

Práctica Empresarial Grupo CEMOS

Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático para la Dosificación de Mineral de Hierro en el Molino de Crudo en la Sección de Materias Primas de Cemex Colombia S.A. Planta los Patios Norte de Santander

Jairo Hernando Cervantes García

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
Bucaramanga, 2010

Práctica Empresarial Grupo CEMOS

Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático para la Dosificación de Mineral de Hierro en el Molino de Crudo en la Sección de Materias Primas de Cemex Colombia S.A. Planta los Patios Norte de Santander

Jairo Hernando Cervantes García

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electrónico

Director UIS:
PhD. Carlos Rodrigo Correa Cely

Director CEMEX:
Ing. Fernando Yoshiie Ecima Valbuena

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
Bucaramanga, 2010

A mis padres por su constante apoyo y dedicación, A mi familia por su aliento, a mis profesores por sus enseñanzas y a mis amigos por su motivación.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a mis padres y familiares por su apoyo incondicional en este largo camino.

Agradezco a todas las personas que han contribuido en mi proceso de formación como ingeniero; a Fernando Yoshiie Ecima Valbuena por la oportunidad, acompañamiento y guía al desarrollar el proyecto; y al profesor Carlos Rodrigo Correa Cely por su motivación, orientación e inmensa paciencia durante el desarrollo del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
ALCANCE DE LOS OBJETIVOS	20
CAPITULO 1	21
1. CONCEPTOS BÁSICOS	21
1.1. DOSIFICACIÓN	21
1.2. SISTEMA	21
1.3. SISTEMA CONCEPTUAL	21
1.4. SISTEMA REAL	21
1.4.1. <i>Sistemas Real Abierto</i>	22
1.4.2. <i>Sistemas Real Cerrado</i>	22
1.5. CONTROL AUTOMÁTICO	22
1.6. SISTEMA DE CONTROL	22
1.7. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO	22
1.8. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	23
1.9. REALIMENTACIÓN	23
1.10. PLANTA	24
1.11. ELEMENTOS DE CONTROL	24
1.12. ACCIÓN PROPORCIONAL.....	24
1.13. ACCIÓN INTEGRAL.....	25
1.14. ACCIÓN DERIVATIVA	25
1.15. CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL (PI).....	25
1.16. CONTROLADOR PROPORCIONAL DERIVATIVO (PD)	25
1.18. CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID).....	26
1.19. FABRICACIÓN DEL CEMENTO	26
1.20. MATERIAS PRIMAS	27
1.21. MINERAL DE HIERRO.....	28
1.22. MOLIENDA Y COCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	29
1.23. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL CLINKER	29
1.24. MOLIENDA DE CEMENTO	31
1.25. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO	32
1.25.1. <i>Cemento tipo I</i>	32
CAPITULO 2	34
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMATICO	34
2.1. LIMITANTE.....	34
2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN	34
2.3. DISEÑO DE LA PLANTA.....	36
2.3.1. <i>Velocidad</i>	36

2.4. DISEÑO DE LAS CONSTANTES DEL CONTROLADOR.....	38
2.5. SIMULACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	40
2.5.1. Lugar de raíces.....	41
CAPITULO 3.....	43
3. SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICO	43
.....	43
3.1. AUTOMATIZACIÓN	43
3.2. AUTOMATIZACIÓN ELÉCTRICA	43
3.3. AUTOMATIZACIÓN ELECTRÓNICA	43
3.4. AUTOMATIZACIÓN MECÁNICA.....	44
3.5. DOSIFICADOR	44
3.5.1. Tolva.....	45
3.5.2. Banda Transportadora.....	45
3.6. PLANTA	46
3.6.1. Motor Síncrono	46
3.6.2. Elementos de accionamiento de los motores eléctricos.....	47
3.6.3. Variador de Velocidad.....	47
3.7. CONTROLADOR	48
3.8. SENSORES	50
3.8.1. Sensor de Velocidad.....	50
3.8.2. Sensor de Carga.....	51
3.9. DISPOSITIVOS DE CONTROL.....	52
3.9.1. Controlador lógico programable (PLC)	52
3.9.2. Software.....	53
3.9.3. Diagrama de Selección.....	54
CAPITULO 4.....	56
4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICO.....	56
4.1. INTECONT PLUS.....	56
4.1.1. Señales Digitales de Entrada y Salida.....	56
4.1.2. Señales Análogas de Entrada y Salida.....	57
4.2. VARIADOR DE VELOCIDAD YASKAWA V7.....	58
4.2.1. Señales Digitales de Entrada y Salida.....	58
4.2.2. Señal Análoga de Entrada.....	59
4.3. MOTOR REDUCTOR SEW	60
4.4. SENSORES	60
4.4.1. Sensor de Velocidad Truck.....	60
4.4.2. Sensor de Carga Schenck.....	61
4.5. PUENTE PESADOR	62
4.6. CONEXIÓN PLC	64
CAPITULO 5.....	66
5. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS	66
5.1. CONFIGURACIÓN INTECONT PLUS.....	66
5.2. CONFIGURACIÓN VARIADOR DE VELOCIDAD YASKAWA V7.....	67

5.3. AJUSTE DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE MINERAL DE HIERRO	68
5.3.1. <i>Calibración del Dosificador de Mineral de hierro:</i>	68
5.3.2. <i>Tara</i>	71
5.3.3. <i>Puesta a cero</i>	71
5.3.4. <i>Control de peso</i>	72
5.3.5. <i>Evaluación de resultados</i>	72
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	75
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
8. ANEXOS	82

FIGURA 31. ALIMENTACIÓN Y CONEXIÓN DE MOTOR AL VARIADOR YASKAWA V7 [7].....	60
FIGURA 32. CONEXIÓN DE MOTOR REDUCTOR [4].....	60
FIGURA 33. CONEXIÓN DE SENSOR DE VELOCIDAD TRUCK [4]	61
FIGURA 34. CONEXIÓN DE SENSOR DE PESO SCHENCK [4]	61
FIGURA 35. DISEÑO Y UBICACIÓN DEL PUENTE PESAJE	63
FIGURA 36. CONEXIÓN DE BORNERA DE DISTRIBUCIÓN [4].....	64
FIGURA 37. CONEXIÓN SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA A PLC [4]	64
FIGURA 38. SCHENCK PROCESS EASYSERVER	66
FIGURA 39. DRIVER WIZARD	68
FIGURA 40. ESQUEMA DE CALIBRACIÓN PARA EL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN [5].....	69
FIGURA 41. INDICACIÓN PARA CALIBRAR EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DE CONTROL [5].....	70
FIGURA 42. CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE PESAJE DEL DOSIFICADOR [5].....	74
FIGURA 43. TIEMPO DE ASENTAMIENTO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	75
FIGURA 44. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN PARA UNA ENTRADA REAL QUE VARÍA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN DEL <i>CLINKER</i>	28
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR.....	46
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	48
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTROLADORES.....	49
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD.....	51
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA DE CARGA.....	52
TABLA 7. SEÑALES DIGITALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL CONTROLADOR.....	57
TABLA 8. SEÑALES ANÁLOGAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL CONTROLADOR ...	57
TABLA 9. SEÑALES DIGITALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	59
TABLA 10. SEÑAL ANÁLOGA DE ENTRADA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	59
TABLA 11. CONEXIÓN DE LA CELDA DE CARGA.....	62
TABLA 12. INTERCONEXIÓN DEL PLC, CONTROLADOR Y VARIADOR DE VELOCIDAD.....	65
TABLA 13. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL CONTROLADOR.....	67
TABLA 14. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CERTIFICADO CEMEX COLOMBIA S.A.	83
ANEXO 2. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN.....	84

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE MINERAL DE HIERRO EN EL MOLINO DE CRUDO EN LA SECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS DE CEMEX COLOMBIA S.A. PLANTA LOS PATIOS NORTE DE SANTANDER*.

AUTOR: Jairo Hernando Cervantes García**

PALABRAS CLAVES: Sistema de control, automatización, dosificación, set point, simulación y plano eléctrico.

DESCRIPCIÓN:

Las exigencias de la industria moderna por tener sistemas de dosificación eficiente, donde la agrupación de materias primas según sus características de composición o cantidad en la que intervienen lleva a una segmentación de la dosificación. Los sistemas de dosificación de antaño se han convertido en auténticos sistemas de control, donde la complejidad de las decisiones a tomar requiere una topología de equipos que permita el control automático desde un elemento central.

Se desarrolló un sistema de control automático de dosificación de materia prima al proceso de fabricación de cemento en la empresa Cemex Colombia S.A. planta los patios, que permitió eliminar errores, aumentar la seguridad del proceso y realizar una mezcla adecuada de los componentes necesarios para la obtención del producto; la empresa se verá beneficiada en el aumento de producción ya que tendrá control automático en los procesos de dosificación. La automatización del proceso permite realizar una mezcla eficiente del mineral del hierro al molino de crudo con dispositivos electrónicos debidamente seleccionados, el software brinda seguridad a la planta y al operario ya que éste estará observando el resultado del proceso en tiempo real desde una cabina de operación convirtiendo a los equipos de campo en menores ejecutores de los mandatos.

*Tesis de Grado

** Universidad Industrial de Santander (UIS), Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Director: Ph.D. Carlos Rodrigo Correa Cely

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM TO DOSING ORE IRON AT CRUDE MILL IN THE SECTION OF RAW MATERIALS AT CEMEX COLOMBIA S.A. LOS PATIOS FACTORY NORTH OF SANTANDER*

AUTHOR: Jairo Hernando Cervantes García**

KEYWORDS: Control system, automation, dosing, set point, simulation and electrical plan.

DESCRIPTION:

The requirements of modern industry to have efficient dosing systems, where the grouping of commodities according to their composition and quantity characteristics of the involved leads to a segmentation of the dosage. The old delivery systems have become real control systems, where the complexity of the decisions to be required equipment topology that allows the automatic control from a central element.

Development of an automatic control system for dosing raw materials to cement manufacturing process at CEMEX Colombia SA, Los patios factory, which allowed to eliminate errors, increase safety of the process and make a right mix of components needed to obtain the product. The company will benefit by increasing production due to the automatic control of dosing process. The automation process allows efficient mixing of ore iron at crude mill with electronic devices duly selected, the software provides security to the factory and to the operator wich will be watching the outcome process in real time from an operator's cab turning field teams into minor executors of their instructions.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical. Engineering Electrical, Electronic and Telecommunications School. Director: Ph.D. Carlos Rodrigo Correa Cely

INTRODUCCIÓN

La información contenida en este documento hace parte del desarrollo de trabajo de grado en la modalidad de practica empresarial, en la cual el estudiante de Ingeniería Electrónica diagnóstica desde su profesión problemas y necesidades del sector productivo de la región y del país planteando soluciones utilizando los conocimientos adquiridos en la universidad, mientras fortalece sus competencias personales y profesionales a través del contacto e interacción directa con una empresa.

Desde 1996, la organización CEMEX COLOMBIA S.A. PLANTA LOS PATIOS forma parte de una de las empresas con más de 1000 empleados que ponen su talento al servicio del progreso del país. Dotada con tecnología de punta, CEMEX COLOMBIA S.A. PLANTA LOS PATIOS tiene una capacidad de producción anual de 4.8 millones de toneladas métricas de cemento de excelente calidad de las marcas líderes del mercado: Diamante y Samper [1].

En el departamento de Norte de Santander CEMEX COLOMBIA S.A. PLANTA LOS PATIOS es la número uno en el mercado de concretos y de cemento en el país. Ésta dispone de los dos tipos de plantas; la de Concreto, ubicada en la vía al Escobal y la de Cemento, ubicada en el municipio de los Patios [1].

En la planta de cemento; se producen cementos tipo I y tipo III; Para fabricar cemento tipo I se requieren: *Clinker*, yeso, aditivos (extraídos en cantera) y ceniza seca (fly ash); esta última se obtiene de la quema del carbón que alimenta la caldera de la Termoeléctrica Termotasajero S.A E.S.P; desde donde es transportada hasta la planta.

En la fabricación de cemento, existe la tendencia de preparar harinas de crudo; con una composición química que permita obtener ventajas operativas durante su calcinación; para así, lograr un ahorro en el consumo de combustible. Es casi

imposible que la dosificación de caliza y arcilla (materias primas); cumpla con los módulos óptimos para el proceso de calcinación; por tal razón, se usan materiales que permitan corregir los porcentajes de los óxidos en esta mezcla de caliza y arcilla. Entre los “componentes correctores” utilizados, encontramos óxido de aluminio y óxido de hierro [3].

Debido a la importancia del óxido de hierro -componente corrector-; se presenta la propuesta de implementar un sistema de control automático, que dosifique el mineral de hierro -componente rico en óxido de hierro- de forma precisa al molino de crudo; corrigiendo así, los niveles de óxido presentes en la mezcla de la harina de crudo. Este control automático de procesos busca eliminar errores, aumentando la seguridad de los procesos; reduciendo así el consumo de combustibles, mejorando la calidad e incrementando los volúmenes de producción de una planta industrial.

Por otro lado, el principio de todo sistema de control automático, es la aplicación del concepto de realimentación o *Feedback* (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar); cuya característica especial, es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando sea necesario. Este mismo principio se aplica en campos tan diversos como el control de procesos químicos, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, control de variables a nivel médico e incluso en el control de trayectoria de un proyectil militar [21].

Este documento de trabajo de grado, describe la información recopilada sobre las áreas y secciones del proceso de fabricación del cemento, señalando específicamente la importancia de los sistemas de control automáticos en la dosificación de materiales. Esta información permitirá dar una solución a las necesidades de dosificación del proceso, diseñando así un sistema de control

automático teniendo en cuenta antecedentes técnicos, requerimientos, herramientas y componentes propios de estos sistemas.

La selección y configuración correcta de los instrumentos de control necesarios para llevar a cabo el diseño del sistema de control automático de dosificación se verá reflejada en las diferentes pruebas, la documentación y los resultados obtenidos con la realización del proyecto. La evaluación, conclusiones y recomendaciones reflejan el alcance del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de control automático para la dosificación del mineral de hierro en el proceso de producción de cemento.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar y determinar la información sobre las condiciones de operación del mineral del hierro en el proceso de fabricación de cemento, los sistemas de control automático y el medio donde se implementara el sistema de dosificación.
- Diseñar el sistema de control automático para la dosificación del mineral de hierro en producción de cemento tipo I y granel Tipo I.
- Seleccionar el controlador y los componentes del sistema de dosificación.
- Implementar el sistema del lazo control automático para la dosificación del mineral de hierro en el proceso de producción de cemento.
- Realizar pruebas de funcionamiento al sistema de dosificación.

ALCANCE DE LOS OBJETIVOS

La dosificación y mezcla de materiales junto a otros pasos de un proceso juegan un papel de gran importancia en plantas con producción tecnificada.

Con la implementación del sistema de control automático se pretende eliminar errores y aumentar la seguridad del proceso de dosificación de mineral de hierro al molino de crudo; para ello se garantiza el correcto funcionamiento del sistema automático de dosificación por medio de la realización de pruebas efectuadas a dicho sistema; esto será corroborado en el documento final con información actualizada y concisa, que detalle la estructura, esquema funcional, la metodología y los resultados de la implementación; además de los enlaces y anexos.

CAPITULO 1

1. CONCEPTOS BÁSICOS

Para un correcto desarrollo del trabajo es necesario tener claros conocimientos y conceptos acerca de un sistema de control automático de dosificación además del área y las secciones del proceso de fabricación del cemento para la ejecución del proyecto.

1.1. DOSIFICACIÓN

La dosificación consiste en determinar o regular la cantidad de un material o sustancia que debe añadirse en cada etapa de un proceso.

1.2. SISTEMA

Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas por lo general reciben (entrada) datos, energía o materia del ambiente y proveen (salida) información, energía o materia [15].

1.3. SISTEMA CONCEPTUAL

También conocido como sistema ideal. Es un conjunto organizado de definiciones, nombres, símbolos y otros instrumentos de comunicación. Ejemplo de ello es un software [19].

1.4. SISTEMA REAL

Los sistemas reales son una entidad material formada por partes organizadas (componentes) que interactúan entre sí de manera que las propiedades del

conjunto, sin contradecirlas, no pueden deducirse por completo de las propiedades de las partes.

1.4.1. Sistemas Real Abierto

Es un sistema que recibe energía y materia del ambiente, cambiando o ajustando su comportamiento o su estado según las entradas que recibe.

1.4.2. Sistemas Real Cerrado

Es un sistema cuyo comportamiento es programado y opera con un muy pequeño intercambio de energía y materia con el ambiente, son sistemas estructurados, donde los elementos y relaciones se combinan de una manera peculiar y rígida produciendo una salida invariable [19].

1.5. CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana [16].

1.6. SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control es el ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que se pueda comandar, dirigir o regularse a sí mismo o a otro sistema [17].

1.7. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Los sistemas de control de lazo abierto (véase Figura 1.) son aquellos en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. Estos sistemas ejecutan acciones con exactitud determinada por su calibración. Esta calibración establece o restablece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada [17].

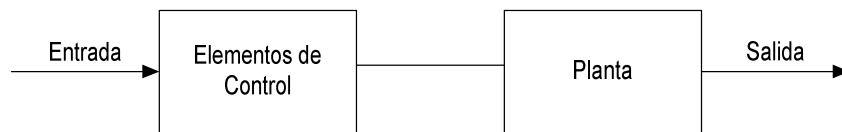


Figura 1. Sistema de control de lazo abierto

1.8. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO

Un sistema de control de lazo cerrado (véase figura 2.) es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario, que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (*feedback*) [17].

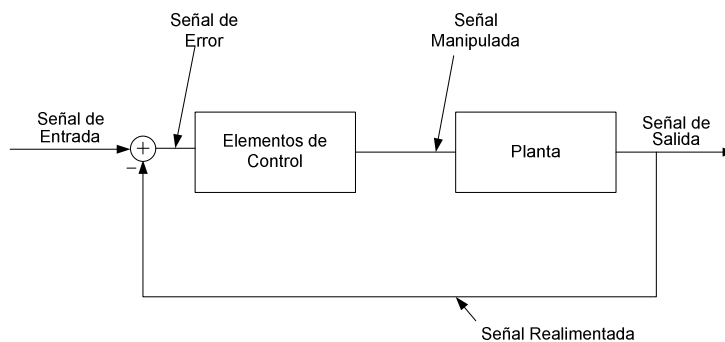


Figura 2. Sistema de control de lazo cerrado

1.9. REALIMENTACIÓN

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado en la que la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas) y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada); se conoce como error o señal de error. La señal que entrega el controlador se llama señal de control o manipulada y la entregada por la salida, señal controlada [17].

1.10. PLANTA

Una planta es un equipo, quizá un juego de piezas de una maquina, funcionando conjuntamente, cuyo objetivo es realizar una operación determinada. Para el caso la planta es un objeto físico a controlar [22].

1.11. ELEMENTOS DE CONTROL

El regulador o controlador es el elemento que determina el comportamiento del lazo de control, por lo que debe ser un componente diseñado con gran precisión; mientras que la variable controlada se mantenga en el valor previsto, el regulador no actuará sobre el elemento accionador; pero si el valor de la variable se aleja del prefijado, el regulador modifica su señal, ordenando al accionador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de corregir dicho alejamiento [17].

1.12. ACCIÓN PROPORCIONAL

Esta acción de control es el más simple de todos los tipos de control y consiste en amplificar la señal de error antes de aplicarla a la planta o proceso; esto significa que si la señal de error es grande, el valor de la variable regulada es grande y si la señal de error del sistema es pequeña, el valor de la variable regulada es pequeña [17].

1.13. ACCIÓN INTEGRAL

La acción de control integral disminuye y elimina el error en estado estable. El tipo de control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo; este error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado [17].

1.14. ACCIÓN DERIVATIVA

La acción derivativa genera una señal que es directamente proporcional a la derivada del error. La señal de control que se genera es proporcional a la pendiente del error, por tanto tiende a anticiparse a este y minimizar las variaciones [20].

1.15. CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL (PI)

Las acciones proporcional e integral se complementan; la primera en actuar es la acción proporcional instantáneamente, mientras que la integral actúa durante un intervalo de tiempo; así y por medio de la acción integral se elimina la desviación proporcional; la respuesta del controlador PI, es la suma de las respuestas de la acción proporcional y la integral; lo que proporciona es una respuesta instantánea al producirse la correspondiente señal de error provocada por la acción proporcional y un posterior control integral que se encargará de extinguir la señal de error [17].

1.16. CONTROLADOR PROPORCIONAL DERIVATIVO (PD)

La acción derivativa por sí sola no se utiliza; puesto que para señales lentas, el error producido en la salida en régimen permanente es muy grande y si la señal de

mando deja de actuar durante un tiempo largo, la salida tenderá a ser cero y no se realizará ningún control.

Al incorporar a la acción proporcional las características de la acción derivativa; se mejora la velocidad de respuesta del sistema, a costa de una menor precisión en la salida (durante el intervalo de tiempo en que el control derivativo esté funcionando). El controlador PD se utiliza poco, debido a que no puede compensar completamente las desviaciones proporcionales del sistema y si la componente derivativa es un poco grande, lleva rápidamente a la inestabilidad del lazo de control [17].

1.18. CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

Aprovecha las características de las tres acciones anteriores, de modo que, si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Tiene la ventaja de tener una respuesta más rápida y una inmediata compensación de la señal de error en el caso de cambios. Tiene como desventaja que el lazo de control es más propenso a oscilar y los ajustes son más difíciles de realizar [17].

1.19. FABRICACIÓN DEL CEMENTO

La palabra cemento es nombre de varias sustancias adhesivas; deriva del latín *caementum*, porque los romanos llamaban *opus caementitium* (obra cementicia) a la grava y a diversos materiales parecidos al hormigón que usaban en sus morteros, aunque no eran la sustancia que los unía [14].

Hoy llamamos cemento por igual a varios pegamentos, pero de preferencia, al material para unir que se usa en la construcción de edificios y obras de ingeniería civil; se entiende por cemento portland la mezcla íntima de un *clinker* portland con

un regulador de fraguado (yeso). El *clinker* se obtiene por la sinterización del crudo al pasar por un horno donde sufre un proceso de cocción. El crudo es la mezcla de las diferentes materias primas necesarias para obtener un determinado cemento [10].

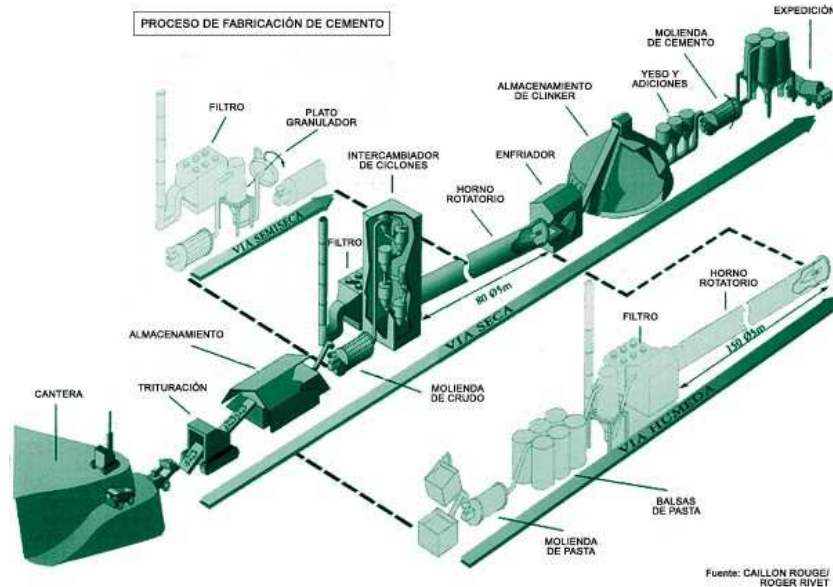


Figura 3. Composición de una fábrica de Cemento. [11]

1.20. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas básicas se extraen en canteras a cielo abierto por voladuras controladas. Estas contienen los componentes básicos de cemento (cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro). Estos compuestos (véase tabla 1.) no suelen encontrarse en una sola sustancia en las proporciones adecuadas, por lo que habrá que recurrir a la mezcla de uno rico en cal y otro pobre en cal y rico en alúmina y óxidos de hierro.

Elemento	Porcentaje %
Óxido de Calcio "Cal" (CaO)	60-69
Óxido de Silicio "Sílice"	18-24
Óxido de Aluminio "Alumina" (Al ₂ O ₃)	4-8
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1-8

Tabla 1. Composición del *Clinker*.

Es necesario el uso de componentes correctores para ajustar con mayor precisión la composición química del crudo; permitiendo la regulación de temperatura de sinterización de la mezcla y la cristalización de los minerales de *clinker*. Estos elementos pueden ser naturales como el óxido de aluminio o el mineral de hierro, o bien tratarse de subproductos y residuos de otros procesos como cenizas de central térmica, escorias de alto horno o arenas de fundición. Las materias primas naturales deberán ser trituradas antes de incorporarlas al proceso con el fin de reducir su granulometría inicial [3].

Los estudios de composición de los materiales en las distintas zonas de cantera y los análisis que se realizan en fábrica permiten dosificar la mezcla de materias primas para obtener la composición deseada.



Figura 4. Almacenamiento de Materias Primas [4]

1.21. MINERAL DE HIERRO

Es un mineral que contiene hierro, principalmente en forma de óxido. El óxido de hierro es una mezcla de dos componentes con un punto de solidificación o vaporización que durante la calcinación de la harina de crudo forma un líquido que facilita la formación de los compuestos hidráulicos del cemento [3].

1.22. MOLIENDA Y COCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La finalidad de la molienda es reducir el tamaño de las partículas de materias para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada.

La molienda de materias primas (harina de crudo), se realiza en equipos mecánicos rotatorios como el molino de bolas que se observa en la figura 5; en los que la mezcla dosificada de materias primas y componentes correctores, es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. El material obtenido debe ser homogeneizado para garantizar la calidad del *clinker* y la correcta operación del horno [11].



Figura 5. Interior Molino de Bolas [12]

1.23. PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL CLINKER

En este proceso la harina de crudo se introduce en la torre de ciclones para intercambio de calor; donde se lleva a cabo un proceso de calentamiento progresivo hasta alcanzar los 1.000°C. El crudo se introduce por la etapa superior descendiendo hacia los ciclones inferiores en contracorriente con los gases

calientes de la combustión; en este proceso, el crudo se seca, deshidrata y descarbonata.

La harina entra al horno rotativo parcialmente calcinada y es aquí donde se produce la combustión controlada; la llama originada en el quemador principal, puede alcanzar temperaturas del orden de 2.000°C . El horno para la obtención de *clinker* (véase figura 6.) consiste en un cilindro metálico, el interior está revestido con ladrillos refractarios que sirven para proteger la envolvente de las altas temperaturas alcanzadas en el proceso y rebajar las pérdidas de calor por radiación y convección.

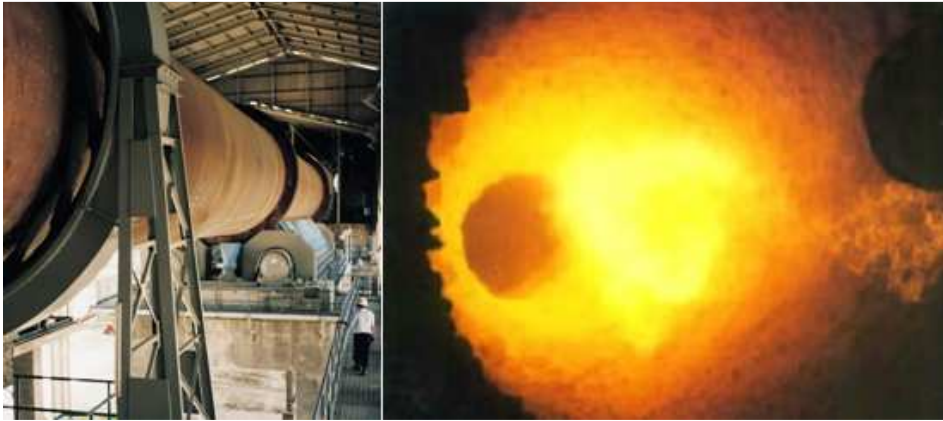


Figura 6. Horno para la Obtención del *Clinker* [18]

El material sigue aumentando la temperatura hasta alcanzar un máximo de 1.450°C sucediendo así la sinterización o clinkerización; proceso de formación de los componentes. Se requiere un exceso de aire en la zona de sinterización que asegure la atmósfera oxidante necesaria para que se produzcan las reacciones.

El aire del horno sale a la atmósfera por una chimenea a una temperatura que no debe superar los 120°C , antes de que el aire salga al exterior debe haber sido filtrado previamente mediante filtros electrostáticos o de mangas para evitar la emisión de polvo al aire ambiente. El polvo recogido se introduce de nuevo en el proceso, el calor de los gases es reutilizado para el secado y molienda del crudo.

El *clinker* a la salida del horno debe ser enfriado de modo rápido y eficiente, de lo contrario, podría invertir el sentido de las reacciones disminuyendo la resistencia del cemento. Un correcto enfriamiento ayuda a fijar las características del producto tales como estructura, composición, mineralógica y molturabilidad facilitando su manejo en las fases y equipos siguientes. Luego del enfriamiento el producto obtenido es el *clinker*, materia prima para la producción del cemento [10].

1.24. MOLIENDA DE CEMENTO

El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de *clinker*, yeso y otros materiales denominados "aditivos". Los materiales utilizables, que están normalizados como aditivos, son entre otros:

- Escorias de horno alto
- Humo de sílice
- Puzolanas naturales
- Cenizas volantes
- Caliza

En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases.

La molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en la cual la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. Para ello se utilizan los siguientes equipos:

- Prensa de rodillos
- Molinos verticales de rodillos
- Molinos de bolas
- Molinos horizontales de rodillos

Una vez obtenido el cemento se almacena en silos como el observado en la figura 7, para ser empacado o cargado a granel [12].



Figura 7. Silo de Almacenamiento [3]

1.25. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO

El cemento Portland, es el más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto; fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin. El nombre se debe a la semejanza en su aspecto con las rocas encontradas en Portland, una isla del condado de Dorset.

1.25.1. Cemento tipo I

Este tipo de cemento es de uso general y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.



Figura 8. Cemento Tipo I [4]

Este tipo de cemento es empleado en pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados [13].

CAPITULO 2

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICO

A lo largo del presente capítulo se presentará el diseño del sistema de control automático para la dosificación del mineral de hierro al molino de crudo teniendo en cuenta las necesidades del proceso y los requerimientos de la empresa.

2.1. LIMITANTE

Teniendo en cuenta que CEMEX COLOMBIA S.A Planta los Patios es una Industria altamente tecnificada con el respaldo de marcas reconocidas, se utilizarán las herramientas de Hardware y Software que se tienen en este momento o que pueden ser distribuidas por los fabricantes.

La principal limitante fue el acceso limitado a la información de la compañía, es decir, gran parte de su información es reservada y se debe manejar con absoluta confidencialidad; por lo tanto, el modelo del proceso al definir la secuencia de actividades, solo se mostrará el formato utilizado en la normalización del proceso. Con respecto a la arquitectura de los indicadores no se podrán especificar los rangos o porcentajes de medida, los cuales son de manejo interno de la empresa a cargo de la junta directiva, gerentes, jefes y empleados de la empresa CEMEX COLOMBIA S.A Planta los Patios.

2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN

Para el diseño del sistema de control se indagó y clasificó la información facilitada por el personal del grupo de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, sobre el conocimiento y el manejo de las variables que intervienen en el proceso de recolección y dosificación de materias primas para conocer deficiencias y fortalezas del mismo.

Esta búsqueda de información arrojó

- El dosificador es una máquina, la cual por medio de una tolva de alimentación va suministrando una cantidad de material requerido en un proceso. Su función es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto.
- El tipo de control es de lazo cerrado -SCLC- (véase figura 9) ya que el sistema tiene tendencias a la oscilación y una mayor robustez frente a la variación de los parámetros; para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. La realimentación es la propiedad de los sistemas de control en lazo cerrado que permite que la salida (o alguna variable controlada) se compare con la entrada del sistema (o una entrada de algún otro componente o subsistema) de tal forma que la acción de control apropiada se puede formar como una función de la entrada y la salida.

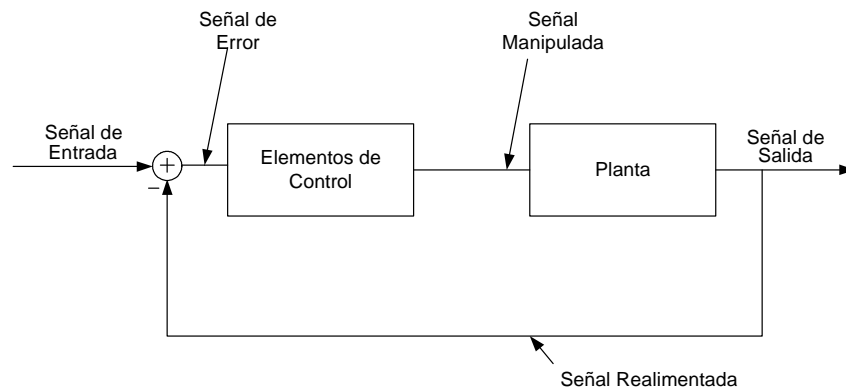


Figura 9. Sistema de Control de Dosificación

La señal de entrada del sistema proveniente de sala de control (rendimiento [Kg/s]) maneja dos señales:

- Señal de velocidad [m/s], indica la velocidad que debe tener el dosificador para entregar la cantidad de mineral de hierro solicitado por el proceso desde la sala de control.
- Señal de peso [Kg/m], indica el peso que debe tener el dosificador para entregar la cantidad de mineral de hierro solicitado por el proceso desde sala de control.

Estas dos variables determinan el diseño de la planta ya que indican los componentes y equipos que pueden ser seleccionados para el diseño de la planta del sistema.

2.3. DISEÑO DE LA PLANTA

En el diseño de la planta, nos remitimos a las variables del sistema (velocidad y peso) que conforman la consigna de rendimiento [Kg/s]. Por ello se analiza cada componente por separado; sin embargo, estos serán una sola señal, por tanto, se tendrán en cuenta como si fuese un solo elemento en el momento de la simulación.

2.3.1. Velocidad

El movimiento es generada por un motor de corriente alterna que debe ser controlado con un variador de frecuencia o variador de velocidad para regular la velocidad de acuerdo al *set point* ya que los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente; no obstante para obtener el valor de la señal de velocidad se debe instalar un sensor de velocidad que nos indique la velocidad real del sistema de dosificación. Para concluir el sistema de obtención y medición de velocidad debe tener tres componentes motor eléctrico, variador de velocidad y sensor de velocidad.

2.3.2. Peso

La medición obtenida se debe transmitir por un sensor que indique el valor real de la señal de peso, para ello se utilizan celdas de carga que son transductores que convierten una magnitud mecánica (peso) en una señal

eléctrica que indica el peso de la carga de Mineral de Hierro en Kg/m que lleva el sistema de dosificación.

El diseño de la planta para la simulación del sistema de control, está compuesto por el variador de velocidad y el motor trifásico que se comportan como un motor DC, con lo cual el sistema tendría un modelo de la siguiente forma:

$$T(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Los valores aproximados del modelo de la planta aportados por el Ingeniero Luis Largo¹, con base en información de los sistemas de control de la empresa son:

$$K = 7.6$$

$$\tau = 0.2$$

Tenemos

$$T(s) = \frac{7.6}{0.2s + 1}$$

Esto es equivalente a:

$$T(s) = \frac{37.75}{s + 5}$$

Este es el modelo aproximado del variador de velocidad y el motor trifásico que se utiliza para la simulación.

Utilizando la herramienta Simulink de Matlab, se simuló la ganancia de lazo abierto del sistema (véase figura 10); suponiendo como entrada *-Set point-* el escalón

¹ Ingeniero Electromecánico de la Universidad Antonio Nariño, Desempeña el Cargo de Ingeniero de programación y Control de Cemex Colombia Planta los Patios, Cúcuta Km. 7 Vía Pamplona. E-mail: luisabilio.largo@cemex.com

unitario, que crea una condición real de operación que permitirá calcular el valor de las constantes del controlador.

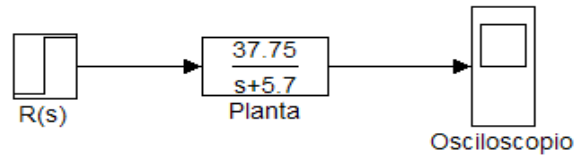


Figura 10. Simulación Sistema de Dosificación sin Compensar

La figura 11 muestra que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, debido a que no se mide la salida, ni se realimenta para compararla con la entrada. Esto indica a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada [2].

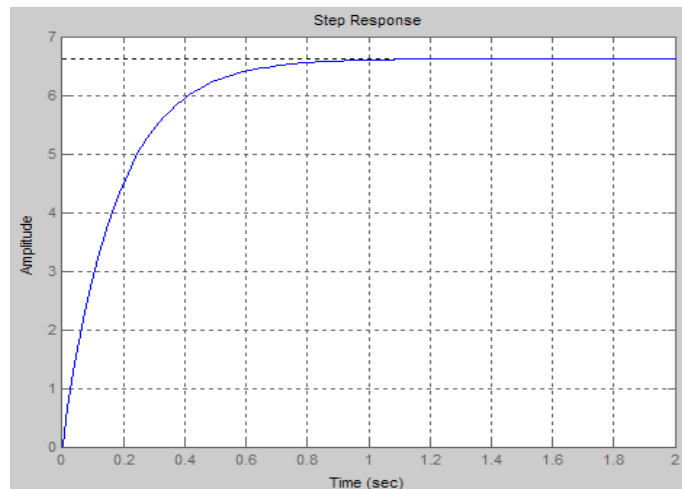


Figura 11. Respuesta de la Simulación Sistema de Dosificación sin Compensar

2.4. DISEÑO DE LAS CONSTANTES DEL CONTROLADOR

El sistema de control, busca reducir el error en estado estable obteniendo la dosificación precisa de la cantidad exacta de mineral de hierro al molino de crudo, para ello se requiere utilizar la compensación en cascada y por ello es necesario un compensador ideal para mejorar el error en estado estable.

La eliminación del error en estado estable por medio de la compensación en cascada consiste en un integrador puro, para poner en el origen un polo de trayectoria directa, lazo abierto, aumentando así el orden del sistema y reduciendo el error a cero. Estos compensadores se conocen como controlador PI (Acción Proporcional +Acción Integral); su implementación consiste en alimentar el error (proporcional) más la integral del error directo a la planta como lo muestra la figura 12.

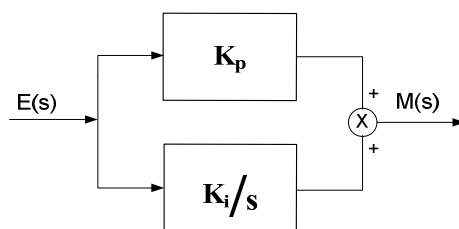


Figura 12. Controlador PI

Donde $E(s)$ es la señal error que es generada por la diferencia entre la señal de entrada (*set point*) y la señal de salida (respuesta) y $M(s)$ es la señal manipulada, obtenida luego de que la señal error ha sido compensada por el controlador PI que está compuesto por la constante proporcional $-K_p$ y la constante integral $-K_i$ [1].

El cálculo de las constantes que conforman el controlador PI se realizó con la herramienta *sisotool* en Matlab que automáticamente ajusta los valores de las constantes del controlador; para ello se debe:

- Desde Matlab asignar a una variable la transformada de Fourier de la planta, luego seleccionar la herramienta *sisotool*
- Una vez activada la herramienta *sisotool* (véase figura 13), en la ventana de arquitectura se ajustó la opción de arquitectura de control y en los datos del sistema se importó la transformada de Fourier de la planta para luego ajustar las constantes del compensador

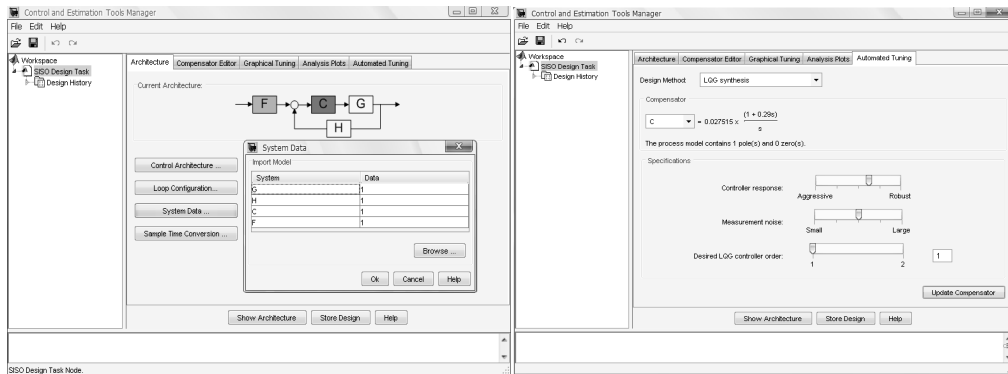


Figura 13. Configuración y diseño del compensador con la herramienta sisotool

- En la ventana de ajuste automático se diseñó el compensador, obteniendo la ganancia y la ubicación de los polos y ceros del compensador, esta opción permite controlar el tipo de repuesta ya sea robusta o agresiva. Esta se configuró de acuerdo a la información que maneja la empresa CEMEX COLOMBIA S.A. Planta los Patios, sobre los sistemas de dosificación utilizados.

2.5. SIMULACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Seleccionada la planta y el compensador con la ayuda de la herramienta *Simulink* se realiza el montaje del sistema de control (véase figura 14) para la dosificación de mineral de hierro.

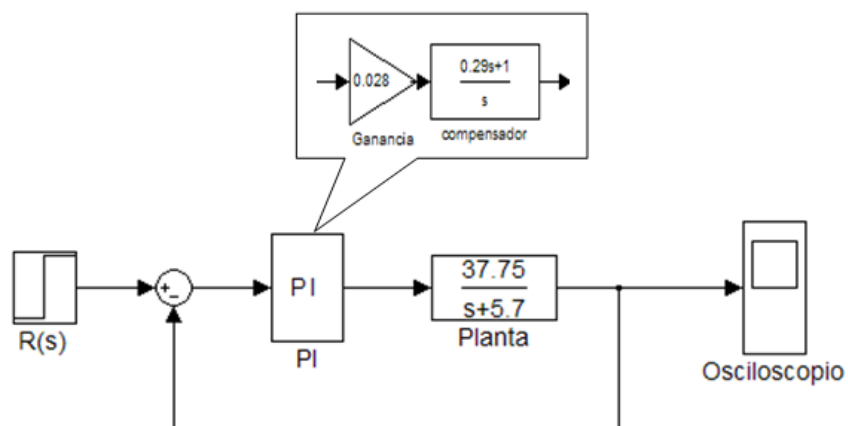


Figura 14. Simulación Sistema de Dosificación Compensado

La respuesta del sistema propuesto (véase figura 15) tienen un tiempo de asentamiento alrededor de los 30 s. Estos datos se tienen en cuenta para verificar el funcionamiento del sistema una vez se realice la implementación.

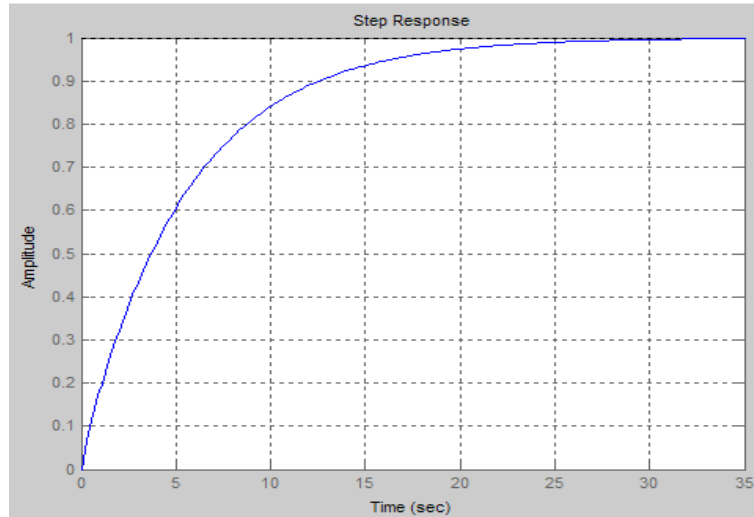


Figura 15. Respuesta de la Simulación Sistema de Dosificación Compensado

2.5.1. Lugar de raíces

En el lugar geométrico de las raíces, se visualiza la posición de las raíces de la ecuación característica del sistema y con ello determinar el denominador (polos) de la función de transferencia de lazo cerrado. La figura 16 permite verificar que el sistema es estable ya que sus polos se encuentran en el semiplano izquierdo del plano s [1].

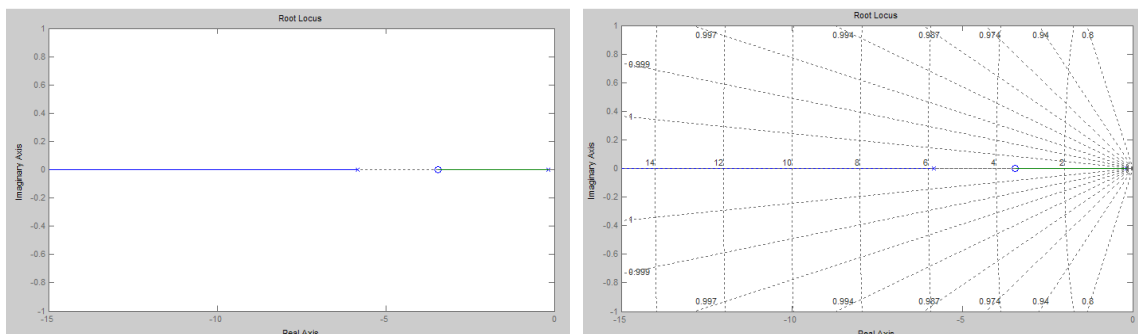


Figura 16. Lugar geométrico de las raíces del sistema de control

Los polos se encuentran en:

$$s = -5.8251$$

$$s = -0.1815$$

Con la información recopilada sobre la planta y el controlador, se seleccionan los equipos de control para implementar el sistema de control automático de dosificación.

CAPITULO 3

3. SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICO

3.1. AUTOMATIZACIÓN

Con la automatización del sistema se consigue sustituir los operadores humanos por un conjunto de elementos tecnológicos que permitan un proceso más rápido y eficiente. El sistema automático supone siempre la existencia de una fuente de energía para poder mover o no los mecanismos independientes entre sí, que hacen parte del mismo sistema de automatización de unas piezas de mando, las cuáles ordenan el ciclo que debe realizar el sistema y otras partes de trabajos que lo ejecutan.

Las técnicas de automatización que se utilizan para el sistema de dosificación son la eléctrica y electrónica; sin embargo, existe la combinación entre ellas y en la práctica es lo más habitual [23].

3.2. AUTOMATIZACIÓN ELÉCTRICA

Cualquier máquina por sencilla que sea, tendrá algún tipo de automatismo o sistema eléctrico, encargado de generar movimiento a los componentes como función de mando dentro de la misma máquina [23].

3.3. AUTOMATIZACIÓN ELECTRÓNICA

“La llegada de la electrónica a la industria ha supuesto una verdadera revolución y ha permitido que la automatización industrial dé un paso gigante. La base de este avance en la automatización ha sido el sistema digital, que ha desembocado en el ordenador y naturalmente en el autómeta programable” [23].

3.4. AUTOMATIZACIÓN MECÁNICA

Algunos de los sistemas mecánicos usados actualmente, suelen ser complicados por la abundancia de mecanismos que se manejan y de escasa flexibilidad, a pesar de esto, la tecnología que regula su funcionamiento es relativamente accesible de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación de los procesos productivos. Un problema que presenta el sistema mecánico es la sincronización de movimientos de las partes móviles [23].

3.5. DOSIFICADOR

Un dosificador de cinta (véase figura 17) permite pesar y dosificar con precisión productos polvorientos o granulados. La precisión en la dosificación del material es uno de los factores principales para el mantenimiento de la calidad del producto. Un dosificador que pesa con precisión y fiable puede contribuir a reducir pérdidas de material, garantizando homogeneidad en las mezclas y un aumento en la rentabilidad del proceso [24].

El material es distribuido sobre el dosificador a través de una tolva de entrada vertical que regula manualmente la altura de la caída del material a dosificar. El bastidor de pesaje mide el peso del material y lo convierte en una señal eléctrica de salida proporcional a la carga sobre la banda; un sensor digital controla continuamente la velocidad de la banda; la unidad electrónica multiplica la señal de peso por la velocidad obteniendo el caudal o rendimiento instantáneo; del cálculo de la integral de este último valor se obtiene la medida del totalizado [10].



Figura 17. Dosificador [4]

3.5.1. Tolva

Las tolvas de almacenamiento son mecanismos empleados para depositar y canalizar materiales granulares o polvorientos. Generalmente, la estructura de la tolva es cónica, con las paredes inclinadas y permiten que la dosificación del material sea homogénea. Para el proceso de cargar se efectúa por la parte superior y de descarga por una compuerta ubicada en la parte inferior [25].

3.5.2. Banda Transportadora

Una banda o cinta transportadora de la figura 18, es un elemento auxiliar del dosificador, que sirve para llevar el material de un lado a otro; esta recibe un producto que está más o menos en flujo continuo para conducirlo de un punto a otro punto donde sea requerido el elemento que se transporta. La capacidad de transporte depende básicamente del ancho de la banda y de la velocidad del motor que hace circular la banda [25].



Figura 18. Banda Transportadora [25]

3.6. PLANTA

3.6.1. Motor Síncrono

Los motores síncronos como el de la figura 19, son un tipo de motor eléctrico de corriente alterna; su velocidad de giro es constante y está determinada por la frecuencia de la tensión de la red a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, esta velocidad es conocida como velocidad de sincronismo [25].



Figura 19. Motor Síncrono [8]

Debido a que los motores síncronos regulan su velocidad respecto a la frecuencia, es necesario el uso de un variador de frecuencia o también conocido como un variador de velocidad para manipular esta. La tabla 2 indica las características del motor.

Características del Motor	
Potencia [Kw]	1.5
Voltaje del motor [V]	220/440
Amperaje [A]	6.9/3.45
Frecuencia [Hz]	60
Velocidad del motor [rpm]	3400
Velocidad de salida [rpm]	3400
Protección [IP]	IP 55
Aislamiento	Clase F
Peso [Kg]	18

Tabla 2. Características del Motor

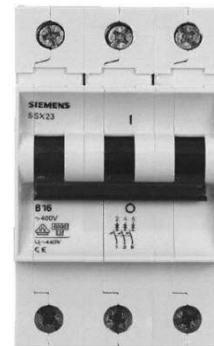
3.6.2. Elementos de accionamiento de los motores eléctricos

- **Guarda Motor**

Un guarda motor (véase figura 20a.) está diseñado para la protección de motores eléctricos, especialmente para proporcionar protección frente a sobrecargas del motor, cortocircuitos y en algunos casos, frente a falta de fase [25].



Figura 20 a.) Guarda Motor [6]



b.) Arrancador [6]

- **Arrancadores**

Los arrancadores (véase figura 20b.) se emplean en la protección de los motores trifásicos. Estos son interruptores tripolares, con tensión máxima de empleo de 440 VAC, este posee disparo térmico contra sobrecargas y electromagnético contra corto. [25].

3.6.3. Variador de Velocidad

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Los variadores de velocidad son también conocidos como inversores y resuelven el problema de poder usar los motores a velocidades variables sin disminuir mayormente su eficiencia.

La selección del variador de velocidad se hace con base a la potencia del motor, para ello se consultó la marca Yaskawa la cuál provee variadores de velocidad a la empresa como el de la figura 21. La tabla 3 indica las características del variador de frecuencia seleccionado.



Figura 21. Variador de Velocidad Yaskawa V7 [7]

Características del Variador de Velocidad	
Rango	1/8 a 10HP a 230 VAC
	1/2 a 10HP a 460 VAC.
Frecuencia de salida	0.1 a 400 Hz
Rango de sobrecarga con torque constante	150% para 1 minuto
	200% para 30 segundos
	250% para picos momentáneos
Temperatura ambiente de almacenamiento	- 20° a 60°C
Humedad	95%
Altitud	1 m
Frecuencia de entrada	+/- 5%; 50/60 Hz
Frecuencia de salida	0.1 a 400 Hz
Eficiencia	95%

Tabla 3. Características del variador de frecuencia

3.7. CONTROLADOR

El principio de funcionamiento de los controladores se basa en la medición de forma continua de la carga de la cinta Q (señal de carga) y la velocidad V (señal

de velocidad) obtenida de la banda dosificadora. Estas señales se multiplican entre sí para obtener como resultado el rendimiento I (señal del flujo de material del dosificador).

Para la selección del controlador se consultaron dos marcas Schenck y Siemens (véase figura 22). Las características de estos equipos se muestran en la tabla 4.



Figura 22. Controladores [5] - [6]

Controlador	Schenck	Siemens Milltronics
Características		
Nombre	Intecon Plus	Accumass BW500
Control de Batch	X	X
Control	PI	PID
Fuente Externa	90 a 264 VAC	100/115/200/230 VAC
Alimentación de Tensión	24 V, 1A	250 V, 2A
frecuencia	50/60 Hz	50/60 Hz
Tipo de Protección	IP 65	IP 65
Temperatura Ambiente	-25 a 45 °C	-20 a 50 °C
Altitud	---	2 m máximo
Salidas	10	6
Entradas	8	5
Celdas de Carga	2	1,2 o 4
Longitud Cable celda de carga	500 m	300 m
Comunicaciones	1 puerto RS 232	2 Puertos RS 232

Tabla 4. Características de los controladores

Los criterios de selección de equipo son:

- **Control:** el controlador Schenck realiza un control PI y según el diseño propuesto este es el tipo de compensador que se utilizara.
- **La longitud del cable de las celdas de carga:** el controlador Schenck tiene un mayor rango de distancia para el manejo de la señal de peso, teniendo en cuenta que los sensores de peso (celdas de carga) se encuentran en campo y los controladores en una subestación.

3.8. SENSORES

Los sensores son dispositivos que detectan o censan fenómenos físicos como la energía, la velocidad, la aceleración, el tamaño, la cantidad, el peso, entre otros. Su principio de funcionamiento es transformar una magnitud que se desee medir en otra (normalmente eléctrica) y de esta forma facilitar su lectura y su medida. La magnitud que indica un sensor, puede ser directa (termómetros) o también pueden estar conectados a un indicador, es decir, a través de un convertidor análogo a digital, a un computador o a un *display* [25].

3.8.1. Sensor de Velocidad

➤ Sensor Inductivo de Movimiento

Los sensores inductivos se utilizan para medir velocidades de rotación o detectar la posición angular de un determinado elemento.

El sensor inductivo está formado por:

- Un imán permanente.
- Una bobina envolviendo el imán permanente, de cuyos extremos se obtiene la tensión.
- Una pieza de material ferro magnético que se coloca en el elemento en movimiento y sirve para detectar su paso cerca del sensor. Esta pieza puede tener varios dientes formando una corona.

Su medición se basa en la tensión generada en la bobina es sometida a una variación de un campo magnético como se muestra en la figura 23.

Este sensor se conecta a través de dos cables que son los extremos de la bobina. Si la tensión que debe medirse es muy pequeña se protegen los cables con una malla metálica para evitar interferencias de otros sistemas eléctricos. La tabla 5 indica las características del sensor marca truck seleccionado [25].

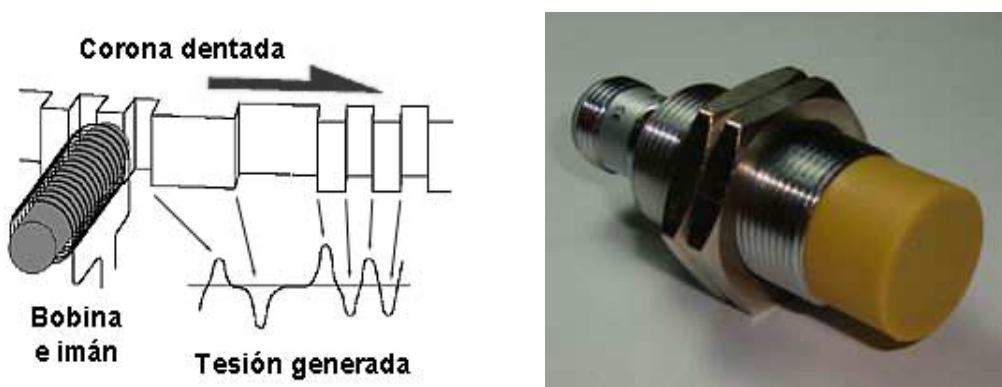


Figura 23. Sensor Inductivo de Movimiento [25]

Características Sensor de Velocidad	
Alimentación	10 -30 VDC
Tipo de Salida	2 wire DC
Frecuencia de Operación	500 Hz
Led Indicador de Salida	SI
Diámetro	18 mm
Distancia de sensado	8 mm
Timer	0 – 100ms
Ajuste de Sensibilidad	N/A

Tabla 5. Características del sensor de velocidad

3.8.2. Sensor de Carga

➤ Celdas de Carga

Las celdas de carga (véase figura 24.) son transductores que convierten una

magnitud mecánica (peso) en una señal eléctrica. El elemento básico es un cuerpo elástico especial; bajo el efecto del peso se deforma el cuerpo elástico y al modificarse la forma exterior del cuerpo elástico se modifica igualmente la resistividad óhmica de su conductor.

Se utilizan dos celdas de carga, las cuales están interconectadas de manera que se suman los cambios de resistividad positivos o negativos, dando como resultado un desequilibrio aditivo del puente [25].



Figura 24. Sensor de Carga [5]

La celda de carga es de la marca shenck y su selección se realizó de acuerdo al rango (peso máximo que soporta) como se indica en la tabla 6

Características Celda de Carga	
Peso Max	100 Kg
Escala total de salida	2.0 mV/V
Resistencia de puente	350 ohms
Temperatura	-10 a 40 °C
Peso Max	150 Kg
Sobre carga	150 %
Excitación Nominal	10 VDC
Error	0.03 %

Tabla 6. Características de la celda de carga

3.9. DISPOSITIVOS DE CONTROL

3.9.1. Controlador lógico programable (PLC)

Para el control de los procesos se maneja un controlador lógico programable *Modicon Quantum* de la empresa *Telemecanique* (véase figura 25.), este es un equipo electrónico de cableado interno independiente del proceso a controlar (hardware). Este autómata se integra a la máquina o instalación a controlar mediante un programa que define la solución de las operaciones que se desea (Software) y de un cableado directo a los elementos de entrada y de salida del autómata. El autómata programable realiza funciones de control de tipo lógico y secuencial dentro de las fábricas [9].

Un autómata programable (PLC) está diseñado para leer señales digitales y analógicas; además, envía órdenes de mando a los contactos de los motores, controladores, entre otros dispositivos. Por último, contar impulsos, almacenar señales, etc., con solo tenerlo conectado a una red informática para enviar y recibir datos de la red.

Las señales del PLC son señales de entrada que provienen de sensores o interruptores de control y las señales de salida arrancan motores o inician procesos que están siendo controladas por el autómata programable [25].



Figura 25. Controlador Lógico Programable Telemecanique [9]

3.9.2. Software

Las tareas automatizadas de control y visualización que se efectuaban con PLC (controladores lógicos programables o autómatas) se están realizando con sistemas de control basados en PC, utilizando tarjetas de expansión o de adquisición de datos. Algunas ventajas de estos sistemas son: Procesamiento de datos, visualización, trabajo en red y simular la aplicación en el PC.

El software *Unity Pro* (véase figura 26) realiza las siguientes funciones en el (PLC) *Modicon Quantum*: configura, diseña, programa, depura, supervisa, diagnostica. Dentro de un único paquete de software de la Unidad permite el pleno desarrollo de aplicaciones en línea y actualizaciones de simulación completa con funciones de depuración.

El Software *Unity Pro* aumenta la productividad de los programadores y amplía la funcionalidad que proporciona un mejor rendimiento, funcionalidad y facilidad de conversión tanto del autor del diseño como el de la productividad del usuario [9].

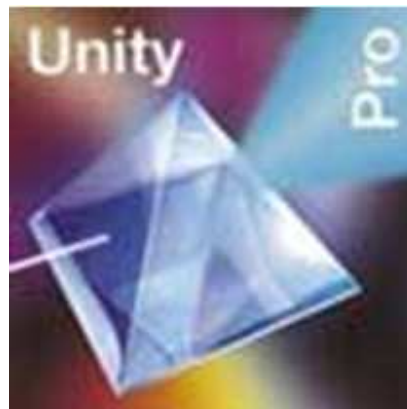


Figura 26. Software Unity Pro [9]

3.9.3. Diagrama de Selección

Con base al sistema de control diseñado, se implementara el sistema de control automático de la figura 27 para dosificar mineral de hierro al molino de crudo

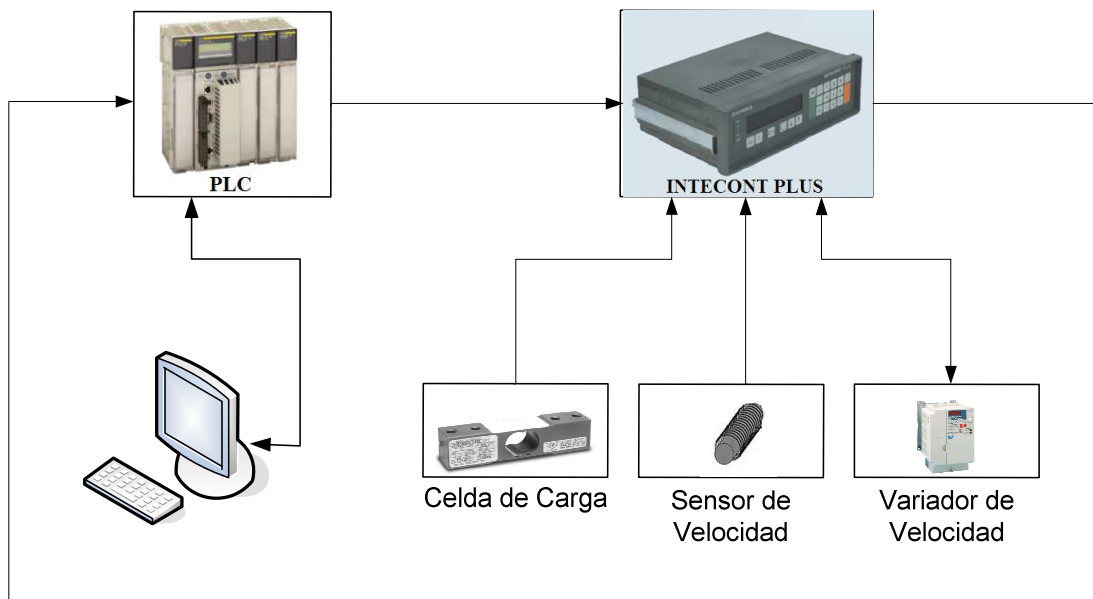


Figura 27. Diagrama de Selección del Sistema de dosificación

CAPITULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICO

Para la implantación del sistema de dosificación automático, se realizó una lista de las señales de entrada y salida a configurar de cada equipo, antes de ejecutar las respectivas conexiones de los mismos.

4.1. INTECONT PLUS

4.1.1. Señales Digitales de Entrada y Salida

El equipo (véase figura 28), ofrece una lista de señales digitales de entrada, de la cual se realizó una selección para configurar y conectar las señales estrictamente necesarias. La tabla 7 indica el nombre, bornera del equipo para la conexión y parámetro en el cual se configura la señal.

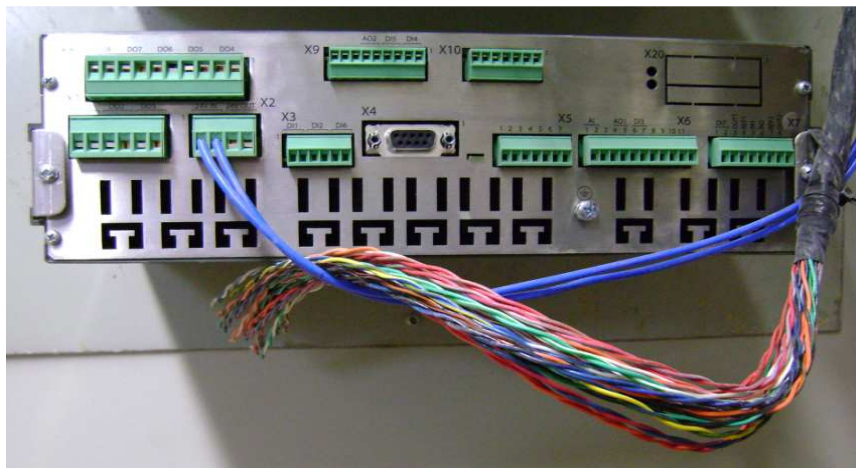


Figura 28. Intecont Plus

Señales Digitales de Entrada			
Nombre	Valor	Parámetro	Bornera
Arranque	DI4	Q01	X6 [5,6]
Sensor de Velocidad	DI6	M04	X7 [1,2]
Sensor de Carga	-----	-----	X7 [3-8]
Señales Digitales de Salida			
Disponibilidad	DO3	R01	X1 [5,6]
Dosificador ON/OFF	DO6	R02	X8 [5,6]
Rendimiento Mínimo	DO4	R04	X8 [1,2]
Rendimiento Máximo	DO2	R05	X1 [3,4]
Arranque del Variador	DO1	R13	X1 [1,2]

Tabla 7. Señales digitales de entrada y salida del controlador

La conexión de las celdas de carga, se explica más adelante en la conexión de sensores ya que la señal de entrada viene configurada de fábrica y no tiene parámetro configurable.

4.1.2. Señales Análogas de Entrada y Salida

El Intecont Plus ofrece dos señales análogas de salida y una de entrada. La tabla 8 indica el nombre, bornera del equipo para la conexión y parámetro en el cual se configura la señal.

Señales Análogas de Entrada			
Nombre	Valor	Parámetro	Bornera
<i>Set point</i>	AE1	-----	X6 [1,2]
Señales Análogas de Salida			
Entrada al Variador del <i>Set point</i>	AO1	E1	X6 [5,6]
Respuesta al <i>Set point</i>	AO2	E4	X9 [5,6]

Tabla 8. Señales análogas de entrada y salida del controlador

Realizada la conexión de las señales digitales y análogas (véase figura 29), del controlador PI Intecont Plus, se energiza el equipo con una fuente de 220 VAC a 24 VDC.

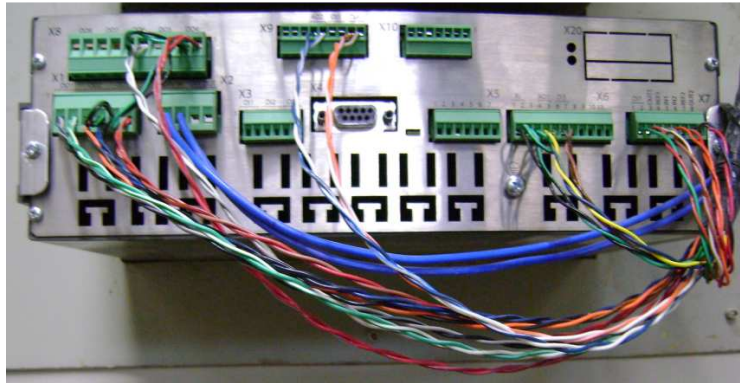


Figura 29. Cableado del Intecon Plus

4.2. VARIADOR DE VELOCIDAD YASKAWA V7

4.2.1. Señales Digitales de Entrada y Salida

En la conexión del variador de velocidad de la figura 30, se utiliza una señal digital de salida y una de entrada (véase tabla 9). La señal de salida indica la falla general del variador de velocidad y la señal de entrada el arranque o paro del variador.



Figura 30. Variador de Velocidad Yaskawa V7 en funcionamiento

Señales Digitales de Entrada			
Nombre	Valor	Parámetro	Bornera
Arranque del Variador ON/OFF	1	n050	S1,SC
Señales Digitales de Salida			
Falla General			MA,MC

Tabla 9. Señales digitales de entrada y salida del variador de velocidad

4.2.2. Señal Análoga de Entrada

La señal análoga de entrada del variador de velocidad (véase tabla 10), proviene del Intecon Plus; dicha señal indica la variación de velocidad que se debe realizar para alcanzar el *set point*.

Señales Análogas de Entrada			
Nombre	Valor	Parámetro	Bornera
Arranque del Variador ON/OFF	3	N004	FR,FC

Tabla 10. Señal análoga de entrada del variador de velocidad

La alimentación del variador de velocidad requiere 440 V; para ello es necesario de un arrancador tetra polar (trifásico) como protección en caso de sobrecarga o corto circuito. Al variador de velocidad se conecta el motor en los terminales del circuito principal como se indica en la figura 31.

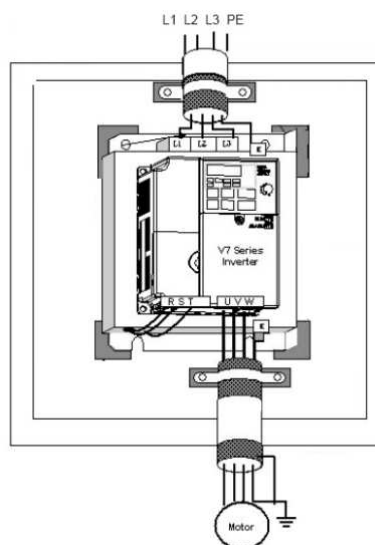


Figura 31. Alimentación y Conexión de Motor al Variador Yaskawa V7 [7]

4.3. MOTOR REDUCTOR SEW

El motor de la figura 32 se conecta al variador en las borneras U, V, W alimentándolo con 440 V; lo que indica, según las características del motor, que su amperaje es de 3.45 A, con una potencia de 2 hp acorde con la capacidad del variador de velocidad que tiene un rango de entre $\frac{1}{2}$ y 10 hp.

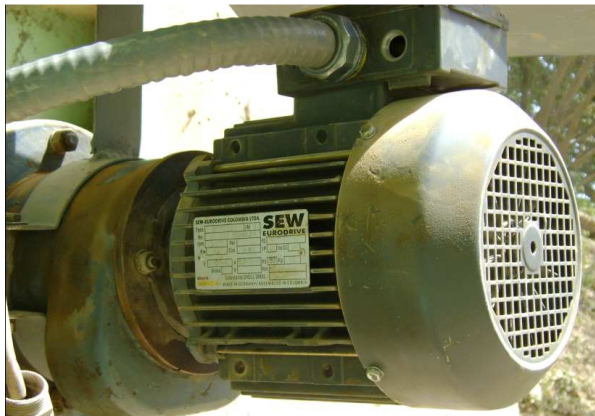


Figura 32. Conexión de Motor Reductor [4]

Se ubica una caja de distribución en campo, en la cual están conectados el motoreductor, las celdas de carga y el sensor de velocidad. Estas señales son llevadas a la subestación principal para realizar la conexión al variador de velocidad y al Intecont Plus.

4.4. SENSORES

4.4.1. Sensor de Velocidad Truck

El sensor de velocidad de la figura 33 se conecta a la bornera X7 [1,2] del Intecont Plus, la configuración de impulsos por vuelta se realizara más adelante.



Figura 33. Conexión de Sensor de Velocidad Truck [4]

4.4.2. Sensor de Carga Schenck

Las dos celdas de carga de la figura 34 se conectan en paralelo, buscando unificar la diferencia de peso en el puente pesador, esta señal (véase tabla 11) se conecta en la bornera X7 [3-8] del Intecont plus las cuales no requieren configuración de parámetros.



Figura 34. Conexión de Sensor de Peso Schenck [4]

Conexión Celdas de Carga		
Nombre	Color Cable Celda	Bornera Intecont
Salida 1	Negro	X7 [3]
Salida 2	Verde	X7 [8]
Entrada 1	Rojo	X7 [5]
Entrada 2	Blanco	X7 [6]
Referencia 1	Azul	X7 [4]
Referencia 2	Naranja	X7 [7]

Tabla 11. Conexión de la celda de carga

4.5. PUENTE PESADOR

El montaje y diseño del puente pesador (véase figura 35) se realizó con base en la información suministrada por Schenck, la cual indica que el puente de pesaje debe ser de un metro de largo para dos celdas de carga y debe existir una distancia por lo menos un metro entre el puente de pesaje y la zona de carga (caída de material de la tolva a la banda dosificadora); la distancia entre el último rodillo de la zona de pesaje (Puente pesador) y la caída del material no influye.

La información suministrada por Schenck, indica que el puente de pesaje se caracteriza por:

- De los tres rodillos que conforman el puente de pesaje (los extremos) deben estar 3 mm más elevado que los rodillos de la zona de carga.
- El rodillo del centro que es donde se encuentran las celdas de carga debe estar a 5 mm más elevado que los rodillos de la zona de carga o sea 2 mm con respecto a los otros dos rodillos de la zona de carga.
- El soporte de las celdas de carga se debe diseñar de modo que este que deflectando para que no falsee la medida de peso del material.

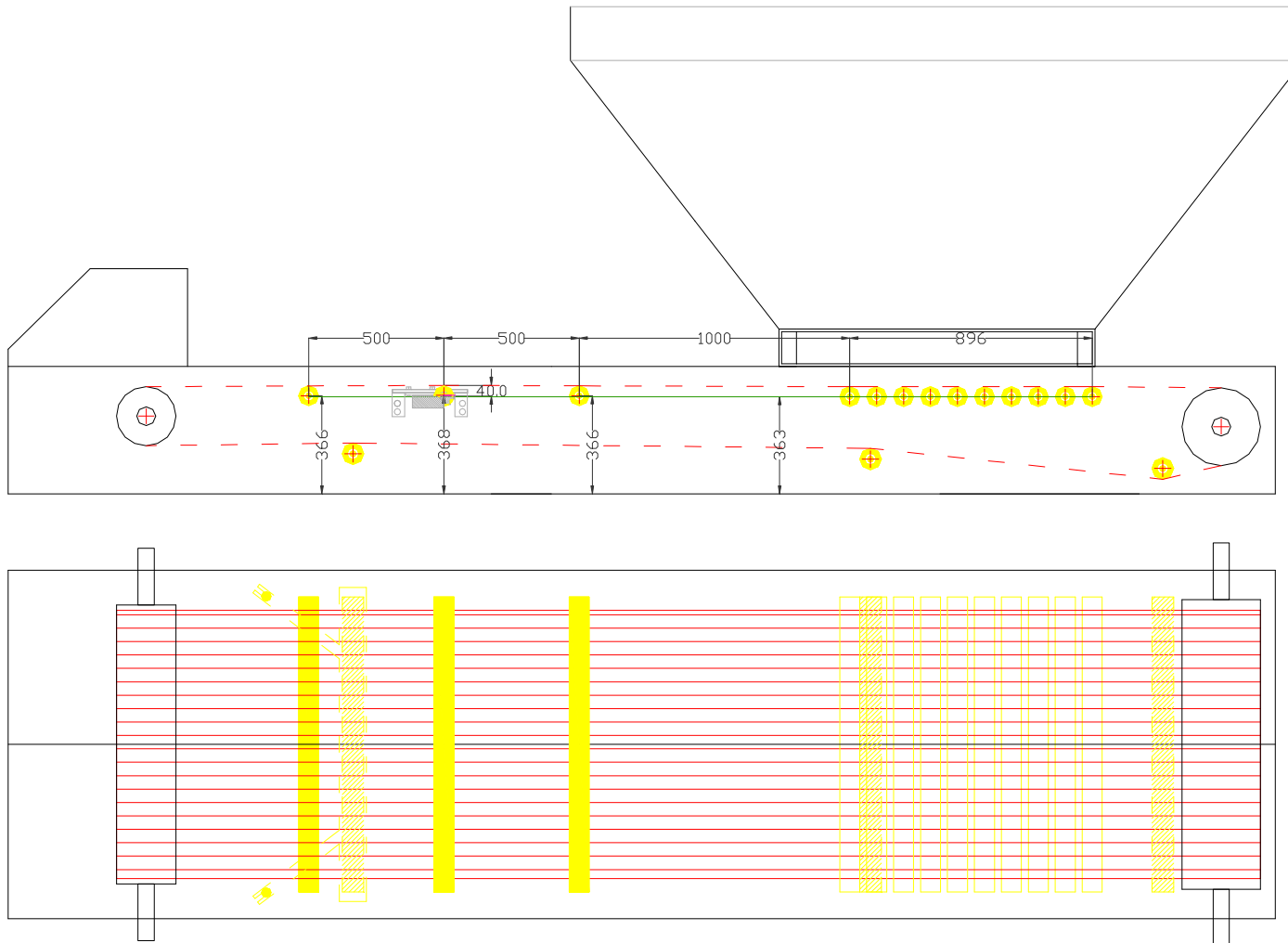


Figura 35. Diseño y ubicación del puente pesaje

4.6. CONEXIÓN PLC

Para la conexión al tablero del Controlador Lógico Programable (PLC), se instaló una bornera de distribución (véase figura 36) en el tablero de equipos de control para enviar y recibir la información de las señales digitales y análogas.

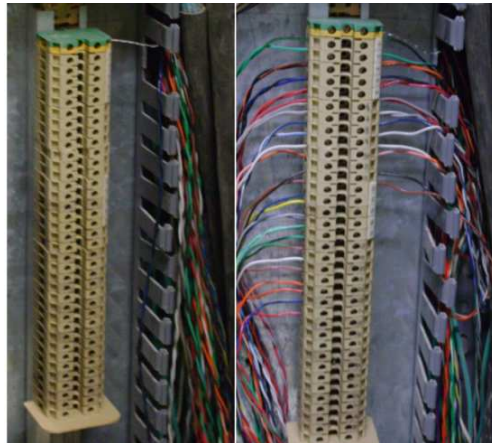


Figura 36. Conexión de Bornera de Distribución [4]

Las señales análogas y digitales se conectaron en la respectiva tarjeta del PLC como lo muestra la figura 37.



Figura 37. Conexión Señales de Entrada y Salida a PLC [4]

Las características de conexión de los equipos que conforman el sistema de control automático de dosificación se describe en la tabla 12 y su plano de conexión en el anexo 2.

CARACTERISTICAS								
INTECONT-PLC-INTECONT								
Señal	PLC	Vía Tablero (PLC)	Bornera Tablero (PLC)	Color Cable		Bornera Tablero (equipos)	Nombre	Intecont/ Variador
SET POINT [% i 466]	AC005 [29]	389	89--16	negro		1	AE1 (+)	X6 [1]
	AC005 [30]	390	90-15	verde		2	AE1 (-)	X6 [2]
I-MAX [% i 460]	220_V	120	0B 89	naranja	negro	3	D02 (+)	X1 [3]
	DAI22 [32]	90	0A-48	azul	negro	4	D02 (-)	X1 [4]
DISPONIBILIDAD [% i 456]	220_V	120	0B 89	rojo	café	5	D03 (+)	X1 [6]
	DAI23 [32]	122	1B-01	azul	negro	4	D03 (-)	X1 [5]
I-MIN [% i 458]	220_V	120	0B 89	rojo	gris	6	D04 (+)	X8 [1]
	DAI23 [33]	123	1B-02	azul	negro	4	D04 (-)	X8 [2]
CONFIRMACION [% i 457]	220_V	120	0B 89	gris	blanco	7	D06 (+)	X8 [5]
	DAI23 [31]	121	1B--00	azul	negro	4	D06 (-)	X8 [6]
RESPUESTA [% i W20]	AMM22 [20]	397	97--8	azul		8	A02 (+)	X9 [6]
	AMM22 [22]	398	98--7	blanco		9	A02 (-)	X9 [5]
ARRANQUE [% M158]	DD010 [12]	782	0B-78--R14	blanco		10	DI4 (+)	X9 [1]
		728	0B-79--R14	naranja		11	DI4 (-)	X9 [2]
VARIADOR-PLC								
FALLA DEL VARIADOR [% i 459]	220_V	59	0B-89	negro		12		MA
	DAI23 [30]	120	1B-03	café		13		MC
INTECONT-VARIADOR								
SET POINT--ENTRADA DEL VARIADOR	----	----	-----	azul		14	A01 (+)	X6 [5] / FR
	----	----	-----	amarillo		15	A01 (-)	X6 [6] / FC
ARRANQUE DEL VARIADOR	220_V	----	0B 89	negro	gris	16	D01 (+)	X1 [1] / SC
	DAI22 [33]	----	-----	verde	blanco	17	D01 (-)	X1 [2] / S1
SENSORES-INTECONT								
SENSOR DE VELOCIDAD	----	----	-----	negro		18	DI7 (+)	X7 [1]
	----	----	-----	blanco		19	DI7 (-)	X7 [2]
CELDA DE CARGA	----	----	-----	negro		20	OUT 1	X7 [3]
	----	----	-----	azul		21	REF 1	X7 [4]
	----	----	-----	rojo		22	DI7 (+)	X7 [1]
	----	----	-----	blanco		23	DI7 (-)	X7 [2]
	----	----	-----	naranja		24	OUT 1	X7 [3]
	----	----	-----	verde		25	REF 1	X7 [4]

Tabla 12. Interconexión del PLC, controlador y variador de velocidad

CAPITULO 5

5. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

5.1. CONFIGURACIÓN INTECONT PLUS

La configuración del intecont Plus, se realiza ajustando los parámetros de velocidad nominal, rendimiento nominal, señales de entrada y salida, celda de carga, el control PI, etc. El software Schenck Process EasyServer (véase figura 38) permite cargar y transmitir de forma cómoda y segura los parámetros mediante una comunicación entre el computador y el intecont plus por medio de un conector RS232.

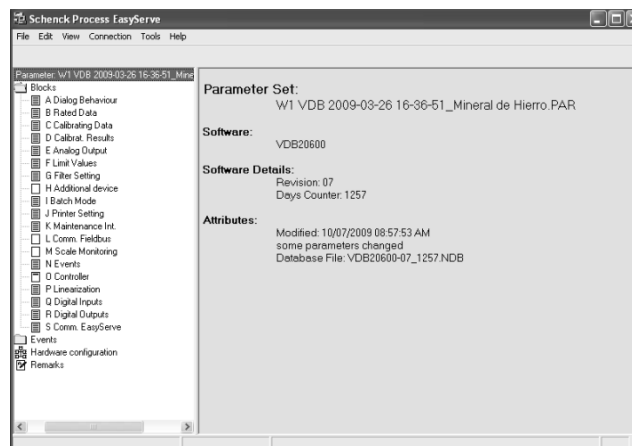


Figura 38. Schenck Process Easyserver

El ajuste básico del Intecont plus se muestra en la tabla 13, donde se realiza una descripción detallada de cada uno de los parámetros que se debe configurar. Los valores de la constante proporcional K_p y la constante integral K_i del controlador PI obtenidas en el diseño, se ajustan en los parámetros O02 y O03.

Configuración Intecon Plus				
Parámetro	Nombre	Descripción	Valor defecto	Valor actual
B01	Dimensión Rendimiento	Determina el formato de indicación para el rendimiento	kg/h	----- - t/h
B02	Rendimiento nominal	Referencia para valores límite e indicaciones de servicio	10,0 t/h	20,0 t/h
B15	Velocidad nominal	Velocidad de referencia para los valores límite	0,1000 m/s	0,0320 m/s
C02	Tiempo vuelta cinta	Establece el tiempo de medición para el programa de ajuste Imp./vuelta de cinta	30 s	258 s
C04	Carga nominal de la celda de carga	Suma de las cargas nominales de la célula de pesaje	60,000 kg	200 kg
C08	Pesa de prueba	Peso simulado de material sobre el puente de pesaje mediante el peso de prueba	10,000 kg	31,650 kg
O02	Proporción P KP	Referencia: Consigna nominal	0,02 mA/%	0,01 mA/%
O03	Proporción I TN	El tiempo de reajuste TN es el tiempo en el que a través de la proporción I se causa la misma modificación de la magnitud de ajuste que a través de la proporción P	1,0 s	3,45 s

Tabla 13. Configuración de parámetros del controlador

5.2. CONFIGURACIÓN VARIADOR DE VELOCIDAD YASKAWA V7

La configuración del variador de velocidad Yaskawa, se realiza ajustando los parámetros tales como: corriente nominal del motor, frecuencia y voltaje máximo, entre otros. El software Drive Wizard (véase figura 39) permite cargar y transmitir de forma cómoda y segura los parámetros mediante una comunicación entre el computador y el variador Yaskawa por medio de un conector RS232.

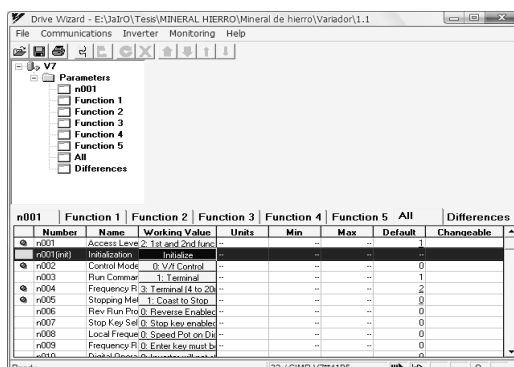


Figura 39. Driver Wizard

El ajuste básico del variador de velocidad Yaskawa se muestra en la tabla 14, donde se realiza una descripción detallada de cada uno de los parámetros que se debe configurar.

Configuración Variador De Velocidad Yaskawa				
Parámetro	Nombre	Descripción	Valor defecto	Valor actual
n001	Acceso al parámetro	acceso limitado al parámetro (n001 a n049)	0	1
n002	Selección de modo de control	Modo de control V/f	1	0
n004	Selección de la referencia de frecuencia	terminal del circuito de control (4 a 20mA)	0	3
n011	Frecuencia de salida máxima	Frecuencia máxima de salida	50 Hz	60 Hz
n012	Tensión máxima de salida	Tensión máxima de salida	400 V	440 V
n019	Tiempo de aceleración	Tiempo de aceleración	10 seg	0 seg
n020	Tiempo de deceleración	Tiempo de deceleración	10 seg	0 seg
n036	Corriente nominal del motor	Según el modelo	3,1 A	3,45 A

Tabla 14. Configuración de parámetros del variador de velocidad

5.3. AJUSTE DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE MINERAL DE HIERRO

El Intecont Plus requiere una calibración para que el sistema funcione correctamente

5.3.1. Calibración del Dosificador de Mineral de hierro:

1. Verificar que los tres rodillos que conforman el puente pesador se encuentren nivelados como se muestra en la figura 40; para ello debe utilizar una regla

rígida y un nivel en la zona de extracción de pesaje. En caso de que estos no se encuentren nivelados, debe detener el proceso de calibración, corregir e iniciar de nuevo.

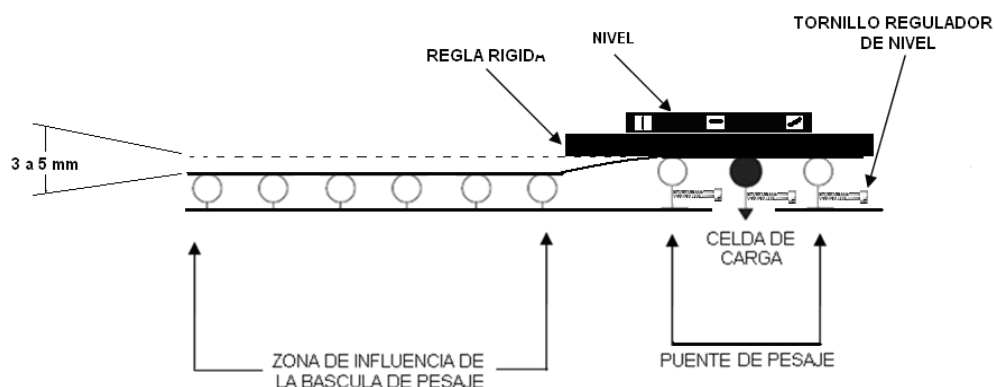


Figura 40. Esquema de calibración para el sistema de dosificación [5]















2. Cerciorarse que el puente de pesaje se encuentre elevado tres a cinco mm con respecto a los demás rodillos, de no ser así gradué esta distancia con el tornillo regulador de nivel.
 3. Seleccionar el INTECONT PLUS en *modo teclado ON*, para ello debe Activar el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “Modo Teclado ON” para finalizar presione .
 4. Seleccionar el INTECONT PLUS en *modo volumétrico* como se muestra en la figura 41, para ello debe Activar el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “volumétrico” para finalizar presione .
- Para verificar que el INTECONT PLUS se encuentra funcionando en *teclado ON* y en *modo volumétrico* debe aparecer en la parte superior izquierda de la pantalla un indicativo así:









Figura 41. Indicación para calibrar el controlador del sistema de control [5]








- Activar el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “programación” para ingresar presione , introduzca la contraseña (consultarla con el ingeniero de control y Programación).
5. Modifica la consigna  del parámetro *D02* por “1” y presiona ; para los parámetros *D03*, *D04*, *D05* el valor debe ser “0” y los demás parámetros no se modifican.
 6. Ya modificados los parámetros del bloque *D* se abandona el distribuidor de funciones  y se retorna a la pantalla inicial.
 7. Se presiona la tecla  en el INTECONT PLUS y se modifica la consigna  de caudal reemplazando esta por un valor igual al caudal nominal (20 T/H) y se cerciora que el variador de velocidad se encuentre al máximo según su configuración (60 Hz).
 8. Verificar la velocidad de la banda mostrada en el controlador, comparándola con la velocidad real de la banda la cual es tomada con el tacómetro.

Se realiza un cálculo del porcentaje de error aplicando la siguiente fórmula.





$$E\% = \left(\frac{Vel. Intecont Plus - Vel. Tacometro}{Vel. Tacometro} \right) * 100$$



- El resultado debe ser menor al 1 %.
- Si E% es mayor a 1% active el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “*programación*” para ingresar se presiona , introducir la contraseña (consultarla con el ingeniero de control y Programación). Seleccione  el bloque *B* y *presionando la tecla*  introducir en el parámetro **B05** el valor real de velocidad medido con el tacómetro y presiona .


5.3.2. Tara

9. Para ajustar fallo del punto cero ó tara de la báscula de cinta dosificadora se activa el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “*función ajuste*” para ingresar presionar , se introduce la contraseña (consultar ingeniero de programación y control) y se selecciona *TW* e inicia con . En estos momentos el indicador en porcentaje *TW* está disminuyendo, una vez que este llegue a cero se da por terminado el ajuste de tara. En caso de que se desee cancelar el procedimiento se oprime  de lo contrario se finaliza con  para guardar los resultados, estos se guardan automáticamente en el parámetro *D03* Tara total.


5.3.3. Puesta a cero








10. Para la puesta a cero se activa el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “*Puesta a Cero*” para ingresar presionar . En estos momentos el indicador en porcentaje disminuye, una vez que este llegue a

cero se da por terminado. En caso de que se desee cancelar el procedimiento oprima  de lo contrario finalizar con  para guardar los resultados, estos se guardan automáticamente en el parámetro *D04* Tara básica.

11. Con el ajuste de tara y puesta a cero finalizados se desactiva con  el INTECONT PLUS.

5.3.4. Control de peso

12. Se procede a colocar las pesas patrón en cada una de las celdas de carga y se inicia  el INTECONT PLUS y se cerciora que el variador de velocidad se encuentre al máximo (60 Hz).

13. Activar el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “*función de ajuste*” para ingresar presionar , introducir la contraseña (ingeniero de control y Programación), una vez nos se encuentre en la *función de ajuste* se selecciona  *control de peso* e iniciamos con . En estos momentos el indicador en porcentaje *CW* está disminuyendo, cuando este llegue a cero se da por finalizado el control de peso. En caso de que se desee cancelar el procedimiento oprima  de lo contrario finalizar con  para guardar los resultados, este resultado *COR* es analizado y se usa de acuerdo a la evaluación de resultados.

5.3.5. Evaluación de resultados

14. Finalizado el control de peso el ingeniero de control debe evaluar los resultados obtenidos, para ello se tienen los siguientes rangos:

- Fallo < 1 % : $COR = 0,99...1,01$







La báscula está correcta, no se requiere aplicar otras medidas.

- Fallo < 5 % : COR = 0,95...1,05

Introducir el valor COR en el parámetro D 02. Esto, por supuesto, sólo tiene sentido si con el parámetro todavía no se ha tenido en cuenta el resultado de un control de material.

- Fallo > 5 % : COR < 0,95 o COR > 1,05

Las desviaciones de varios tantos por ciento son indicativo de una introducción errónea de datos técnicos (por ejemplo: inclinación de la cinta no conocida con exactitud, brazos de palanca, etc.) o de la existencia de fallos mecánicos (alineación, deformaciones, etc.).

15. El valor obtenido de “COR” debe ser almacenado en el bloque *D* en el parámetro *D02* para ello se activa el distribuidor de funciones  y seleccionar  la función “*programación*” para ingresar presionar , introducir la contraseña (ingeniero de control e instrumentación), una vez se encuentre en la función *programación* se selecciona  el bloque *D* y modificamos la consigna  del parámetro *D02* por el valor obtenido en “COR” y se finaliza con .

16. Para corroborar el peso patrón con el peso mostrado en el display (**Q**) se emplea la ecuación (1) y (2) donde la longitud total del puente (**1 m**) y la carga total (pesa patrón 31.650 Kg) (**QB**) sobre el puente de pesaje como lo muestra la figura 42. De esta forma se puede cerciorar de la correcta calibración de INTECONT PLUS.

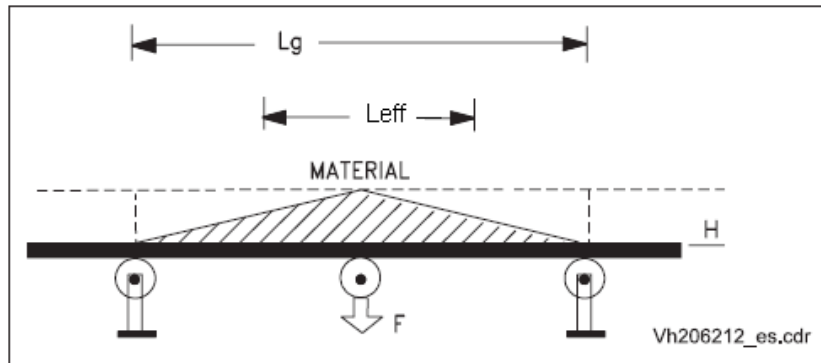





Figura 42. Calibración del sistema de pesaje del dosificador [5]

$$Q = \frac{QB}{L_{eff}} \quad (1)$$

$$L_{eff} = \frac{L_g}{2} \quad (2)$$

17. Para finalizar el proceso de calibración del dosificador, el INTECONT PLUS se lleva de nuevo a modo *gravimétrico* y modo *teclado off*. para ello debe activar el distribuidor de funciones  y seleccionar  “modo gravimétrico” para finalizar presionar . El mismo proceso se realiza para seleccionar el “modo teclado off”.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez realizado el diseño, selección, instalación y configuración de los equipos del sistema de control automático para la dosificación de hierro, se examinan los resultados obtenidos con los trazados al inicio de este proyecto.

El rendimiento que se le exige al sistema de dosificación es de 20 T/H; la respuesta real y el tiempo de asentamiento del sistema en funcionamiento se compara con la obtenida en la simulación como muestra la figura 43, donde se varió la amplitud del escalón en 20 para poder compararla con la respuesta real del sistema con la ayuda de Matlab.

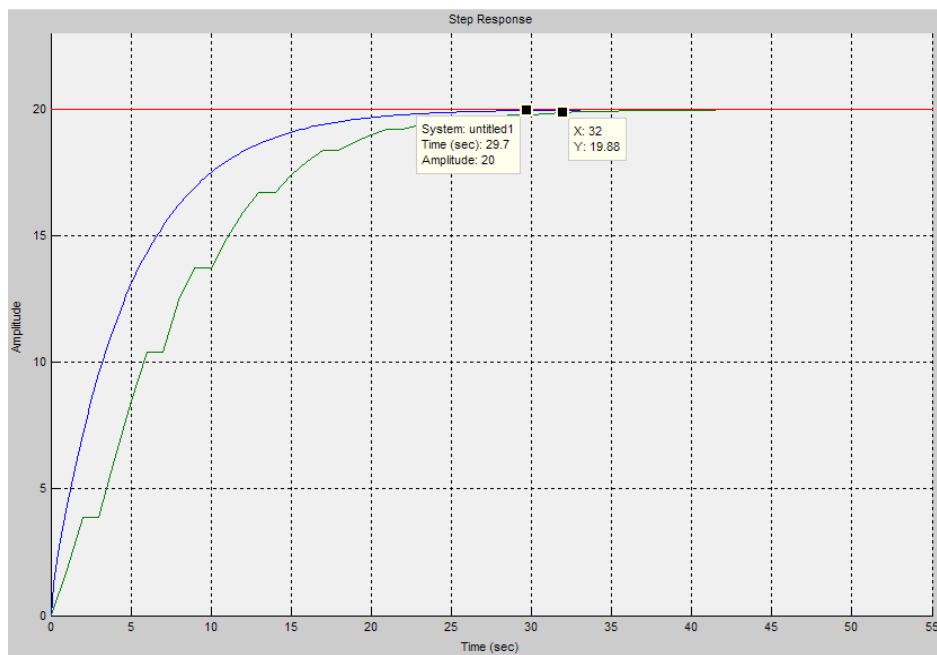


Figura 43. Tiempo de asentamiento del sistema de dosificación

La información que se observa en la figura 48 deja ver que la respuesta del sistema propuesto alcanza el *Set point* (Señal de entrada del sistema) alrededor de los 30 s, mientras que el sistema real en 32 s; esto indica un variación del 6% entre el resultado propuesto y el obtenido.

De acuerdo al estudio realizado a lo largo del proyecto, se puede concluir que se ha logrado el objetivo propuesto ya que el diseño, selección, instalación, configuración de equipos y su funcionamiento del sistema ha sido correcto de acuerdo a la normativa aplicable en cada caso; esto se refleja en la figura 44, la cual describe el comportamiento del sistema ante una entrada real que varía en función del tiempo.

Los resultados obtenidos con la realización del proyecto, permiten afirmar que el diseño e implementación del sistema de control es confiable; con esto se podrá realizar una mezcla adecuada mediante la dosificación de materiales y así mejorar la calidad e incrementar los volúmenes de producción.

El presente proyecto, ha servido como desarrollo de diferentes materias y conocimientos que han sido aplicados para realizar un sistema de control automático para la dosificación de mineral de hierro en el molino de crudo de una planta de molienda de cemento; pero podrían aplicarse igualmente, para realizar la implantación de cualquier otro tipo de industria o proceso industrial.

La inversión en la automatización de un proceso, resulta ser costosa por el valor elevado de los sensores y equipos de control; sin embargo, al realizar un estudio del aumento de producción y calidad que obtiene la mezcla, se podría estimar el tiempo que tardaría la empresa en recuperar el dinero, ya que la forma de operar que sugiere la metodología de automatización, hace que la dosificación de materias primas, logre un control efectivo, sin generar pérdidas en la dosificación de cada uno de ellos.

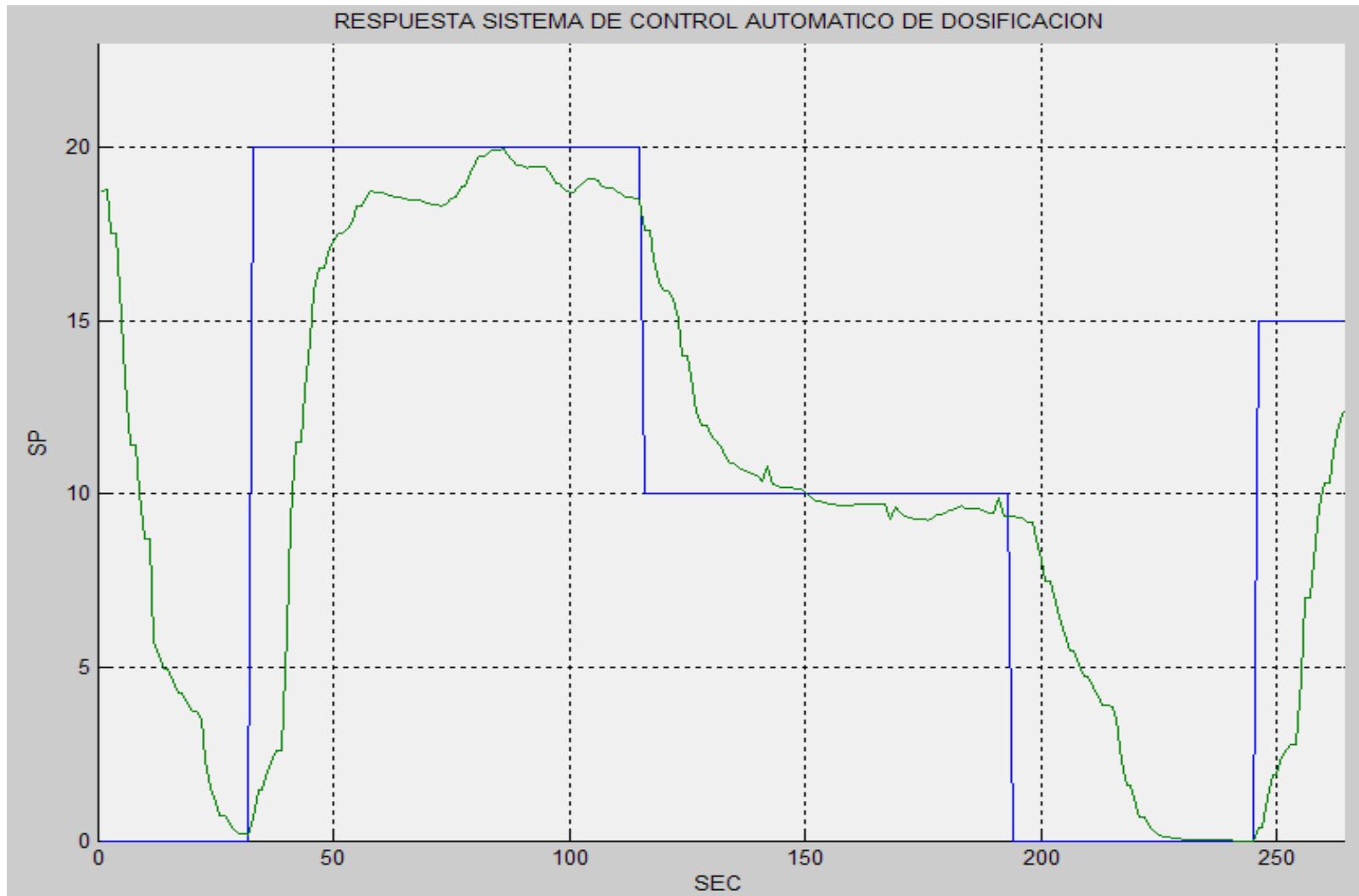


Figura 44. Comportamiento del sistema de control de dosificación para una entrada real que varía en función del tiempo

Implementar este proyecto se hace viable, ya que la planta se verá beneficiada en el aumento de producción, tendrá control en los procesos de dosificación, con dispositivos electrónicos de buena calidad, el software brindará seguridad a la planta y al operario, debido a que se estará observando la consecución de los procesos en tiempo real desde la cabina de operación, los reportes generados por el software, serán de gran ayuda para la planta cuando quiera llevar una estadística en su producción.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Benjamín C. Kuo, “Sistemas de Control Automático”, Séptima edición, PEARSON Prentice Hall, 1996, cap. 1, 3, 6, 8 y 10.

- [2] Katsuhiko Ogata, “Ingeniería de Control Moderna”, Cuarta edición, PEARSON EDUCACION, Madrid 2003, cap. 3, 5 y 10.

- [3] Proceso de fabricación del Cemento, “Control de Calidad Molinos de Harina de Crudo”, Copyright, 1997 CEMEX CENTRAL, S.A., cap. 4.

- [4] CEMEX COLOMBIA S.A. Disponible en :
http://www.cemexcolombia.com/np/np_ce.html
Consultado el: 03/01/2009

- [5] Schenck Process Américas S.A., Catálogos de productos
<http://www.schenckprocess.com.co/es/produkte/components-catalog.html>
Consultado el: 03/04/2009

- [6] Siemens Región Andina, Catálogos de productos
<http://w1.siemens.com/entry/co/es/>
Consultado el: 13/04/2009

- [7] Variadores S.A., Catalogo de productos
<http://www.variadores.com.co/>
Consultado el: 01/05/2009

- [8] SEW Eurodrive Colombia LTDA, Catálogos de productos
<http://www.sew-eurodrive.com.co>
Consultado el: 11/05/2009

- [9] Schneider Electric, Catalogo de productos Telemecanique

<http://eclipse.modicon.com/CustomerTE.nsf/Unity?OpenFrameset>

Consultado el: 11/05/2009

- [10] Verónica Diez Esteban, "Proyecto de Instalación de una Planta de Molienda De Cemento". Madrid. Junio 2008. Trabajo de Grado (Ingeniera Técnica Industrial) Universidad Carlos III de Madrid.
- [11] Cementos de Andalucía. "El cemento -proceso de fabricación-". Disponible en: <http://www.cementosdeandalucia.org>
Consultado el: 18/02/2009
- [12] Sergio J. Navarro Hudiel. "Definiciones y Elaboración de Cemento". Universidad Nacional de Ingeniería, Perú 2009.
- [13] Guía del Usuario, CEMEX MEXICO. Disponible en : <http://www.cemexmexico.com/se/pdf/especificaciones.pdf>
- [14] Monsalvo Vázquez Raúl, Patricia Girón García, Planos Loureiro Antonio, "Industrias y sus tecnologías. La industria del cemento en México". México 2009. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [15] Rocio Magdalena Rico Rodríguez, Saraid Martines. "El sistema de actividad humana con un lenguaje de modelación", Instituto Tecnológico de Piedras Negras, México 2008.
- [16] Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial (UPDCE). "Guía Básica sobre la Importancia de la Automatización en los Procesos Industriales". México, junio 2007.
- [17] Red telemática educativa de Andalucía, "Sistemas automáticos de control". Sistemas de Regulación y Control Automáticos. Andalucía España.

- [18] Cemento Cerro Blanco S.A. Disponible en:
http://www.cerroblanco.com.ar/proceso_fabric.html
Consultado el: 25/02/2009
- [19] Agustina Santos, "Programa INF-423". Universidad Autónoma de Santo Domingo. República Dominicana, 2009.
- [20] José Luis Medina, Josep María Guayadol, "La Automatización en la Industria", Primera edición, Ediciones UPC, 2010, pág. 176.
- [21] Calorina Lagos, "sistemas de control automático". ABC de la Automatización. Asociación de la Industrial Eléctrica y Electrónica, Chile.
- [22] Instrumentación y control, "conceptos y teoría de control". Artículos automatización cap.1. Disponible en:
<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/>
Consultado el: 15/02/2009
- [23] Escuela de Profesiones Técnicas, "Sistemas de control: elementos componentes, variables, función de transferencia y diagrama funcional", Temario Tecnología Capitulo 65, España.
- [24] Thermo Scientific. "Dosificador de cinta para capacidad intermedia Model 10/60DL", Catalogo de productos. Thermo Fisher Scientific.2007
- [25] Alfonso López Céspedes, Juan Carlos Mesa Hernández. "Trabajo de Grado- Diseño de una Metodología de Automatización y Control para los Procesos de Dosificación, Mezcla y Carga de una Planta de Asfalto-". Santa fe de Bogotá 2007. Trabajo de grado (Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica). Universidad de la Salle.

8. ANEXOS


Anexo 1. Certificado CEMEX COLOMBIA S.A.



Certifica:

Que Jairo Hernando Cervantes García, en virtud del convenio celebrado entre la Universidad Industrial de Santander y nuestra Compañía, desarrolló con éxito su Práctica Profesional entre enero de 2009 y julio de 2009.


ALFREDO CARRILLO ANTIGA
Vicepresidente de Recursos Humanos


CARLOS SCHMIDT-MUMM JUNGUITO
Director de Planeación y Desarrollo

Cúcuta, agosto de 2009

