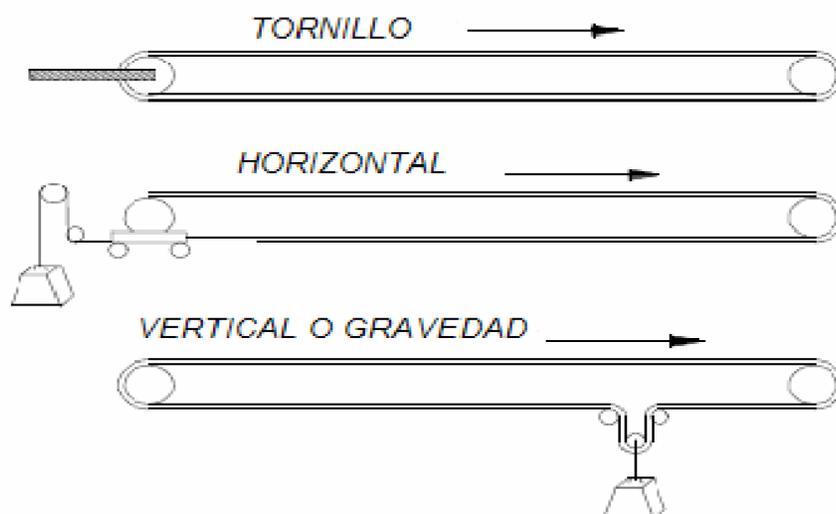


Figura 1.4 Tipos básicos de tensores

El tensor de gravedad vertical es el más fiable porque puede reaccionar a los cambios de tensión de la banda. El uso del tipo de tensor contribuye a reducir la influencia de la tensión relativamente uniforme. Use sensores de gravedad vertical para obtener la máxima exactitud. Si no fuera práctico lo posible, utilice los sensores de gravedad horizontal. El uso de los sensores de tornillo se debería limitar a transportadores con centros de polea de menos de 18m.

1.5.2 Carga de material

Algunos sistemas del transportador requieren del uso simultáneo de varios puntos de alimentación. La tensión de la banda puede variar considerablemente en función de la combinación de los puntos de alimentación que estén usando en ese momento. Siempre que sea posible se debe instalar el equipo en un transportador con un solo punto de alimentación.

Se usan varios métodos para colocar el material en la banda. A menudo el flujo del material entre el pre-alimentador y la banda no es uniforme, siendo su velocidad diferente de la del transportador. Estos aspectos pueden contribuir a reducir la exactitud. Se debe asegurar de que el material se carga en la banda transportadora de forma regular y uniforme, a una velocidad similar o igual a la de la banda. Se instaló una compuerta de control de alimentación de material o un dispositivo similar para aumentar la uniformidad del flujo de material.

El retroceso del material o resbalamiento del material se produce en bandas transportadoras en las que el material, por su forma o tamaño, retrocede sobre sí mismo, incluso si la dirección general es de avance. Puede ser el resultado de un transportador con una inclinación pronunciada, una diferencia entre la velocidad de alimentación del material y de la banda o de unas cortinas de cadena o de goma mal escogidas o mal colocadas. En este último caso, la cortina retiene por un momento el material en lo alto de la pila y provoca el retardo en comparación con el resto de la pila. Se debe tener en consideración la relación entre la velocidad y la inclinación de carga de material y el retroceso del mismo.

1.5.3 Bandas del transportador

Las variaciones en el número de pliegues, el grosor de la cubierta y el tipo y la cantidad de uniones de una banda determinada hacen que el peso por longitud de la banda sea muy disparejo. Durante el equilibrado a cero, la mayoría de las básculas hacen el promedio del peso de la banda en un circuito completo. La desviación de la media, si es lo suficientemente elevada, puede dificultar la obtención de una buena referencia cero y la consiguiente exactitud de la báscula.

Una banda cuyos valores se han sobreestimado para el uso que se le va a dar puede resultar tan rígida que no se podrá inclinar correctamente en los rodillos. Cuando ocurre esto (especialmente en los rodillos de 35° y 45°), la banda se arquea a través del rodillo, no pudiéndose obtener una buena puesta a cero de la misma ni una buena calibración del rango. Cuando se elija una banda nueva, es mejor seleccionar una banda reencauchada y no una de grapas que afecta la exactitud del equipo.

Capítulo 2. Fundamentos sobre reguladores PID en accionamientos Eléctricos.

2.1 Fundamentos sobre control PID

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor proporcional determina la reacción del error actual. El integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado al cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. El uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. En la figura 2.1 se muestra el diagrama en bloque de un controlador PID.

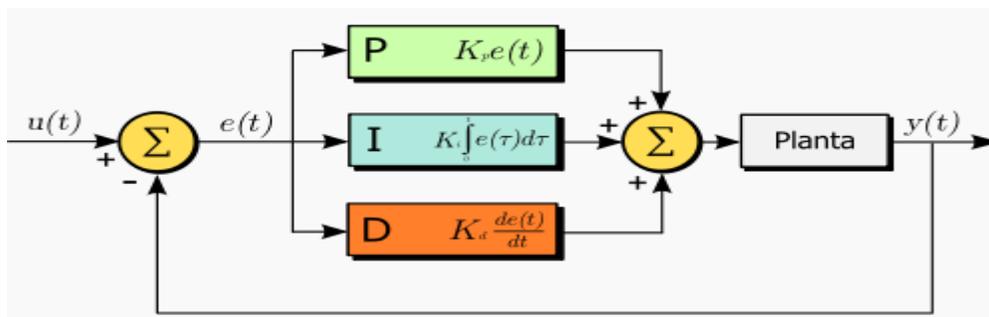


Figura 2.1 Diagrama en bloque de un controlador PID

2.2 Funcionamiento del control PID

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc).
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema y se le denomina variable de proceso (PV). La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna o punto de referencia "Set Point" (SP), esta es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz(HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error ($Err = PV - SP$), que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada (MV) y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

2.2.1 Control proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobreoscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobreoscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación). La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

La fórmula del proporcional está dada por:

$$P_{sal} = K_p e(t) \quad (2.1)$$

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en porcentaje. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control.

2.2.2 Control integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante I. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

La fórmula del integral está dada por:

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

2.2.3 Control derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

La fórmula del derivativo está dada por:

$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt} \quad (2.3)$$

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones. Ejemplo: Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

2.2.4 Significado de las constantes

P- constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

I- constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D- constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula. Ejemplo: Corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal d es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $u(t)$ como la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.4)$$

Por tener una exactitud mayor a los controladores proporcional, proporcional derivativo y proporcional integral se utiliza en aplicaciones más cruciales tales como control de presión, flujo, fuerza, velocidad, en muchas aplicaciones química, y otras variables. Además es utilizado en reguladores de velocidad de automóviles (control de cruceo o cruise control), control de ozono residual en tanques de contacto.

2.3 Ajuste de parámetros del PID

El objetivo de los ajustes de los parámetros PID es lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo los efectos de las perturbaciones; se tiene que lograr la mínima integral de error. Si los parámetros del controlador PID (la ganancia del proporcional, integral y derivativo) se eligen incorrectamente, el proceso a controlar puede ser inestable, por ejemplo, que la salida de este varíe, con o sin oscilación, y está limitada solo por saturación o rotura mecánica. Ajustar un lazo de control significa ajustar los parámetros del sistema de control a los valores óptimos para la respuesta del sistema de control sea la deseada. El comportamiento óptimo ante un cambio del proceso o cambio del "setpoint" varía dependiendo de la aplicación. Generalmente, se requiere estabilidad ante la respuesta dada por el controlador, y este no debe oscilar ante ninguna combinación de las condiciones del proceso y cambio de "setpoints". Algunos procesos tienen un grado de no-linealidad y algunos parámetros que funcionan bien en condiciones de carga máxima no funcionan cuando el proceso está en estado de "sin carga". Hay varios métodos para ajustar un lazo de PID. El método más efectivo generalmente requiere del desarrollo de alguna forma del modelo del proceso, luego elegir P, I y D basándose en los parámetros del modelo dinámico. Los métodos de ajuste manual pueden ser muy ineficientes. La elección de un método dependerá de si el lazo puede ser "desconectado" para ajustarlo, y del tiempo de respuesta del sistema. Si el sistema puede desconectarse, el mejor método de ajuste a menudo es el de ajustar la entrada, midiendo la salida en función del tiempo, y usando esta respuesta para determinar los parámetros de control. Ahora se describe como realizar un ajuste manual.

2.3.1 Ajuste manual

Si el sistema debe mantenerse online, un método de ajuste consiste en establecer primero los valores de I y D a cero. A continuación, incremente P hasta que la salida del lazo oscile. Luego establezca P, aproximadamente a la mitad del valor configurado previamente. Después incremente I hasta que el proceso se ajuste en el tiempo requerido (aunque subir mucho I puede causar inestabilidad). Finalmente, incremente D, si se necesita, hasta que el lazo sea lo suficientemente rápido para alcanzar su referencia tras una variación brusca de la carga.

Un lazo de PID muy rápido alcanza su setpoint de manera veloz. Algunos sistemas no son capaces de aceptar este disparo brusco; en estos casos se requiere de otro lazo con un P menor a la mitad del P del sistema de control anterior.[15]

2.4 Limitaciones de un control PID

Mientras que los controladores PID son aplicables a la mayoría de los problemas de control, pueden ser pobres en otras aplicaciones. Los controladores PID, cuando se usan solos, pueden dar un desempeño pobre cuando la ganancia del lazo del PID debe ser reducida para que no se dispare u oscile sobre el valor del "setpoint". El desempeño del sistema de control puede ser mejorado combinando el lazo cerrado de un control PID con un lazo abierto. Conociendo el sistema (como la aceleración necesaria o la inercia) puede ser combinado con la salida del PID para aumentar el desempeño final del sistema. Solamente el valor del Control prealimentado puede proveer la mayor porción de la salida del controlador. El controlador PID puede ser usado principalmente para responder a cualquier diferencia o "error" que quede entre el setpoint y el valor actual del proceso.

Por ejemplo, en la mayoría de los sistemas de control con movimiento, para acelerar una carga mecánica, se necesita de más fuerza (o torque) para el motor. Si se usa un lazo PID para controlar la velocidad de la carga y manejar la fuerza o torque necesaria para el motor, puede ser útil tomar el valor de aceleración instantánea deseada para la carga, y agregarla a la salida del controlador PID. Esto significa que sin importar si la carga está siendo acelerada o desacelerada, una cantidad proporcional de fuerza está siendo manejada por el motor además del valor de realimentación del PID. El lazo del PID en esta situación usa la información de la realimentación para incrementar o decrementar la

diferencia entre el setpoint y el valor del primero. Trabajando juntos, la combinación de avance-realimentación provee un sistema más confiable y estable.

Otro problema que posee el PID es que es lineal. Principalmente el desempeño de los controladores PID en sistemas no lineales es variable. También otro problema común que posee el PID es, en la parte derivativa, el ruido puede afectar al sistema, haciendo que esas pequeñas variaciones, hagan que el cambio a la salida sea muy grande. Generalmente un Filtro pasa bajo ayuda, elimina las componentes de alta frecuencia del ruido. Sin embargo, un FPB y un control derivativo pueden hacer que se anulen entre ellos. Alternativamente, el control derivativo puede ser sacado en algunos sistemas sin mucha pérdida de control. Esto es equivalente a usar un controlador PID como PI solamente.[15]

Capítulo 3. Programa Supervisor en accionamientos

3.1 Periferia Descentralizada

La constante evolución tecnológica a nivel industrial ha obligado a la modernización de muchas empresas con la finalidad de mantener y mejorar su productividad. Este índice está en función de varios parámetros entre los cuales se encuentran los sistemas de automatización. Con el objetivo de reducir las paradas en las líneas de producción, cada vez son mayores los sistemas que han implementado redes de comunicación industrial debido a las ventajas que ofrecen. En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, la principal red de comunicación a nivel de célula y campo es PROFIBUS DP, debido a que satisface los elevados requisitos de tiempo que se imponen para el intercambio de datos en el sector de la periferia descentralizada (DP) y los dispositivos de campo. La configuración estándar de esta red se basa en el método de acceso al bus, es decir una estación activa (maestro DP) intercambia datos de forma cíclica con las estaciones pasivas (esclavos DP). La serie SIMATIC de Siemens incorpora al bus de campo PROFIBUS DP en la utilización de procesos con periferia descentralizada. PROFIBUS DP se convierte en un aliado importante al momento de comunicar los PLC de la serie SIMATIC S7-400 con los módulos remotos ET-200 y con otros esclavos DP.

Cuando se configura un sistema, las entradas y salidas del proceso normalmente están centralizadas en el sistema de automatización. Cuando la distancia entre las entradas, las salidas y el autómatas programable es considerable, el cableado puede ser complicado y largo, y las perturbaciones electromagnéticas pueden afectar a la fiabilidad. Para este tipo de instalaciones es recomendable utilizar unidades de periferia descentralizada que presentan las siguientes características:

- La CPU de control se instala de forma centralizada.
- Las unidades de periferia (entradas y salidas) operan "insitu" (en sitio) de forma descentralizada.
- El potente PROFIBUS-DP con su alta velocidad de transmisión de datos asegura una comunicación rápida y segura entre la CPU de control y los sistemas de periferia.

En la figura 3.1 se puede observar el modelo de configuración de un sistema de automatización con periferia descentralizada, en donde se puede apreciar al PLC que actúa como maestro y los esclavos que con él interactúan.

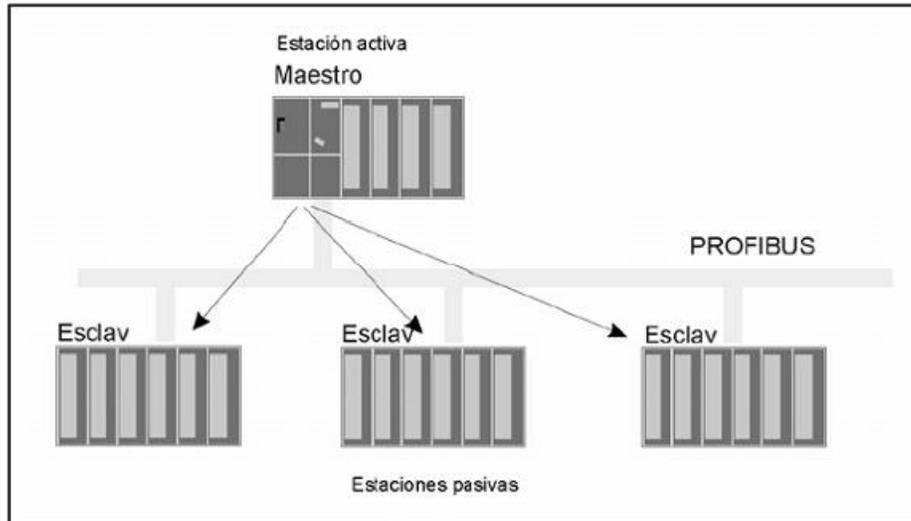


Figura 3.1. Configuración de Periferia Descentralizada

El S7-400 es lo más versátil en autómatas programables de la serie SIMATIC S7 de Siemens y es perfecto para operar como equipo maestro dentro de un sistema de periferia descentralizada. Mediante una selección adecuada de componentes del S7-400 es posible resolver prácticamente cualquier tarea de automatización. [11]

El sistema de automatización S7-400 reúne todos los parámetros de los sistemas precedentes con las ventajas de un sistema y un software nuevo. A saber:

- Gama de CPU con prestaciones escalonadas.
- CPU compatibles ascendentemente.
- Módulos encapsulados en construcción robusta.
- Cómodo sistema de conexión en los módulos de señales.
- Módulos compactos con alta escala de integración.
- Óptimas posibilidades de comunicación y de interconexión en red.
- Cómoda integración de sistemas de manejo y visualización.

- Asignación de parámetros por software de todos los módulos.
- Amplia libertad de selección de slots (ranuras).
- Funcionamiento sin ventilador.

El sistema de periferia descentralizada ET 200M es un esclavo DP modular con grado de protección IP 20. El ET 200M presenta la técnica de montaje del sistema de automatización S7-300 y se compone del IM 153-X y módulos periféricos de la familia S7-300.

El sistema de periferia descentralizada ET-200M forma parte del sistema de automatización SIMATIC S7, significa que STEP 7 le ayuda en la configuración, asignación de parámetros y programación del ET 200M dentro del sistema maestro DP, así como en la puesta en marcha y en el diagnóstico.

Si se usan en un proyecto SIMATIC, los dispositivos de campo y los componentes de periferia descentralizada, se parametrizan utilizando la herramienta HW Config para la comunicación con el maestro PROFIBUS (controlador). Si no están ya integrados en el catálogo de hardware entregado, pueden añadirse a posteriori importando su archivo GSD en el entorno de configuración.

3.2 Perfiles PROFIBUS

Los perfiles son especificaciones definidas por los fabricantes y usuarios sobre las características concretas, las funciones y el comportamiento de los dispositivos y sistemas. Los perfiles ofrecen recursos de control y de integración (tecnología) para las aplicaciones y las cuestiones especiales específicas de las unidades de campo. Los más importantes son los siguientes:

- Dispositivos PA: El perfil de dispositivos PA define bloques de parámetros y de funciones para las unidades de campo de la automatización de procesos, por ejemplo, posicionadores digitales, transmisores y cajas de E/S. Permiten la interoperabilidad y el intercambio de unidades de campo de distintos fabricantes (intercambiabilidad).
- PROFIsafe: Define cómo se produce una comunicación fiable entre los dispositivos relacionados con la seguridad (botones de parada de emergencia, indicadores

luminosos, protección contra exceso de llenado, etc.) y los controles de seguridad a través de PROFIBUS permitiendo su uso en tareas de automatización relacionadas con la seguridad. Permite una comunicación segura a través de un perfil, es decir, mediante un formato de datos útiles especial y un protocolo de alto nivel.

- PROFIdrive: El perfil PROFIdrive define el comportamiento del dispositivo y los procedimientos de acceso a los datos de las unidades o actuadores eléctricos de PROFIBUS, desde convertidores de frecuencia sencillos hasta los servomandos más sofisticados.

El sistema modular PROFIBUS describe las posibilidades tecnológicas de este tipo de bus de campo como un todo que abarca diferentes aplicaciones y requisitos específicos, es por esto que existen variantes esenciales de PROFIBUS desde el punto de vista del usuario, las cuales son:

- PROFIBUS-DP: Se ajusta a los requisitos de intercambio de datos más rápido y eficiente entre los elementos de automatización y los elementos distribuidos, tales como módulos de entradas / salidas analógicas y actuadores.
- PROFIBUS PA: que permite transmitir por el mismo cable los datos digitales y la alimentación, utilizando cable bifilar y técnica de transmisión MBP (Manchester Coded; Bus Powered) de seguridad intrínseca. Es la solución óptima para integrar directamente en la industria de procesos dispositivos, por ejemplo: actuadores neumáticos, electroválvulas o sensores para tareas de medición y análisis.

3.3 PROFIBUS DP

PROFIBUS-DP cumple los elevados requisitos de tiempo que se imponen para el intercambio de datos en el sector de la periferia descentralizada y los dispositivos de campo. La configuración DP típica tiene una estructura con un único maestro. La comunicación entre el maestro DP y el esclavo DP se efectúa según el principio maestro-esclavo. El maestro dirige todo el tráfico de datos en el bus, esto significa que los esclavos DP sólo pueden actuar en el bus tras solicitarlo el maestro. A tal efecto, los esclavos DP son activados sucesivamente por el maestro conforme a una lista de llamadas (lista de sondeo). Entre el maestro DP y el esclavo DP se intercambian los datos útiles

continuamente (de forma cíclica), sin tener en consideración su contenido. A la periferia (por ejemplo, una unidad ET 200) conectada a PROFIBUS como esclavo DP se accede como a cualquier otra unidad periférica situada en el módulo central o de ampliación. Es decir, es posible acceder a los módulos periféricos directamente mediante instrucciones o durante la actualización de la imagen del proceso, este acceso se puede hacer de 2 formas:

1. A través de una CPU con puerto integrado.
2. Mediante tarjetas de comunicaciones CP o un módulo interface IM.

PROFIBUS-DP maneja velocidades de 12 Mbit/s, o si los esclavos no lo permiten, 1,5 Mbit/s. A un maestro DP (por ejemplo CPU) es posible conectar un máximo de 126 estaciones esclavos PROFIBUS DP (según el CPU utilizado). Los siguientes parámetros se especifican, para PROFIBUS-DP, en la Norma 50170:

- La reserva de bus se produce en PROFIBUS-DP tras el procesamiento de “Paso de Testigo con Maestro – Esclavo”.
- Tiempo ciclo típico entre 5 -10 ms.
- Se puede conectar un máximo de 126 estaciones con una longitud de registro de entre 0-246 bytes de datos de usuario.
- Rangos de transmisión de datos: 9,6 KBaud / 19,2 KBaud / 93,75 KBaud / 187,5 KBaud / 500 KBaud / 1,5 MBaud / 3 MBaud / 6 MBaud / 12 MBaud.
- La configuración del bus puede expandirse mediante módulos, los cuales pueden conectarse y desconectarse en ejecución.
- La transmisión se produce a través de un cable de dos hilos con interfase RS-485 o por fibra óptica.
- El cable de dos hilos está cruzado y apantallado, con una sección mínima de 0.22mm², y deben de cerrarse, en los extremos inicial y final, por terminales de cierre.
- Se puede establecer una red de área más amplia en PROFIBUS-DP, dividiendo el bus en segmentos, interconectados a través de repetidores.

- La topología de un segmento de bus es de estructura lineal (hasta 1200m) con pequeñas caídas de red (<0.3m). Con ayuda de los repetidores, se puede elaborar una estructura en árbol, como la que se muestra en la figura 3.2.
- El máximo número de estaciones por segmento de bus es de 32. Se puede conectar más segmentos a través de repetidores, teniendo en cuenta que cada repetidor se utiliza como una estación. Se puede conectar un total de 128 estaciones, contando todos los segmentos de bus.

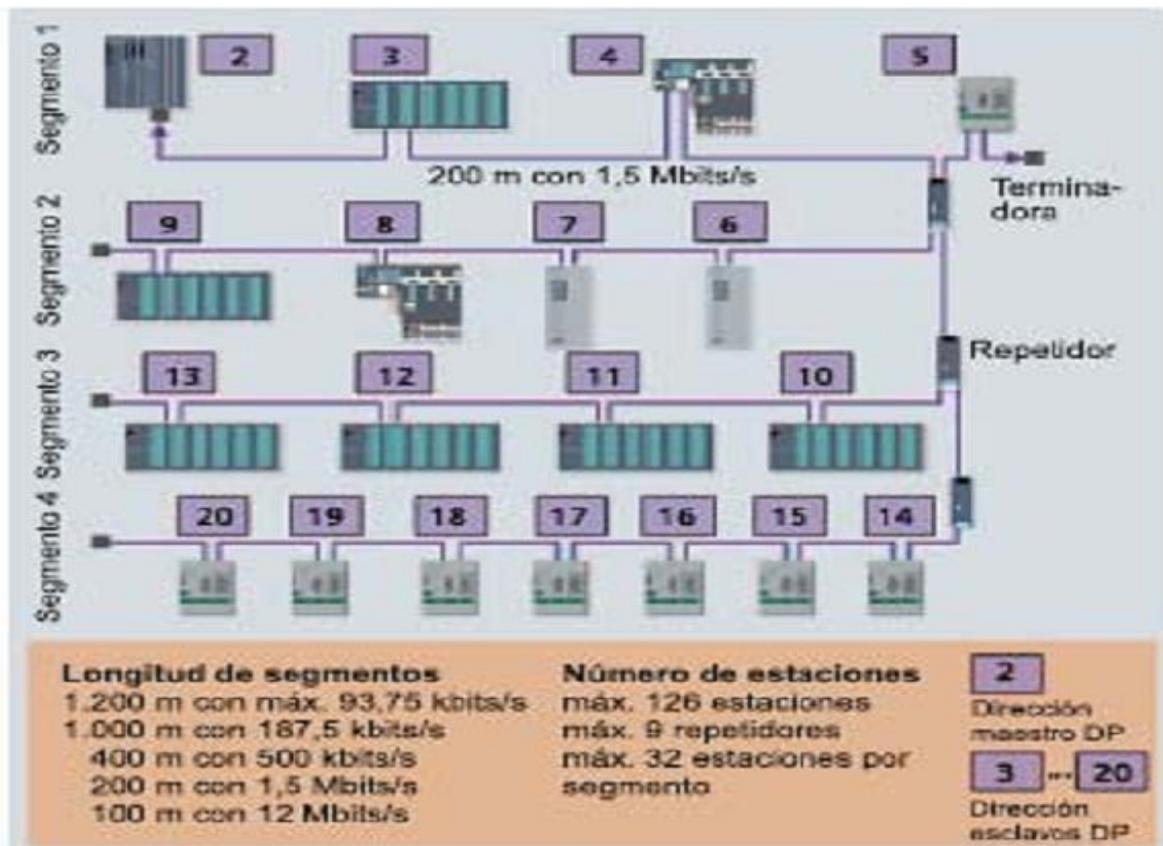


Figura.3.2 Topología de una red PROFIBUS

- En PROFIBUS-DP, existe una extensa gama de posibilidades de diagnóstico con la ayuda de herramientas de software.

PROFIBUS ofrece extensas posibilidades de diagnóstico asignables a las siguientes categorías:

- Diagnóstico de comunicación y línea de la red PROFIBUS, particularmente para detectar errores de cableado.
- Informaciones de diagnóstico del dispositivo inteligente de campo para fines de mantenimiento eliminación de fallos.

Para el diagnóstico de comunicación y líneas existen numerosas herramientas de software de diferentes fabricantes. Estas pueden integrarse directamente en la red PROFIBUS mediante de una interfaz de PC y ofrecen al técnico de puesta en marcha o de mantenimiento extensas funciones para diagnosticar y analizar el bus. Entre ellas figuran:

- Registro e interpretación de telegramas.
- Reconocimiento automático de la velocidad de transmisión.
- Lifelist de todas las estaciones del bus.
- Diagnóstico general (estados actuales) de todas las estaciones del bus.
- Evaluación estadística de los eventos del bus.

En el diagnóstico de los dispositivos de campo inteligentes, el mecanismo de diagnóstico normalizado de PROFIBUS permite detectar y eliminar rápidamente anomalías en los dispositivos conectados a PROFIBUS. Además los mensajes de diagnóstico de los dispositivos de campo pueden utilizarse para el mantenimiento preventivo, es decir para tomar medidas preventivas a partir de irregularidades detectadas ante de un eventual fallo, aquí PROFIBUS pasa la información de diagnóstico, en calidad de mensaje de alarma a la estación de operador.

La aplicación S7-PLCSIM permite ejecutar y comprobar el programa de usuario en un sistema de automatización (PLC) simulado en un PC o en una unidad de programación. Puesto que la simulación se realiza sólo mediante el software STEP 7, no se requiere ninguna conexión con equipos hardware S7

(CPU o módulos de ampliación). El PLC S7 simulado permite probar y depurar programas para las CPU S7-300 y S7-400. [14]

S7-PLCSIM incorpora una sencilla interface de usuario para visualizar y modificar diversos parámetros utilizados por el programa (como por ejemplo, para activar y desactivar las entradas).

Se pueden usar varias aplicaciones del software STEP 7 mientras se va ejecutando el programa en el PLC simulado. Ello permite utilizar herramientas tales como la tabla de variables (VAT) para visualizar y modificar variables.

El S7-PLCSIM ofrece las siguientes funciones:

- La simulación se activa o desactiva con un botón de la barra de herramientas del Administrador SIMATIC. Haciendo clic en dicho botón se abre la aplicación S7-PLCSIM con una CPU simulada. Mientras se esté ejecutando S7-PLCSIM, todas las conexiones nuevas se establecerán automáticamente con la CPU simulada.
- El PLC simulado ejecuta programas creados para las CPU S7-300 ó S7-400.
- Es posible crear "subventanas" para poder acceder a las áreas de memoria de las entradas y de las salidas, a los acumuladores y a los registros del PLC simulado. Para acceder a la memoria también se puede utilizar el direccionamiento simbólico.
- Es posible elegir si los temporizadores deben funcionar automática o manualmente (activando o desactivándolos). Los temporizadores se pueden inicializar todos a la vez o de forma individual.
- Es posible cambiar el modo de operación (STOP; RUN y RUN-P) de la CPU simulada como si se tratara de una CPU real. Además, S7-PLCSIM dispone de la función Pausa que permite detener la CPU instantáneamente sin afectar el estado del programa.
- Los OB's de interrupción se pueden utilizar en el PLC simulado para comprobar el comportamiento del programa.
- Es posible grabar una secuencia de eventos (manipular la memoria de entradas y salidas, las marcas, los temporizadores y los contadores) y reproducir la grabación para automatizar los tests de programas.

Todas las herramientas de STEP 7 se pueden utilizar para observar y modificar las actividades del PLC simulado, así como para depurar el programa. Aunque el PLC simulado está íntegramente disponible en el software (sin necesidad de disponer de dispositivos especiales de hardware), STEP 7 actúa como si el PLC fuese un equipo de hardware real.

3.4 Estructura de Hardware de la Aplicación

El sistema fue implementado con un módulo de pruebas que funciona con un PLC S7 400 de Siemens. El desarrollo de este módulo permitió ejecutar todas las pruebas y simulaciones requeridas durante las etapas de configuración y programación del algoritmo de medición del flujo de mineral y la regulación de la velocidad al variador. El soporte del módulo de prueba se fabricó con angulares tipo L ranuradas sobre una base que no está fija al suelo, permitiendo trasladar con gran facilidad dicho módulo para los diferentes lugares donde se desarrollaron las pruebas. Esta estructura cuenta con una serie de elementos que componen todo el hardware. Los que a continuación se enumeran:

1. Bastidor central para PLC S7 400 tipo UR 2 6ES7400-1JA01-0AA0
2. Fuente de Alimentación PS 407 10 A 407-0KA02-0AA0
3. CPU 416-3 416-3XR05-0AB0
4. Tarjeta para comunicación para Ethernet CP 443-1 ADV 443-1GX20-0XE0
5. Tarjeta de Memoria para PLC S7 400 MC 952 / 2MB / RAM 6ES7 952-1AL00-0AA0.
6. Bastidor para S7 300 con bus Activo SIEMENS PROFILSCHIENE 530MM E-
Stand: 01
7. Modulo para periferia descentralizada SIMATIC ET 200M/LINK IM 153-2 153-
2BA02-0XB0
8. Tarjeta de entrada analógica SM331 AI 8 X 12BIT 331-7KF02-0AB0.
9. Tarjeta de salida analógica SM332 A0 4 X 12BIT 332-5HD01-0AB0.
10. Tarjeta de entrada digital SM 321 DI 32XDC24V 321-1BL00-0AA0
11. Conector de bus activo para IM 1P 6ES7 195-7HA00-0XA0.
12. Conector de bus activo para periferia 1P 6ES7 195-7HB00-0XA0.

13. Convertidor de pulso tipo KR: FRE/VI-A entrada 0/1kHz salida V-i 4/20mA alimentación 220v AC.
14. Rodillo Retorno (Tacómetro) SIEMENS RBSS S/N: F04/067. Ver anexo 3
15. Celda de cargas. Ver anexo 4

3.5 Descripción de la aplicación

Este sistema tiene como objetivo realizar de manera eficaz la medición del flujo de mineral en una banda transportadora a partir de las mediciones del peso que se mueve sobre ella y la velocidad con que se desplaza el material pesado y la regulación de la velocidad del motor que acciona dicha banda.

Se desarrolló el algoritmo de cálculo para la determinación del flujo, en el programa del PLC S7 400.

Se programaron diferentes bloques que permiten realizar varias funciones tales como:

1. Bloque de parametrización de la pesa.
Permite fijar los parámetros operacionales y los datos que dependen de las características de la banda.
2. Bloque para el ajuste del cero o la tara.
Permite ajustar el valor Cero de acuerdo con el peso que ejerce la banda en su estado vacío sobre las celdas de peso.
3. Bloque para la calibración del valor del peso que brindan las celdas.
Permite calibrar el valor de del peso que brindan las celdas, a partir de un peso patrón conocido y aplicado sobre la banda.
4. Bloque para la calibración dinámica del pesaje.
Este bloque permite calibrar el valor de la velocidad que brinda el tacómetro a partir del valor total del peso medido y el tiempo de la muestra.

En el anexo 1 se muestra en el lenguaje de código de la programación realizada para cada uno de los bloques anteriormente mencionados. Se realizó la configuración para la regulación de la velocidad del alimentador mediante la utilización del bloque CONT-C de Simatic para PID.

Cada uno de los parámetros que intervienen tanto en los ajustes del sistema de pasaje continuo como el del PID, para la regulación de la velocidad en función del flujo de mineral, se visualiza en una aplicación de Citect confeccionado para este sistema.

3.6 Desarrollo de la aplicación en Simatic

Para desarrollar el proyecto que funciona en el PLC se realizaron los siguientes pasos en el software Simatic.

1. Se inició un nuevo proyecto que llevó el nombre de Sistema_Pesaje y se guardó en una determinada ruta de la PC que se utilizó en la configuración, como se muestra en la figura 3.3.

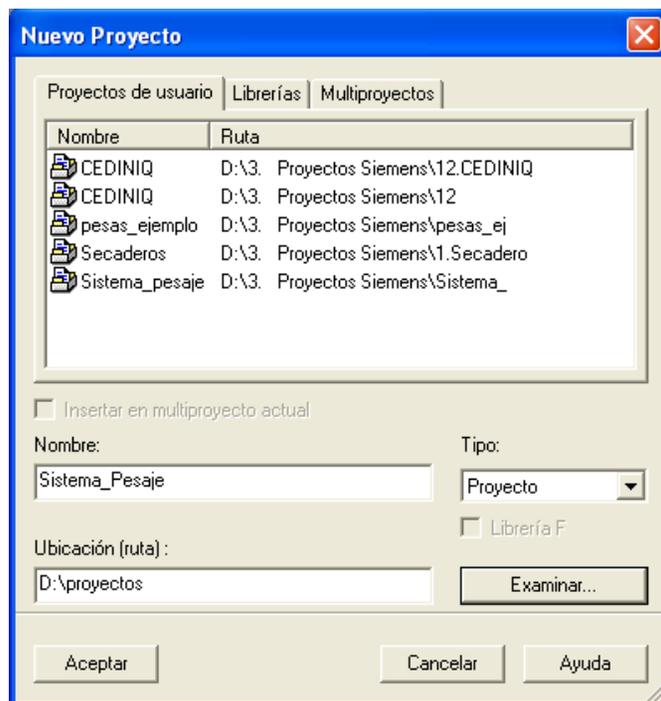


Figura 3.3 Ventana de adición de nuevo proyecto en Simatic

2. Se seleccionó el tipo de PLC con el que se trabajaría el sistema, un PLC S7 400, como se muestra en la figura 3.4.

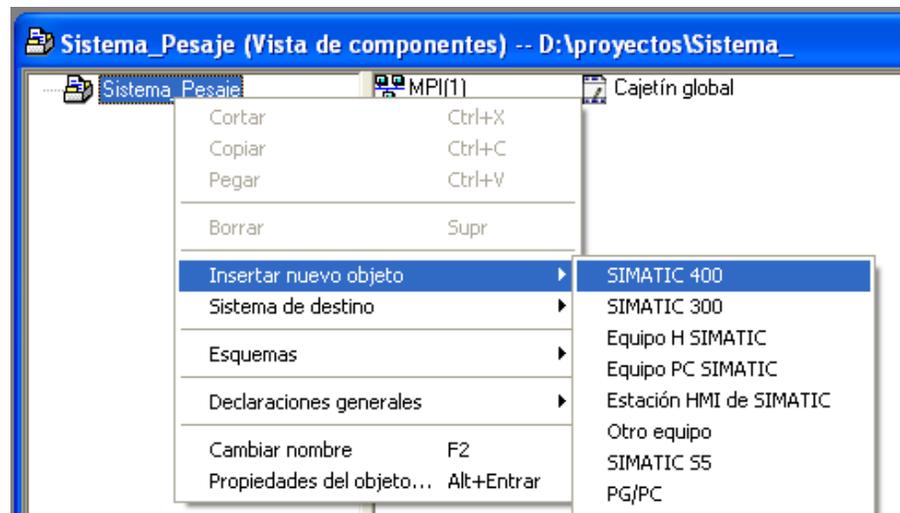


Figura 3.4 Ventana de selección del PLC a usarse en Simatic

3. Se le introdujo al programa los diferentes componentes de hardware con que contaría el sistema. Es importante señalar que en este punto los módulos que se introduzcan tienen que coincidir exactamente con los que se pondrán físicamente en el hardware. Al introducir cada uno de estos elementos se van configurando las características con que se desea que ellos operen, al igual que la parametrización de las redes de comunicación que sean necesarias emplear en la aplicación. Ver figura 3.5.

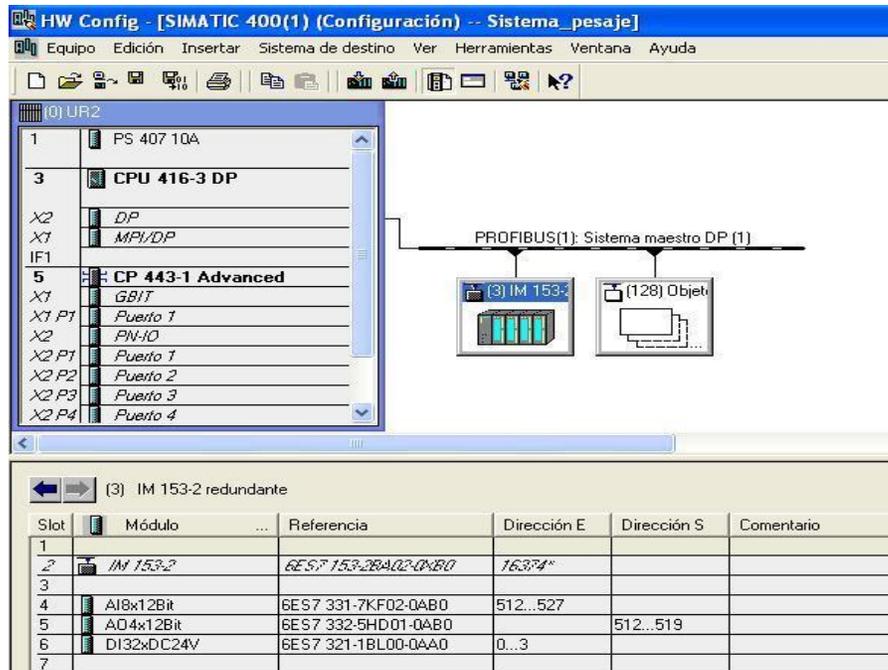


Figura 3.5 Ventana de los componentes de hardware del Simatic

Las direcciones IP establecidas para el PLC y la Computadora son las que a continuación se muestran:

- PLC IP: 172.22.24.234 Máscara Subred: 255.255.255.0
- PC IP: 172.22.24.235 Máscara Subred: 255.255.255.0

La red de profibus se usó para conectarle a la CPU, el módulo de periferia descentralizado IM 153-2 lo que permite que las señales de medición y mando que se conectan en las tarjetas de entrada analógica, salida analógica y entrada digital, puedan llegar hasta la CPU. Esta red tiene parámetros que se le deben configurar en el momento en que se crea, tales como el tipo de red profibus que se va emplear, estas pueden ser DP, Estándar o Personalizada, para este caso se seleccionó DP. Otro parámetro importante a seleccionar es la velocidad de transferencia de datos con que trabajará la red, este elemento juega un papel fundamental porque el valor de la velocidad se debe ajustar de acuerdo con la distancia en que se encuentre los dispositivos a comunicar, a mayor velocidad con que se opere la transferencia de datos en la red de profibus menor será la distancia en que puedan estar los dispositivos. La distancia y la velocidad son parámetros que están inversamente relacionados. Para el caso de la aplicación desarrollada se seleccionó la mayor velocidad porque los dos elementos a comunicar se encuentran muy cercanos.

Otro parámetro a seleccionar es el número que tendrá cada esclavo que se conecte a la red, ella funciona bajo la filosofía de Maestro/Esclavo. En esta red se pueden conectar hasta 128 dispositivos y no se puede repetir en la red el número dado a un esclavo o el máster pues cada elemento tiene que contar con un número diferente que lo identifique.

En la siguiente figura 3.6 se muestra el árbol de la comunicación empleada. En la parte superior se encuentra la PC destinada para la visualización y el mando de la aplicación, luego la red de control utilizada en Ethernet, después el PLC que es donde se ejecutan todas las funciones de control y cálculo, luego la red profibus que conecta la periferia descentralizada encargada de leer todas las señales de campo tanto analógicas como digitales.

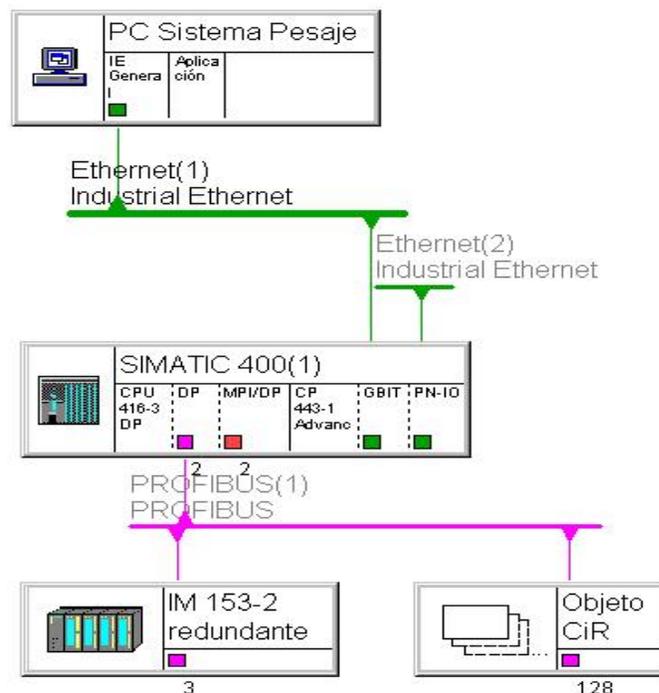


Figura 3.6 Estructura de las redes implementadas en la aplicación Simatic

3.7 Programación de la aplicación mediante el uso del lenguaje SCL (Structured Control Language) y el ambiente grafico de CFC (Continuous Function Chart)

Para la realización de la aplicación fue necesario desarrollar diferentes bloques de funciones que cumplieran con las necesidades de cálculo, ajustes y parametrización del sistema, teniendo en cuenta todas las metodologías necesarias a ser implementada. En el

siguiente diagrama de bloque se muestran los diferentes pasos que se deben ejecutar para realizar una correcta medición del flujo de mineral. Ver figura 3.7

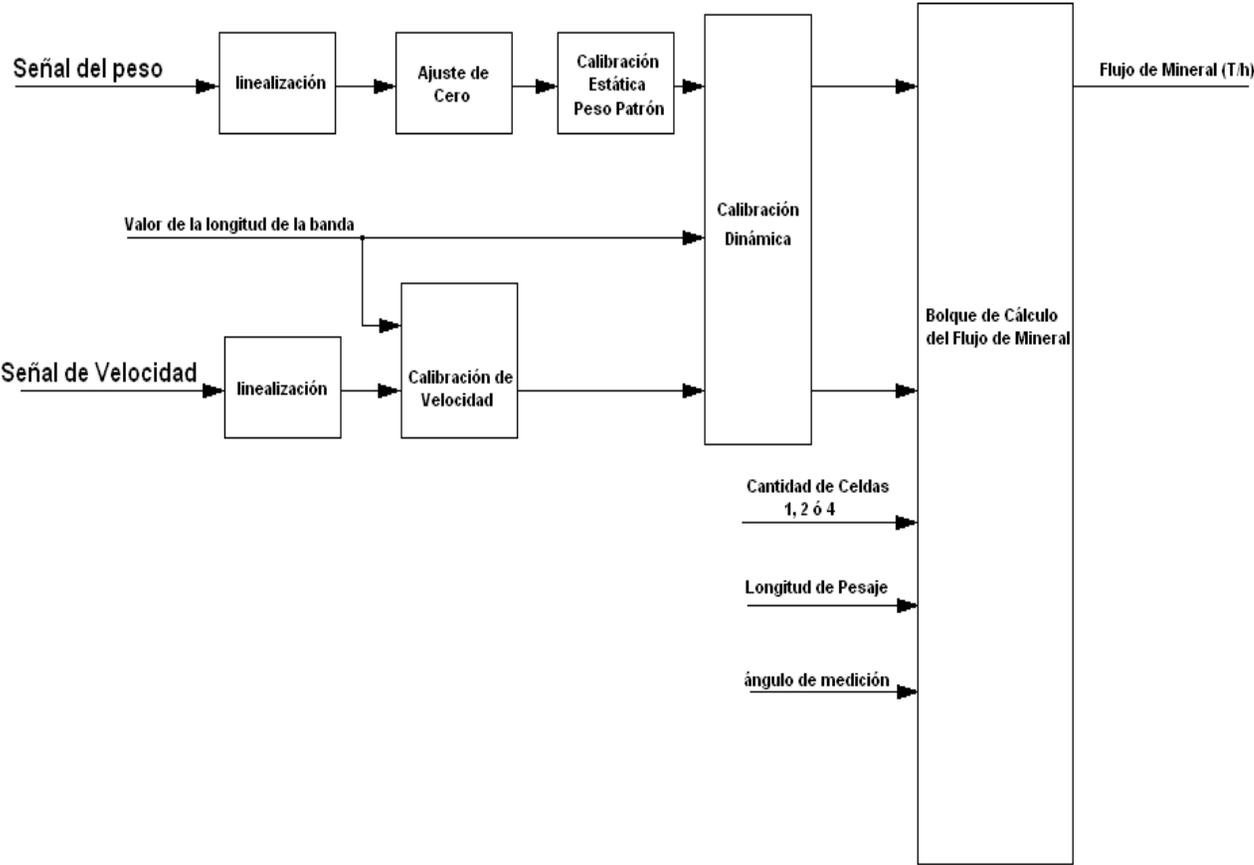


Figura 3.7 Diagrama de bloque de la aplicación

Las entradas de este diagrama representan las señales de medición del peso y la velocidad, ellas pasan a través de un bloque de linealización que se encarga de convertir las señales de corrientes del tacómetro y el voltaje de las celdas en valores reales para su uso en el PLC.

El valor del peso tiene que ser ajustado para su valor cero luego que la celda esté acoplada a la báscula de pesaje, es por ello que se implementó un bloque denominado Ajuste de cero o tara. Después de este paso es necesario comprobar que el valor que brinda la celda se corresponde con un resultado con un coeficiente de error bajo en la medición, para esto se implementó el bloque de calibración estática, el cual tiene como

función ajustar el resultado que se visualiza a un determinado valor patrón que se sobrepone a la pesa y permite disminuir el error.

Luego de calibrar de forma independiente el peso y la velocidad se puede ejecutar una calibración dinámica, este procedimiento se realiza en el bloque que lleva ese nombre, el cual permite corroborar que el valor del peso totalizado que se visualiza después de una corrida con un elemento patrón que coincide con su valor real de peso. El elemento patrón puede ser una cadena con un peso conocido.

El bloque que permite finalmente determinar el flujo de mineral se le denominó bloque de cálculo del flujo de mineral, este necesita conocer los valores de peso y velocidad ya calibrados, además de la cantidad de celdas que están conectadas a la báscula, el ángulo de inclinación del pesaje respecto a la celda y la longitud de pesaje.

Dónde:

- V Velocidad de la correa (m/s)
- LP Longitud de Pesaje (m)
- P Peso Patrón(T)
- Q Flujo Másico (Tn/h
- θ Ángulo de inclinación θ

A) Para Banda transportadora Horizontal se puede calcular el flujo mediante la siguiente ecuación:

$$Q \text{ (T/h)} = P \text{ (T)} \cdot V \text{ (m/h)} \cdot LP \text{ (m)} \quad (3.1)$$

B) Para Banda Transportadora con un ángulo de inclinación θ , la ecuación es la siguiente:

$$Q \text{ (T/h)} = P \text{ (T)} \cdot \cos \theta \cdot V \text{ (m/h)} \cdot LP \text{ (m)} \quad (3.2)$$

Estas ecuaciones se introdujeron en la programación permitiendo de manera dinámica realizar los cálculos continuamente partiendo que los valores de velocidad y peso del mineral son mediciones del sistema, lo que permite en la aplicación conocer de manera continua el valor real del flujo alimentado.

En la figura 3.8 se muestra la interrelación de las diferentes variables que intervienen en la aplicación y la conexión entre los diferentes elementos. Para el arranque y parada del variador de velocidad se emplean dos señales digitales de salida del PLC. La señal de arranque se activa por una orden dada por el operador cuando este pulsa un botón en el Citect para ejecutar la acción, lo que produce que esta señal se active durante 500 ms, tiempo suficiente para que quede energizada la bobina de arranque del variador de velocidad y este quede listo para la operación, cuando esto sucede el variador activa una señal digital que es leída por el PLC a través de una entrada digital que permite conocer el estado de funcionamiento del equipo. Si la acción que se ejecuta es de parar entonces se activa durante 500 ms la salida destinada para la parada energizando la bobina de desconexión del variador, sacándolo de operación y la señal que brinda el variador para conocer su estado se desactiva. Las funciones de arranque y parada se ejecutan en un bloque del PLC programado el cual lleva el nombre de Lógica de arranque y parada.

Las señales, velocidad de la banda y peso del mineral transportado llegan al PLC mediante entradas analógicas que este dispone, son las mediciones que permiten mediante la programación interna para el cálculo de flujo poder conocer el valor del flujo de mineral, que es la variable utilizada para regular la velocidad del variador mediante el bloque PID configurado a PI. La acción de variación de velocidad es calculada por el PI para mantener el flujo deseado y mediante una salida analógica de 4-20 mA se envía al variador. El variador de velocidad devuelve al PLC una señal analógica que permite conocer la velocidad real con que está operando.

Toda la información del sistema se visualiza en la computadora mediante el Citect y a través de él se pueden ejecutar todas las acciones de mando y visualización.

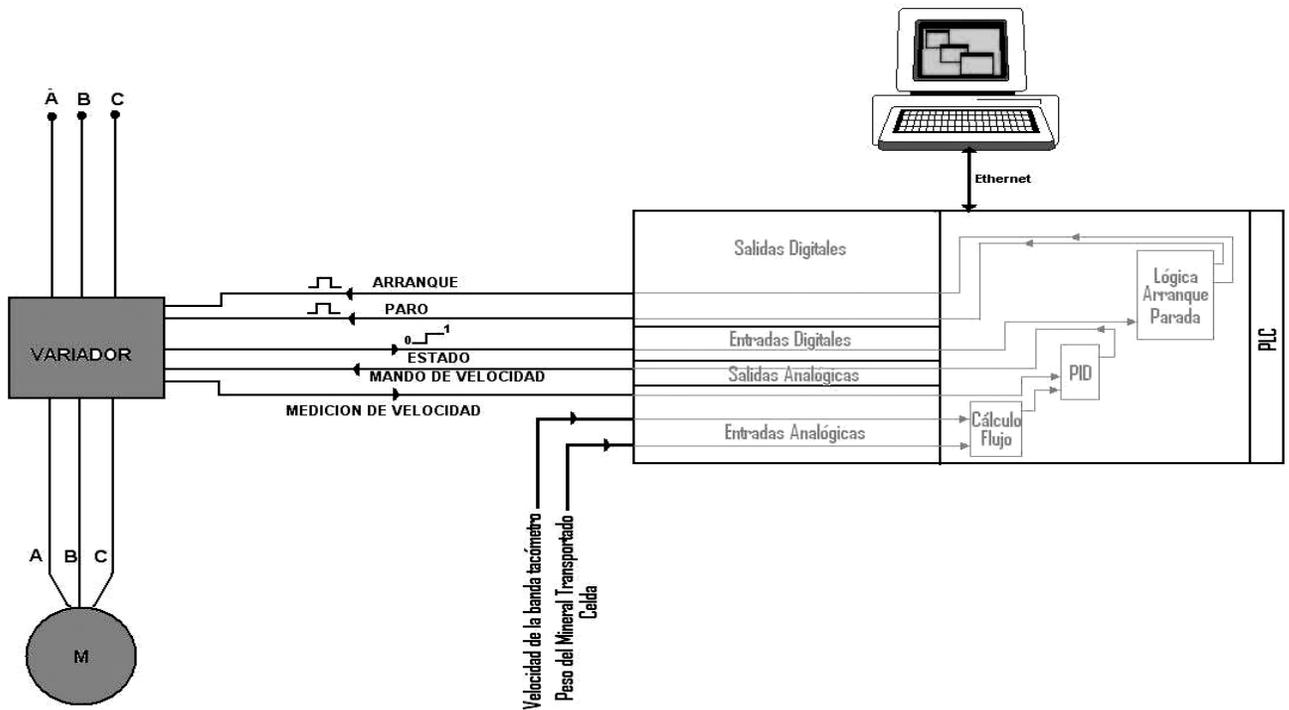


Figura 3.8 Señales que se conectan entre el variador de velocidad y el PLC

3.8 El sistema SCADA Citect

CitectHMI / SCADA se utilizan en una variedad de aplicaciones, y en muchas industrias. Sea cual sea su aplicación, es una herramienta que ofrece un efectivo sistema de monitoreo y control en las plantas de procesos. La arquitectura cliente-servidor proporciona muchos beneficios para grandes y pequeñas aplicaciones por igual, se tiene la flexibilidad de elegir el diseño del sistema, confiando en que será rápido, eficiente, escalable y completamente.

Ventajas del Citect:

- Proporcione a los operadores un control total con gráficos claros y concisos.
- Posibilidad de añadir botones en las diferentes páginas, para realizar tareas simples o múltiples.
- Animaciones sofisticadas de diseño para mostrar el estado de funcionamiento y el rendimiento de la planta.
- mensajes de texto de pantalla y gráficos que muestran el estado de un proceso o el estado de las alarmas.

- configuración de proyecto en varios idiomas.
- comandos de teclado que funcionan para todas las páginas o páginas individuales.
- Supervisión, control y registro para todas las alarmas, en varios formatos.
- Proporcionar históricos en tiempo real y tendencias desde los milisegundos en formato gráfico.
- Monitorear el desempeño y la eficiencia a partir de las tendencias de las variables del registro de datos.
- Generar informes periódicos y orientados a eventos en formato de texto enriquecido (RTF).
- Sistema de seguridad de múltiples capas, que permite a su personal el acceso a las áreas que tiene permitida.
- Es fácil de aprender y usar características tales como plantillas, genios y súper genios.
- Los gráficos y el color automático de intercambio, reduce el tiempo y el esfuerzo para la configurar y maximiza el rendimiento.

3.9 El entorno de configuración

El entorno de configuración se compone de un conjunto de herramientas que se utilizan para construir el sistema de ejecución (RUNTIME). La configuración se centra en el Explorador de Citect, que se utiliza para crear y gestionar proyectos.

Los proyectos se utilizan para organizar los datos de configuración en la lógica de forma organizada. El diseño de un sistema puede ser usado en uno o más proyectos a la vez, dependiendo de la modularidad de su planta.

El entorno de configuración del Explorador de Citect cuenta con tres ventanas:

1. Ventana principal del Explorador Citect.
2. Ventana del Editor de Proyecto.
3. Ventana de Diseñador de Gráficos

3.10 Ventana principal del explorador Citect

El Explorador de Citect se utiliza para crear y administrar los proyectos SCADA. La figura 3.9 muestra la ventana del Explorador de Citect, al iniciar el Explorador de Citect, el Editor de proyectos y el Diseñador de gráficos se inician automáticamente, sucede lo mismo cuando se cierra el explorador, las otras dos ventanas también se cierran.

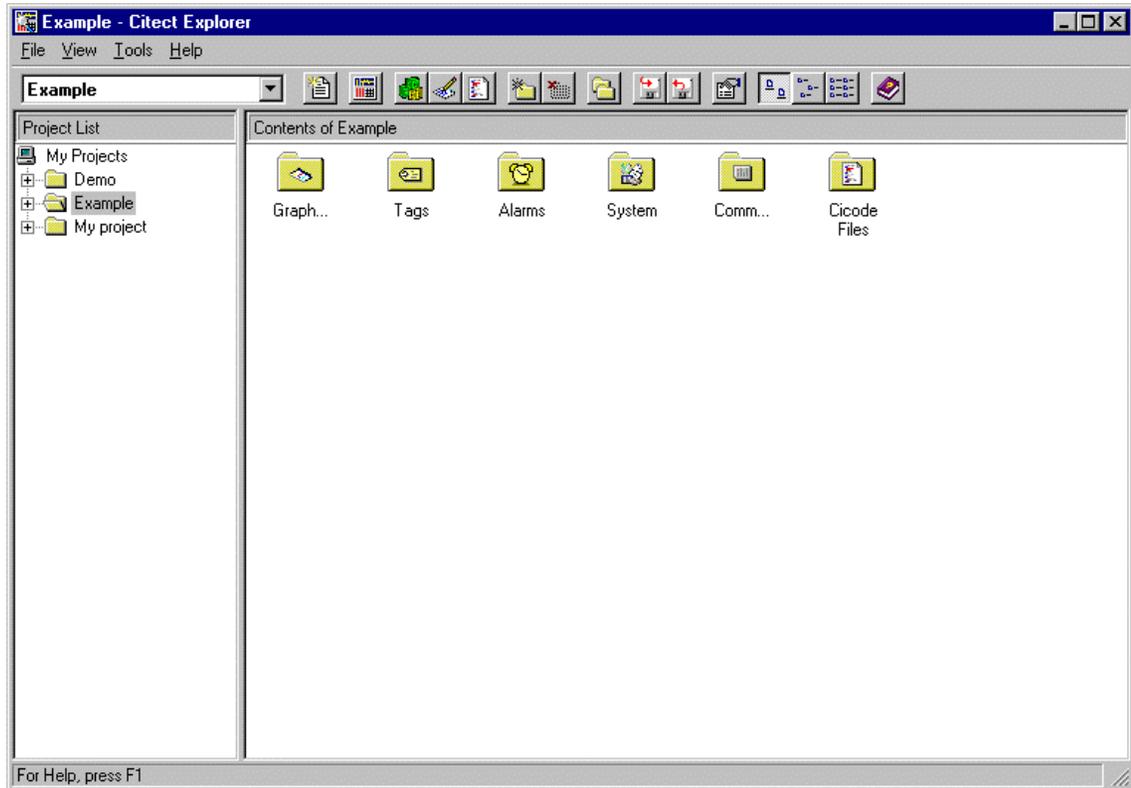


Figura 3.9 ventana del Explorador de Citect

3.11 Ventana del Editor de Proyecto

El Editor de Proyecto Citect es usado para editar, crear y gestionar la interface hombre-máquina (HMI), la base de datos con la información de configuración para el proyecto, y no está relacionado con los gráficos de las diferentes páginas. Todos los registros de la base de datos del proyecto se pueden ver en el Editor de Proyecto Citect. Tiene comandos específicos que son accesibles a través del sistema de menús botones. La ventana se muestra en la figura 3.10

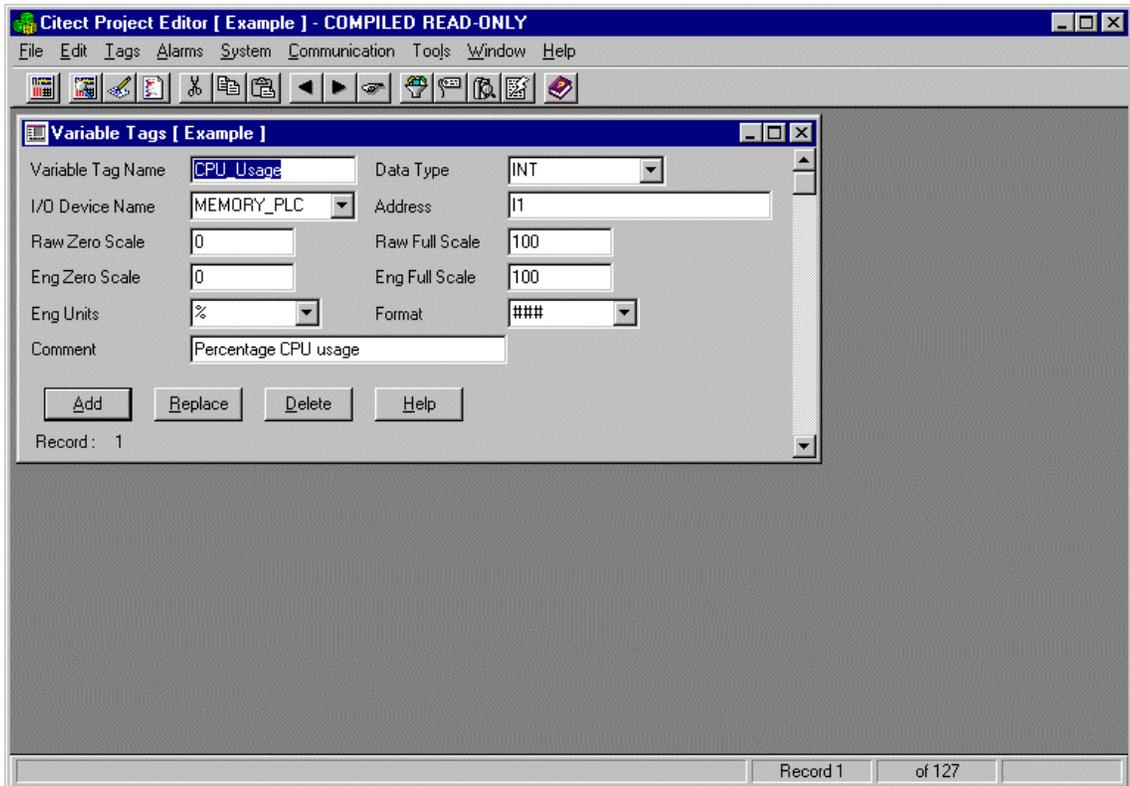


Figura 3.10 Ventana del Editor de Proyecto Citect

3.12 El sistema de ejecución (RUNTIME)

El sistema de ejecución es la aplicación que se utiliza para controlar y supervisar su planta. Se logra un exitoso sistema de ejecución mediante la correcta utilización de las herramientas de configuración mencionados anteriormente. Una vez que se haya configurado el proyecto, se debe compilar para poner en marcha el sistema de ejecución.

Para la visualización de las variables se empleó el SCADA Citect en la versión 7.10. Este software se instaló en una PC HP 7700, utilizando para la comunicación de PLC y SCADA una red de Ethernet a velocidad de 100 Mb/s.

Capítulo 4. Interfaces de Citect en Accionamientos Eléctricos

4.1 Configuración de la comunicación entre el Citect y el PLC

En un proyecto en el SCADA Citect la configuración de la comunicación es uno de los aspectos más importante del proyecto. Existe en el Citect una estructura organizativa para la configuración la cual está estructurada por :

1. Servidor de entrada y salida de datos.(I/O Servers)
2. Tarjetas (Boards)
3. Puerto de comunicación (Ports)
4. Dispositivo de entrada y salida de datos.(I/O Devices)

4.1.1 Servidor de Entrada y Salida de datos. (I/O Servers)

Para la configuración del servidor de entrada y salida se tiene que introducir en la ventana que se muestra en la figura 4.1, el nombre que llevará dicho servidor. La computadora de operación en la que correrá la aplicación, para este proyecto se nombró el servidor como *PC_Pesas*.

El nombrar la aplicación del servidor de entrada y salida de datos permite en una red de computadoras que funcionen con el SCADA Citect, la identificación del proyecto y la transferencia de información a otros niveles.



Figura 4.1 Ventana de configuración del servidor de entrada y salida

4.1.2 Tarjetas (Boards)

La configuración de las tarjetas permite al Citect conocer a través de cuál tarjeta física, que esté conectada a la computadora, se comunicará. En la ventana se tiene que escribir el nombre que se le asignará a la tarjeta. El tipo de tarjeta depende del protocolo de comunicación que ella soporte. La salida especial de conexión de datos es el parámetro

que está directamente relacionado con el dispositivo al que nos comunicaremos, en este caso particular la comunicación es con un PLC S7 400 de Siemens y para la comunicación de debe acceder a él a través de punto de acceso CP_L2_1, como se muestra en la figura 4.2.

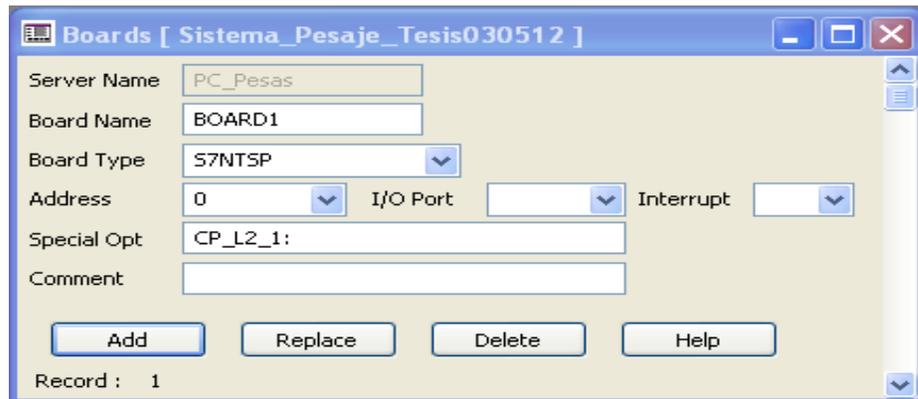


Figura 4.2 Ventana de configuración de las Tarjetas

4.1.3 Puerto de Comunicación (Ports)

Los puertos de comunicación son direcciones lógicas que se establecen dentro de las tarjetas y la cantidad de puertos depende de la capacidad de la tarjeta. En las aplicaciones se tiene que declarar un puerto por cada dispositivo que se tenga que comunicar. En este caso en particular solo fue necesario configurar un solo puerto porque solo se comunicó el Citect con un PLC. En la ventana de configuración tiene que aparecer el puerto declarado asociado a la tarjeta al cual el pertenece, como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3 Ventana de configuración de los puertos

4.1.4 Dispositivo de Entrada y salida de datos. (I/O Devices)

Se le denominan dispositivo de entrada y salida a aquellos equipos que cuenten con algún tipo de interface de comunicación y tengan la posibilidad de intercambiar datos, estos pueden ser un PLC, un rele inteligente, un variador de velocidad u otra computadora. Cada uno de estos dispositivos a la hora de configurarlo para la comunicación, no se puede violar el nombre de la dirección que lo identifica. La figura 4.4 muestra la configuración realizada para el PLC S7 400, en esta ventana existe un parámetro llamado *Number*, para cada dispositivo que se agregue tiene que ser diferente. Nótese que en la configuración del dispositivo que se agregue tiene que existir el nombre del servidor, el nombre del dispositivo, a través de que tarjeta se comunicará, el puerto al cual pertenece, la dirección que lo identifica, el número, y el protocolo de comunicación. Toda esta información le permite al SCADA poder conectarse al dispositivo y establecer una vía de enlace y un camino para la transferencia de datos.

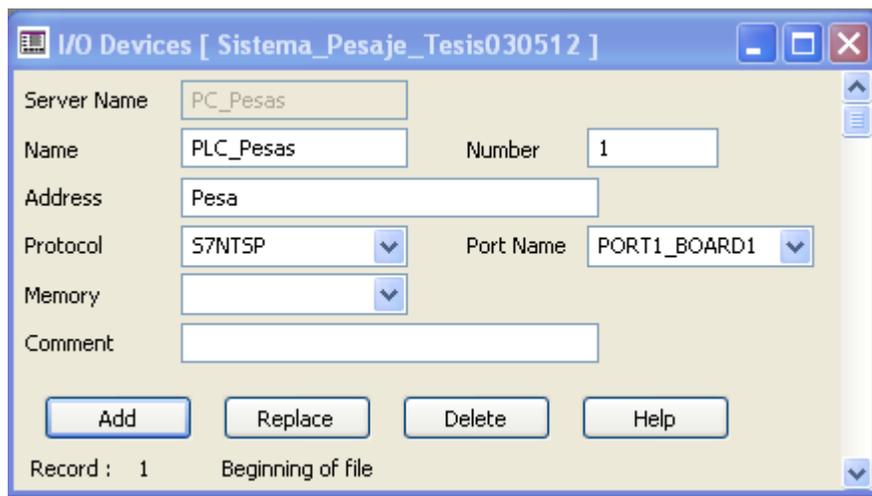


Figura 4.4 Ventana de configuración del dispositivo de entrada y salida

Teniendo configurado en el Citect los aspectos referidos a el Servidor, la tarjeta, los puertos de comunicación y el dispositivo al que se desea comunicar el próximo paso que sigue es el de incorporar la variables que el sistema necesita.

4.2 Variables del sistema

Las variables empleadas en el sistema se agregaron conociendo previamente sus direcciones de memorias en las que se encuentran ubicadas dentro del dispositivo. Ellas son medidas por los sensores o llevadas a los actuadores mediante las tarjetas de

entradas y salidas, tanto analógicas como digitales que cuenta el PLC (Dispositivo), pueden ser de diferentes estructuras de datos:

- Reales
- Digitales
- Enteros
- De tipo texto

Además de las variables que se leen de los sensores y que se envían a los actuadores existen otras que son internas de los dispositivos y se crean con el objetivo de almacenar el resultado de cálculos, lógicas y otras operaciones, ellas también tiene asignaciones de direcciones de memorias.

En la siguiente tabla 4.1 se muestra el conjunto de variables que se agregaron el Citect para visualizarlas y ejecutar las acciones de mando, ajuste y parametrización de la aplicación.

Tabla 4.1 Listado de variables incorporadas al Citect

NAME	TYPE	UNIT	ADDR	RAW_ZERC	RAW_FULL	ENG_ZERO	ENG_FULL	ENG_UNIT	FORMAT
peso	REAL	PLC_Pesas	DB100,0	0	200	0	200	kg	###.##
peso_patron	REAL	PLC_Pesas	DB100,4	0	200	0	200	kg	###.##
Velocidad	REAL	PLC_Pesas	DB100,8	0	5	0	5	m/s	##.###
Velocidad_referencia	REAL	PLC_Pesas	DB100,12	0	5	0	5	m/s	##.#
Fluj_Mineral	REAL	PLC_Pesas	DB100,16	0	1500	0	1500	t/h	####.##
Cant_Celdas	REAL	PLC_Pesas	DB100,20	0	4	0	4		##
Angulo	REAL	PLC_Pesas	DB100,24	0	90	0	90		##.#
Long_Pesaje	REAL	PLC_Pesas	DB100,28	0	2	0	2		##.#
Flujo_referencia	REAL	PLC_Pesas	DB100,32	0	1500	0	1500		####.##
Peso_prueba	REAL	PLC_Pesas	DB100,36	0	200	0	200		####.##
Longitud_banda	REAL	PLC_Pesas	DB100,40	0	1000	0	1000		####.##
Calb_Peso	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.0	0	1	0	1		##
Borrar_calb	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.1	0	1	0	1		##
Tarar_Pesa	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.2	0	1	0	1		##
Error_Cant_Celda	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.3	0	1	0	1		##
Act_Fluj_referenc	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.4	0	1	0	1		##
Act_Veloc_referenc	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.5	0	1	0	1		##
Act_peso_prueba	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.6	0	1	0	1		##
Cero_no_ajustado	DIGITAL	PLC_Pesas	m0.7	0	1	0	1		##
SP	REAL	PLC_Pesas	DB110,0	0	1500	0	1500		####.##
MV	REAL	PLC_Pesas	DB110,4	0	100	0	100		####.##
gain	REAL	PLC_Pesas	DB110,8	0	1	0	1		##.#
TI	REAL	PLC_Pesas	DB110,12	0	500	0	500		###
TD	REAL	PLC_Pesas	DB110,16	0	500	0	500		###
AUT_MAN_PID	DIGITAL	PLC_Pesas	M1.0	0	1	0	1		#
amperaje_alimentador	REAL	PLC_Pesas	DB100,44	0	200	0	200	amp	###.##
RPM_alimentador	REAL	PLC_Pesas	DB100,48	0	1780	0	1780	amp	####.##

El uso de ellas dentro del Citect es lo que permite la ejecución de todas las funciones de operación de manera exitosa.

4.3 Ambiente gráfico de la aplicación

Los gráficos desarrollados para la aplicación cuentan con una página principal en la que se muestra el estado de funcionamiento del sistema en su conjunto. Existe una tabla llamada *Parametrización, ajuste y calibración*, habilita con botones que realizan la llamada a las ventanas que ejecutan las acciones anteriormente mencionadas. Tiene un texto que indica de forma parpadeante cuando el sistema tiene el *Cero no ajustado*. Los mímicos creados brindan la información del estado de funcionamiento del variador de velocidad, del motor que mueve la banda transportadora en la que se mide el flujo de mineral y la visualización de las variables. En la figura 4.5 se muestra el gráfico de la página principal.

Sistema de Pesaje Continuo atendido con Variador de Velocidad

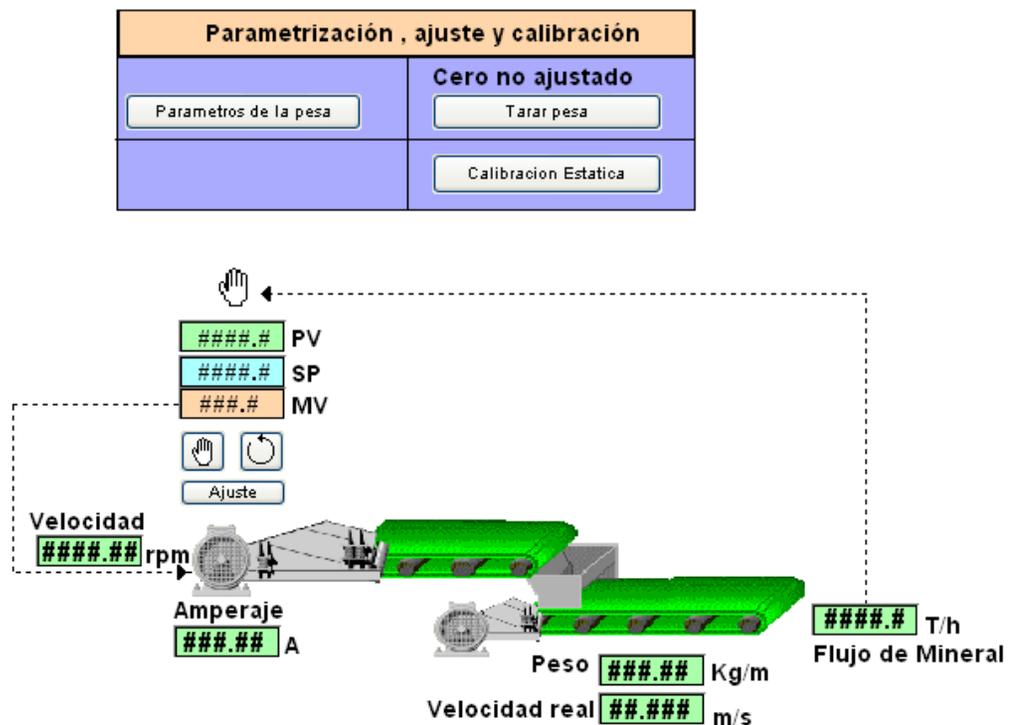


Figura 4.5 Página principal de la aplicación

Para cada una de las variables del sistema existe un registro llamado trends de variables que tiene como función guardar los datos en la medida en que van variando en el tiempo, lo que permite la realización de análisis y estudio de la operación.

Existe en la ventana la información del comportamiento del Lazo de control de la velocidad, en función del flujo de mineral. Se muestra cuando el lazo está operando en manual o en automático, los valores de la variable de proceso (PV) que es el flujo de mineral, el valor de la consigna o *set point* (SP) que es el valor que se desea que alcance el PV, la variable manipulada (MV) que es el número de revoluciones que se le ordena que tenga el variador. En la pantalla se muestra el valor real de la velocidad que tiene el variador de velocidad.

4.3.1 Ventanas de ajuste y configuración

Se desarrollaron un grupo de ventanas que permiten configurar y ajustar todo el sistema partiendo de los aspectos necesarios requeridos para lograr una operación eficiente.

La parametrización es el paso inicial de ajuste del sistema, para ello se elaboró una ventana a través de la cual se pueden introducir todos los parámetros, ellos son:

1. Cantidad de celdas que se conectarán(1,2 ó 4)
2. Ángulo de inclinación de la banda.
3. Longitud de pesaje (Distancia de la banda que ejerce su peso sobre la celda).
4. Flujo de referencia (Seleccionable a utilizar en caso de necesitar realizar cálculos de comprobación en el sistema).
5. Velocidad de referencia (Seleccionable en caso de rotura del tacómetro).
6. Peso de prueba (Seleccionable a utilizar en caso de necesitar realizar cálculos de comprobación en el sistema).
7. Longitud de la banda.

La figura 4.6 muestra la ventana que se diseñó para la ejecución de la parametrización.

Parametros de la pesa 			
Activar	Valor	Unidad	Descripcion
	##	U	Cantidad de celdas
	##.#	Grados	Angulo de inclinacion
	##.#	m	Longitud de Pesaje
<input type="button" value="No"/>	####.#	T/h	Flujo de referencia
<input type="button" value="No"/>	##.#	m/s	Velocidad de Referencia
<input type="button" value="No"/>	###.###	Kg/m	Peso de Prueba
	####.#	m	Longitud de la banda

Figura 4.6 Ventana de parametrización

Cuando se conectan por primera vez al sistema las celdas de carga y se acoplan a la banda, estando ésta vacía, dan un valor de señal que corresponde al peso que se ha adicionado, a este peso se le denomina Tara y se debe realizar la acción de tarar para que el sistema de control descuenta ese valor de la tara a la señal que dan las celdas. Para ejecutar esta acción el sistema tiene habilitado un aviso que indica cuando es necesario realizar el ajuste de tara, pulsando el botón *Tarar Pesa* en la ventana principal aparece el cartel mostrado en la figura 4.7. Si se desea realizar el ajuste del cero o tara se pulsa *Si* y el sistema ejecuta la acción correspondiente, de no querer ejecutarlo se pulsa el botón *No*.

Asegúrese que estén las condiciones creadas para ajustar el cero del peso en el sistema.

Realizar Ajuste:

Figura 4.7 Ventana para realizar el ajuste de Tara

Otro aspecto a tener en cuenta antes de poner en operación el sistema es la realización de la calibración, esto permite ajustar la señal de salida de las celda a un

valor lo más exacto posible. Para realizar este procedimiento se configuró una ventana llamada *Calibración Estática* que se muestra en la figura 4.8.

Calibración Estática	
<input type="button" value="Calibrar"/>	Peso Patrón ###.## Kg
Calibrando.	Peso ###.## Kg
<input type="button" value="Borrar Calibración"/>	<input type="button" value="X"/>

Figura 4.8 Ventana para la realización de la calibración

Esta ventana permite realizar un proceso de calibración partiendo de conocer el valor de un determinado peso patrón, tiene que estar aplicado sobre la zona de pesaje de la banda transportadora. En la ventana se muestran dos recuadros de valores:

1. Peso patrón
2. Peso

En el primero se tiene que escribir por teclado el valor del peso patrón conocido y aplicado a la banda y el segundo corresponde a la medición que está realizando la celda, la diferencia entre el peso patrón y el valor de la medición determinan la necesidad de realizar la calibración al sistema. De ser necesario realizar la calibración solo se tiene que pulsar el botón Calibrar mostrado en la figura anterior, el proceso concluirá cuando la diferencia entre el valor patrón y el valor de la medición sea un valor inferior a 0.03 Kg.

Para el ajuste del lazo de regulación de la velocidad en función del flujo de mineral se desarrolló una ventana que permite realizar este proceso, cuenta con un área en la que se visualizan en forma de histórico los valores de la Variable Proceso, el Set Point, y la Variable Manipulada, tiene recuadros que muestran de manera puntual estos valores, y permite variar el valor de set point para el funcionamiento automático del lazo según el criterio del operador y el valor de la variable manipulada para funcionamiento manual también a criterio del operador.

Cuenta con la posibilidad de introducir los parámetros de los valores proporcional, Integral y derivativos y variarlos según las necesidades de ajuste del lazo. Ver figura 4.9

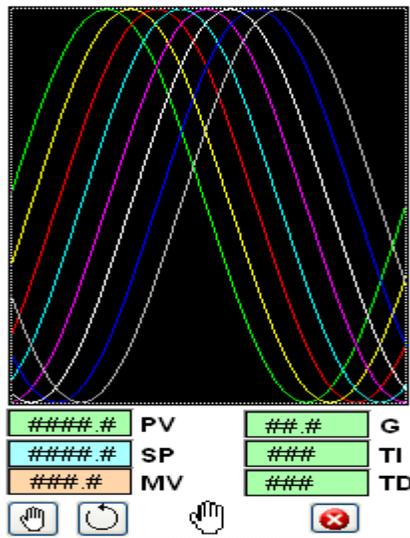


Figura 4.9 Ventana de ajuste del Lazo de regulación

4.4 Filosofía de operación del sistema

La operación del sistema se ejecuta de manera sencilla, el operador luego de tener en funcionamiento el variador de velocidad y la banda transportadora en la que se realiza la medición de flujo puede decidir la selección de la operación manual o automática de la regulación del flujo de mineral, siempre que haya escrito el valor de Set Point deseado para la operación en automático. Para la operación en manual el operador tiene que estar pendiente del valor del flujo de mineral y variar la velocidad del variador de acuerdo con la necesidad existente, dar más velocidad si el flujo está por debajo del valor necesitado o menos velocidad si el flujo está por encima.

Capítulo 5. Valoración Económica

5.1 Módulo electrónico usado en la ECG para los sistemas de pesaje continuo

Los sistemas de alimentación continua de mineral por lo general cuentan con un módulo electrónico destinado a la realización del cálculo del flujo de mineral, este es producido por un determinado fabricante. Es poco usual ver en este tipo de sistemas un PLC que realice las funciones del módulo electrónico, debido a los altos costos que tienen los PLC en el mercado. En el presente capítulos se describen las características del módulos que se emplea en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara(EGC), las necesidades que existen de implementación de nuevos sistemas de pesaje continuo, se exponen las razones por las que se decidió realizar el sistema de pesaje continuo dentro de un PLC S7 400 de siemens como propuesta a aplicarse en los sistemas de alimentación continua de mineral con bandas transportadoras y asistidos con variadores de velocidad, y un análisis económico del uso de la aplicación desarrollada.

En diferentes áreas de la empresa ECG se usan módulos electrónicos para el cálculo del flujo de mineral en bandas transportadoras del tipo MILLTRONICS BW500 del fabricante SIEMENS, ver figura 5.1. Este tipo dispositivo cuenta con un teclado incorporado para la introducción de los parámetros de ajuste, una pantalla que muestra uno a uno cada parámetro o valor y dispone de entradas analógicas para conectarle las señales de Peso y velocidad y una salida analógica que brinda el valor del flujo que este calcula.

Es un módulo compacto con toda la circuitería integrada en una misma placa electrónica lo que provoca que el mínimo desperfecto técnico que presente el equipo conlleve a realizar la sustitución completa del módulo por otro nuevo. Cada uno de estos módulos tiene un costo de adquisición para el país de 3809 CUC. Existen en la empresa un total de 5 módulos en explotación, dos en las bandas transportadoras que trasladan el mineral desde la mina a la planta de secaderos, dos en las bandas transportadoras de la descarga de los secaderos y uno en la planta piloto CEDINIQ.



Figura 5.1 Módulo de pesaje MILLTRONICS BW500

5.3 Necesidades de implementación de sistemas de alimentación continua con bandas transportadoras en la ECG

La empresa tiene la necesidad de alimentar de forma estable los secaderos de mineral, para ellos tiene que ejecutar una inversión para adquirir el equipamiento necesario que realice esta función. Conociendo que en la planta de secaderos existen seis tambores rotatorios se tendrían que adquirir seis nuevos sistemas de alimentación continua. Para el funcionamiento de cada uno de los tambores rotatorios existe en explotación un PLC S7 400 de Siemens lo que permite incorporar dentro de la programación, la aplicación desarrollada del cálculo del flujo de mineral y la regulación del variador de velocidad, evitando de esta manera la adquisición de seis módulos MILLTRONICS BW500. Estos PLC son más caros que los módulos, pero ya existen en la planta por lo que no hay que invertir capital en la adquisición, de ellos solo se tiene que introducir la programación desarrollada. Estos PLC tienen garantizadas condiciones ambientales que garantizan una operación eficiente y disminuyen considerablemente el riesgo de rotura.

Para incorporar el sistema diseñado en los lugares de la empresa donde existen instalados los módulos MILLTRONICS BW500 se tendría que realizar en la medida en que estos dispositivos presenten averías y así se evitaría tener que comprar uno nuevo.

5.4 Ventajas que brinda el uso del sistema de pesaje por PLC

El sistema de pesaje utilizando PLC tiene significativas ventajas respecto al módulo MILLTRONICS BW500 al usarse en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, esta

diferencia se evidencia en la tabla 5.1, donde se realiza una comparación entre el sistema desarrollado y el módulo MILLTRONICS BW500.

Tabla 5.1 Tabla comparativa entre el sistema de pesaje por PLC y el módulo MILLTRONICS.

Sistema de cálculo de Flujo por PLC	Módulo MILTRONICS BW500
Configuración ajuste y parametrización desde la estación de operación Citect	Configuración ajuste y parametrización directamente en el módulo, que por lo general están ubicados en lugares incómodos de trabajar.
Posibilidad de realizar mejoras en el funcionamiento y cambios en la programación.	Tiene programación invariable
Posibilidad de visualizar todos los parámetros operacionales en una misma pantalla y con un mímico asociado.	Para observar los valores de los parámetros operacionales hay que dirigirse hacia donde está ubicado el modulo y observarlos uno a uno a través de una pequeña pantalla numérica. En el SCADA solo es posible observar la señal que da la salida analógica del equipo.(Flujo de Mineral)
Ante rotura de alguna tarjeta solo se sustituye la tarjeta dañada.	Ante rotura de alguno de sus elementos se tiene que cambiar el módulo completo.
Para implementar nuevas mediciones de flujo no se tiene que incurrir en un gasto grande de capital, ya que en todos los lugares de la empresa existen PLC de Siemens que soportan la programación de la aplicación.	Para implementar nuevas mediciones de flujo se tienen que comprar nuevos módulos.

5.5 Análisis económico de la aplicación

El análisis económico de la aplicación tiene como punto de partida, la necesidad de implementar nuevas mediciones de flujo de mineral en la planta de Secaderos para cada tambor rotatorio.

Teniendo en cuenta lo antes planteado podemos decir que, si en cada tambor rotatorio se incorporase un sistema de medición de flujo de mineral se tendrían que comprar un total de 7 módulos MILTRONICS BW500, 6 para montarlos y uno para la reserva. Conociendo que cada uno tiene un valor de adquisición para el país de 3809 CUC, se tendrían que invertir un total de 26663 CUC.

Si se utilizara el sistema de medición de flujo por el PLC no se tendrían que invertir los 266663 CUC anteriormente mencionados debido a que existen los PLC en las plantas y la posibilidad de incorporar nuevas señales a ellos.

De presentarse alguna rotura en los módulos que ya está trabajando en la empresa y utilizarse la aplicación desarrollada por PLC se estaría ahorrando el valor del costo del módulo MILTRONICS.

Conclusiones Generales

- Se realizó la programación del algoritmo para la medición del flujo de mineral en bandas transportadoras en un PLC S7 400 de Siemens.
- Se configuró el lazo de regulación PI para el control de la cantidad de mineral a introducir al secadero a partir de la variación de la velocidad en los alimentadores, teniendo como variable de proceso el flujo de mineral.
- Se desarrolló una interface gráfica en el SCADA Citect que permite realizar las acciones de ajuste, configuración y operación de todo el sistema el cual puede ser incorporado en el actual sistema de control de la planta de secaderos.
- La aplicación desarrollada de alimentación continua de mineral en bandas transportadoras representa una solución de ahorro económico para la empresa Comandante Ernesto Che Guevara y para el país.
- No se necesita adquirir módulos del Tipo MILTRONICS BW500, solo es necesario emplear los PLC existentes en la fábrica, ahorrando consigo 3809 CUC por cada medición de flujo de mineral en bandas transportadoras que se ponga en funcionamiento con el sistema desarrollado.

Recomendaciones

- Continuar el estudio de esta aplicación en próximos trabajos de diploma para incorporarle nuevas funciones a la programación desarrollada en Step 7
- Continuar evolucionando el sistema de visualización y mando, desarrollado en el SCADA Citect.
- Generalizar este trabajo a las demás bandas transportadores de la fábrica y otras aplicaciones que se ajusten el sistema desarrollado.

Bibliografía

- [1] Mohan N, Underland T.M. y Robbins W.P. "Power Electronics, converters, applications and design". Wiley 2003.
- [2] SCADA, catálogos y software. New York,1998.
- [3] Power Electronic. M. Rashid. Prentice Hall, New Cork 2004.
- [4] Handbook of DSP.IEEE. 2000.
- [5] Äström, K., Hägglung: Automatic Tuning of PID Controllers , ISA – 1988
- [6] Håkan Hjalmarsson, Michel Gevers, Svante Gunnarsson, Olivier Lequin, Iterative
- [7] Feedback Tuning: Theory and Applications – IEEE Control Systems – Agosto 1998
- [8] Sistemas de automatización S7-400. Manual de instalación. SIMATIC. Siemens. 2006
- [9] ACCUMASS BW500. MILLTRONICS. Manual de instrucciones.PL-565-2.1999
- [10] SIMATIC, Sistema de Automatización S7-400 "Manual de Referencia", Abril de 2004.
- [11] SIMATIC, Configurar el Hardware y comunicación con STEP 7 v5.3, Referencia 6ES7810-4CA07-8DW0, Enero de 2004.
- [12] PROFIBUS - El bus polivalente para la comunicación en la industria de procesos, Referencia E86060-A4678-A171-A2-7800, Junio de 2005.
- [13] SIEMENS, "SIMATIC HMI WinCC documentación estándar", Abril de 2003.
- [14] SIMATIC, S7-PLCSIM V5.0 "Manual del usuario", Junio de 2001.
- [15] http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo

Anexos

Anexo1 Lenguaje de la programación de los bloques, realizada en SCL para el cálculo del flujo de Mineral.

1.1 Ajuste de cero:

```
FUNCTION_BLOCK FB235
VAR_INPUT
    ajust_Cero:BOOL;
    VAR_linealiz:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    valor:REAL;
error_cero:BOOL;
END_VAR
VAR
    valor_cero:REAL;
    calculo:REAL;
c:REAL;
BEGIN
IF valor_cero=0 THEN
    error_cero:=true;
ELSE
    error_cero:=false;
    END_IF;
IF ajust_Cero=true THEN
    valor_cero:=VAR_linealiz;
ELSE
    calculo:=VAR_linealiz-valor_cero;
    END_IF;
IF calculo>0 THEN
    valor:=calculo;
ELSE
    valor:=0;
```

```

    END_IF;
    c:=2+3;
END_FUNCTION_BLOCK

```

1.2 Calibración:

```

FUNCTION_BLOCK FB234
VAR_INPUT
    valor_Linealizado:REAL;// Valor de la variable Linealizada
    LMTSup:REAL; // valor de rango superior
    LMTInf:REAL; // Valor de rango inferior
    Calib_ON:BOOL;// Activación de la calibración
    Valor_Patron:REAL; // Valor Patrón para calibración
    Borrar_Calib:BOOL;
END_VAR
VAR_output
    OUT_LMTSup_R:REAL;// Valor de rango superior corregido
    OUT_LMTInf_R:REAL;// Valor de rango inferior corregido
    Calibrando:BOOL;//Fin de Calibración
    // No_calibrac:REAL;// Cantidad de Calibraciones realizadas
END_VAR
VAR
    c:REAL;
    Superior:REAL;
    Inferior:REAL;
    diferencia:REAL;
END_VAR
LABEL
    Calibracion;
    final;
END_LABEL
BEGIN
diferencia:=Valor_Patron-valor_Linealizado;
IF Borrar_Calib=1 THEN
    c:=0;

```

```

    END_IF;
IF c=0 THEN
    Superior:=LMTSup;
    Inferior:=LMTInf;
END_IF;
IF Calib_ON=false THEN
    GOTO final;
END_IF;
    IF Calib_ON=true THEN
        c:=1;
        GOTO Calibracion;
END_IF;
Calibracion:
Calibrando:=true;
IF diferencia>0.1 THEN
    Superior:=Superior+0.1;
END_IF;
IF diferencia<(-0.1) THEN
    Superior:=Superior-0.1;
END_IF;
IF diferencia>(-0.1)AND diferencia<(0.1) THEN
    Calib_ON:=false;
    Calibrando:=false;
END_IF;
final:
OUT_LMTSup_R:=Superior;
OUT_LMTInf_R:=Inferior;
END_FUNCTION_BLOCK

```

1.3 Calculo de flujo:

```

FUNCTION_BLOCK FB233
VAR_input
    Peso: REAL; // Variable de Peso proveniente de la celda.
    Velocidad: REAL; // variable de Velocidad proveniente del tacometro.

```

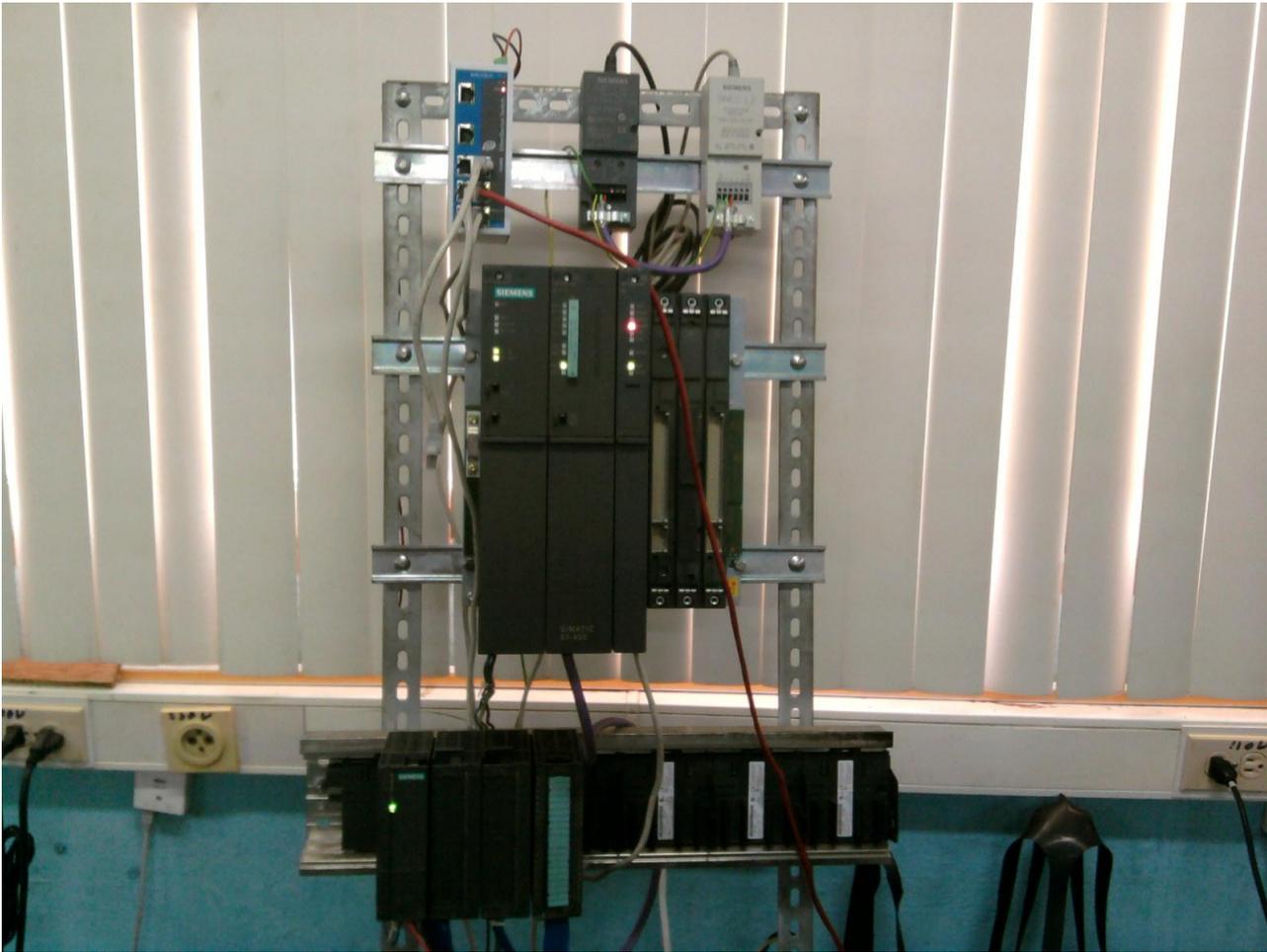
```

NroCelda: REAL; // cantidad de Celdas Pueden se solo 1,2,4.
angulo: REAL;// angulo de inclinación de la banda.
LongPesaje:REAL; // valor de la longitud del pesaje.
ACT_Fluj:BOOL;//Activa el valor del flujo de referencia
fluj_referen:REAL;//flujo de Referencia
ACT_Veloc:BOOL;//Activa el valor de velocidad de referencia
Vel_refer:REAL; //Velocidad de referencia
ACT_Peso:BOOL;//Activa peso de prueba
Peso_Prueba:REAL;//Peso de prueba
Long_banda:REAL; //Lngitud de la banda
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Q:REAL; // Valor del peso en toneladas/horas.
    ERR_NroCelda:BOOL; //Error en el número de celdas
END_VAR
VAR
    peso_calc:REAL;
    Veloc_Calc:REAL;
    Fluj_Calc:REAL;
    N:REAL;
END_VAR
LABEL
    calculo_final;
END_LABEL
BEGIN
IF NroCelda=1 OR NroCelda=2 OR NroCelda=4 THEN
    NroCelda:=NroCelda;
    ERR_NroCelda:=false;
ELSE
    ERR_NroCelda:=true;
    NroCelda:=0;
    END_IF;
IF ACT_Veloc=true THEN
    Veloc_Calc:=Vel_refer;

```

```
ELSE
  Veloc_Calc:=Velocidad;
END_IF;
IF ACT_Peso=true THEN
  peso_calc:=Peso_Prueba;
ELSE
  peso_calc:=Peso/NroCelda;
END_IF;
calculo_final:
N:=peso_calc/1000*Veloc_Calc*3600/LongPesaje/COS(angulo);//Calculo final de flujo
  IF Veloc_Calc=0 OR LongPesaje=0 THEN
    Q:=0;
  ELSE
    Q:=N;
  END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
```

Anexo 2. Kit de prueba de la aplicación con S7 400.



Anexo 3 Tacómetro



Anexo 4 Celda de Carga.

