

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Carlos Calderón , Ing.
Universidad Técnica Particular de Loja

RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolló un sistema integrado de automatización y control del proceso de dosificación de hormigón, orientado a plantas de producción de este material.

La solución radica en la sinergia entre el poderío en cuanto a control industrial de los PLCs y el poderío en cuanto a software de LabVIEW.

Al sistema integrado lo hemos dividido en módulos, los cuales son: Módulo de sensores, Módulo de actuadores, Módulo de Digitalización de señal y Control de conmutación, Módulo de Software de Proporcionamiento y Módulo de Software de Automatización.

El objetivo del Módulo de Sensores es monitorear los pesos de los materiales ingredientes (grava fina, grava gruesa y cemento). El objetivo del Módulo de Actuadores es habilitar a la señal de salida del PLC para que soporte el encendido y apagado de los mecanismos a controlar (compuertas, banda, bomba), ubicados en la Planta Industrial. El objetivo del PLC y sus módulos de Strain Gauge y de Relays es: por una parte leer la señal eléctrica de los sensores y por otra parte de genera los pulsos de conmutación para la activación de los contactores. Por último, el objetivo del Módulo de Software de Automatización es el algoritmo que controla todo el proceso de dosificación, en base a determinadas constantes que arroja el Módulo de Software de Proporcionamiento que es el encargado de dar las cantidades necesarias de cada material.

Para finalizar, entre los beneficios que se obtuvieron está el hecho de que se redujo el tiempo de producción de la Planta Dosificadora y por ende se ha incrementado el rendimiento de la misma.

ABSTRACT

In the present project was developed an integrated system of automation and control of the industrial process of concrete dosage guided to factories of production of this material.

The solution resides in the synergy between the power of the PLCs in industrial control and the power of LabVIEW in software.

To the integrated system the we have divided in modules, which are: Module of Sensors, Module of

Actuators, Module of Digitalization of sign and Control of commutation, Module of Software of Dosage and Module of Software of Automation.

The objective of the Module of Sensors is sensar the weight of the material ingredients (ballast, sand and cement). The objective of the Module of Actuators is to enable to the sign of exit of the PLC to that it supports the ignition and out of the mechanisms to control (floodgates, band, pump), located in the Industrial Plant. The objective of the PLC and their modules of Strain Gauge and of Relays, it is: To read the electric sign of the sensors. To generate the commutation pulses for the activation of the contactors. Lastly, the objective of the Module of Software of Automation is the algorithm that controls the whole dosage process, based on certain constant that throws the Module of dosage Software, that it is the one in charge of giving the necessary quantities of each material.

To conclude, the benefit that was obtained was that decreased the time of production of the Plant of Dosage and its performance was increased.

1. INTRODUCCIÓN

Para cada obra civil que se realice, se necesita distinto diseño de hormigón, es decir, hormigón de distinta resistencia, distinta densidad, distinta trabajabilidad, etc. Y esto depende de las cantidades de material que se le agregue a la mezcla, y justamente es esta función la que tiene que realizar el software, determinar ¿Qué cantidad? y ¿Qué material? agregar a la mezcla para obtener como resultado final el Hormigón con las características que desea el ejecutor de la obra civil. Para finalizar, tengo que decir que el software debe ser lo suficientemente robusto como para que soporte todos los tipos de material existentes en nuestro medio. Hay diversos tipos de material en nuestro medio y de acuerdo a cada tipo de material, las proporciones de cantidad son diferentes.

1.1 Hormigón

El hormigón es un tipo piedra artificial, y resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente, se usa cemento) con áridos (grava, arena), agua y, eventualmente, aditivos. El cemento

se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que culminan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreo.

1.2 Dosificación del Hormigón

La dosificación es el proceso de medida (por masa o por volumen) de los ingredientes del concreto para su posterior mezcla. Para la determinación de la dosificación del hormigón, es necesario que los productores tengan en cuenta las siguientes características: Trabajabilidad, Resistencia mecánica, Durabilidad y Costo de producción. El objetivo de un diseño de hormigones es el de obtener una mezcla que posea un mínimo de determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, al menor costo de producción posible. En la Figura 1 se muestra cuatro proporciones distintas de los componentes del hormigón.

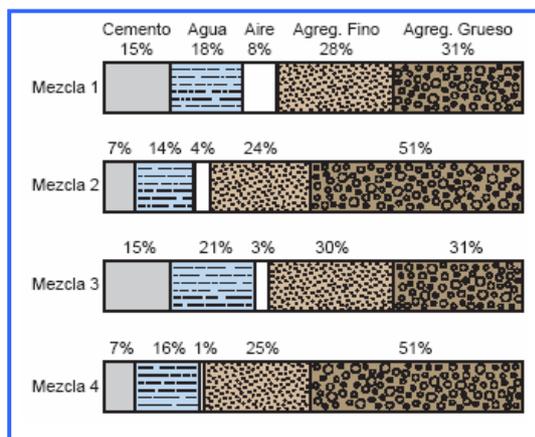


Figura 1. Variación de las proporciones de los componentes del Hormigón

2. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN

A continuación se hará una breve descripción de la Planta, con el objetivo de entender el proceso que se sigue para la dosificación de Cemento, así como también para familiarizarnos con la maquinaria que se utiliza en dicho entorno. Esta familiarización del proceso y su maquinaria permitirá determinar qué procesos y qué maquinaria es necesario supervisar y/o controlar al momento de implementar un sistema que convierta al proceso actual en un proceso automático con el fin de incrementar el desempeño de la maquinaria y por ende el rendimiento de toda la Planta Hormigonera.

Al momento de mencionar Planta dosificadora de Hormigón, se interpreta que la Planta se encargará de proporcionar las cantidades necesarias de sus elementos formantes tales como: Arena, Grava, Cemento y Agua con el fin de elaborar la mezcla en sus diferentes configuraciones de preparación tomando en cuenta los diferentes diseños de hormigón.

En lo que respecta a la descripción del proceso, se mencionará a continuación: Antes de iniciar el proceso de dosificación de materiales, lo que se realiza (así como en todo diseño) es la petición de las especificaciones del tipo de Hormigón que requiere el cliente para determinada obra civil.

Estas especificaciones radican en la resistencia que debe tener, su trabajabilidad, el tipo de ambiente en el que se lo va a utilizar, así como también las características del hormigón producido estarán sujetas a las características que poseen los materiales con el que se va a elaborar el Hormigón.

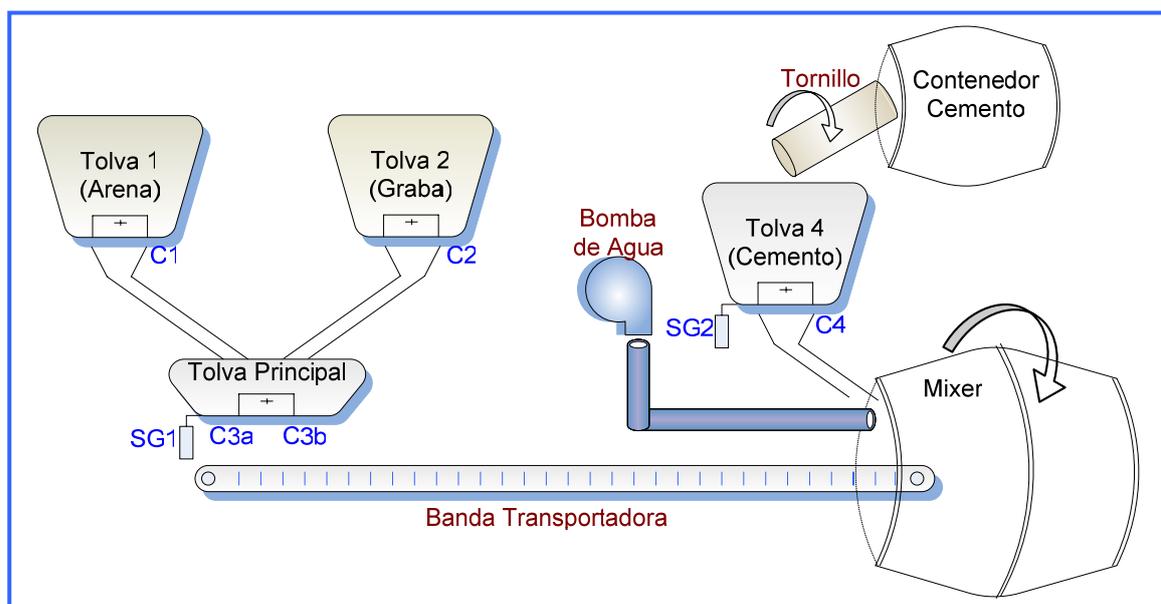


Figura 2. Diagrama esquemático de la maquinaria a automatizar, con las respectivas variables de entrada y de salida.

En definitiva para realizar un diseño de hormigón determinado, El Ingeniero Civil encargado de esta etapa, tendrá que recolectar una tabla de datos y luego, siguiendo un proceso matemático y estadístico se llegará a las proporciones que deben tener cada uno de los materiales que forman el Hormigón elaborado, es decir las cantidades de Arena, Grava, Cemento y Agua que se necesitan para obtener el tipo de Hormigón requerido por el Cliente.

Ya obtenidos estos resultados, se procederá a dosificar con la ayuda de la planta Hormigonera.

Inicialmente los materiales (Arena y Graba) están almacenados en 2 Tolvas independientes, y cada una de ellas posee una compuerta por la que se proporcionará la cantidad necesaria de material hacia una tercera tolva, la que también tendrá una compuerta para expulsar dicha cantidad a una banda transportadora que llevará los materiales hacia el Mixer. Luego se adicionará el cemento y el agua que mezclados durante un periodo corto de tiempo, se obtiene el Hormigón elaborado.

Para entender el proceso de dosificación, refiérase a la Figura 2 en donde se muestra un Diagrama Esquemático de la distribución de funciones de la Planta Dosificadora de Hormigón.

2.1 Problemas a resolver, con la Automatización

Basándonos en el estado en el que se encuentra la Planta Dosificadora de Hormigón, se ha identificado algunos procesos que se pueden mejorar:

- Se puede automatizar el proceso de Diseño y Proporcionamiento de la Mezcla para Hormigones, en base a los algoritmos referentes en la Industria mundial del hormigón.
- También es factible que, gracias a los resultados obtenidos del software mencionado anteriormente, se pueda dinámicamente encontrar los tiempos y las constantes que rigen el proceso de Dosificación, entonces diremos que el Computador Personal es el que se va a encargar de llevar a cabo el seguimiento y control de dicho proceso.
- Con lo citado anteriormente se va a reducir el tiempo de producción de la Planta Dosificadora y por ende se va a incrementar el rendimiento de la misma.
- También se va a mejorar la eficiencia del producto elaborado, ya que el proceso estará sujeto a un menor número de inexactitudes.

3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DEL SISTEMA.

Basándonos en la descripción anterior del análisis del problema, a continuación, en la Figura 3 se

muestra el Diagrama de Bloques de la solución propuesta, a la implementación del Sistema de Control y Automatización.

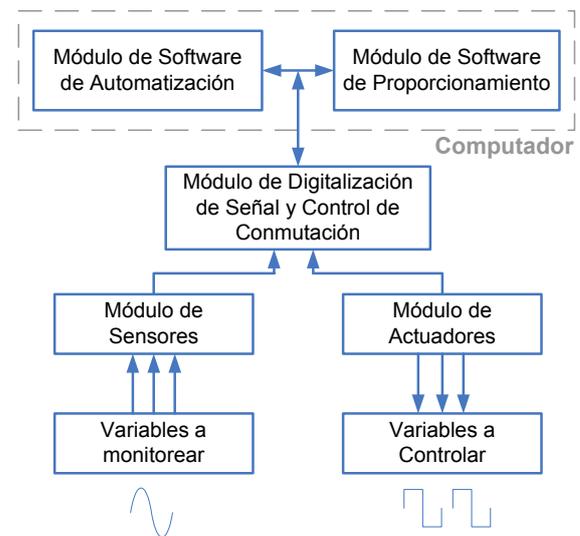


Figura 3. Diagrama de Bloques del Sistema de Control y Automatización

El objetivo del Módulo de Sensores es monitorear las Variables de Entrada (Peso del material) y convertirlas a una señal de tipo eléctrico. El objetivo del Módulo de Actuadores es habilitar a la señal de salida del Módulo de Conmutación para que soporte el encendido y apagado de los mecanismos de la Planta Industrial, ya que estos mecanismos se activan con corrientes elevadas. Los objetivos del Módulo de Digitalización de Señal y Control de Conmutación son: Por una parte leer la señal eléctrica que emiten los sensores y digitalizarlas con el fin de que sean completamente interpretables para el computador. Así también cumple la función de generar los pulsos de conmutación para la activación de los actuadotes (contactores).

Por último, para mencionar el objetivo del Módulo de Software de Automatización se puede decir que este módulo es el cerebro o algoritmo que controla todo el proceso antes mencionado, pero controla este proceso gracias a determinadas constantes que me arroja el Módulo de Software de Proporcionamiento que es el encargado de dar las cantidades necesarias de cada material.

3.1 Definiendo variables y canales del Sistema

En base a la propuesta planteada, empezaremos por definir las variables que vamos a utilizar en el sistema, es decir, las variables a ser controladas y las variables a ser monitoreadas.

En la Tabla 1 se muestra los canales que posee el sistema implementado, clasificados según el tipo de variable.

TIPO DE VARIABLE	CANALES
Variables de Entrada	Peso del contenido de Tolva Principal (SG1)
	Peso del contenido de la Tolva de Cemento (SG2)
Variables de Salida	Compuerta de Tolva de Arena (C1)
	Compuerta de Tolva de Graba (C2)
	Compuerta de Tolva de Cemento (C4)
	Abrir Compuerta Tolva Principal (C3 _A)
	Cerrar Compuerta Tolva Principal (C3 _C)
	Encendido/Apagado de Banda Transportadora
	Encendido/Apagado de Tornillo "sin fin"
Encendido/Apagado de Bomba de Agua	

Tabla 1. Variables de Entrada y de Salida del Sistema

4. MÓDULO DE SOFTWARE DE PROPORCIONAMIENTO

El primer problema a resolver y por no decir, el más tedioso en cuanto al número de cálculos y tablas de datos para consulta, es el de determinar las proporciones de los materiales destinados a la mezcla.

Para recordar un poco, el proporcionamiento (dosificación) de la mezcla, se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco.
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido.
- Economía.

En este software, el método que se implementó es el Método del Volumen Absoluto, ya que es más preciso y envuelve el uso de las masas específicas relativas de todos los ingredientes y así se calculará con mayor precisión el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupará en una unidad de volumen de hormigón.[1]

Este método nos sirvió para calcular las variables que se muestran en la Tabla 2, dadas ciertas condiciones de diseño.

5. MÓDULO DE SENSORES Y ACTUADORES

Una vez cumplido uno de los objetivos, que era el de acelerar la etapa de diseño y proporcionamiento de la mezcla, se procede a empezar por resolver otro problema, que es el de controlar y monitorear las variables de Entrada y Salida del Sistema a través del

Computador. Pero este dispositivo por sí solo no lo puede hacer, ya que debe utilizar dispositivos que le puedan hacer interactuar directamente con las variables del Sistema. Para ello es que utiliza los sensores y los actuadores.

Consideraciones de Diseño	
Resistencia a compresión	
Revenimiento máximo	
Inclusión de Aire	
Nivel de exposición	
Materiales	
Cemento	
Masa específica relativa	
Agregado grueso	
Tamaño máximo nominal	
Masa específica relativa	
Masa volumétrica	
% Absorción	
% Humedad	
Tipo de agregado grueso	
Agregado fino	
Módulo de Finura	
Masa específica relativa	
% Absorción	
% Humedad	
Aditivos	
Aditivo inclusor de Aire	
Dosis por cada Kg. de cemento	
% de Aire a incorporar	
Aditivo reductor de Agua	
Dosis por cada Kg. de cemento	
% de Agua a reducir	

Tabla 2.- Datos para el Diseño y Proporcionamiento de la mezcla de Hormigón

5.1 Módulo de Sensores

Los sensores no son más que dispositivos que traducen cierto estímulo o cierto fenómeno hacia una variable eléctrica, para que pueda ser inteligible por el dispositivo de digitalización, y por ende, también por el computador. Mediante ello, si las variables del Sistema que quiero medir, están ya convertidas a señales eléctricas, no solo voy a poder medir con exactitud las magnitudes monitoreadas, sin que también se puede operar con dichas mediciones.

En la etapa de sensado de las variables de entrada (que radica en el peso del material), se ha visto necesario utilizar transductores de tal manera que transformen la variable de peso o fuerza a una variable eléctrica sea ésta de corriente o de voltaje.

En la Figura 4 se muestra el sensor Strain Gauge LC101 utilizado para sensar el peso de los materiales. Cabe recalcar que este sensor cubre el rango máximo posible de las tolvas, que es de 1500 Kg.



Figura 4. Sensor para monitorear el peso del material: Starin Gauge LC101

5.2 Calibración del Strain Gauge

Una vez recibidos sus datos, es necesario establecer la constante multiplicativa, la cual servirá para transformar cada nueva lectura de voltaje en unidades dadas en kilogramos. El procedimiento para la calibración es: Sabiendo el peso de determinados elementos, empiezo a evaluar los niveles de la señal de salida del sensor. Mientras más pruebas se realicen, la constante obtenida tendrá un error mínimo.

Realizadas las pruebas, se obtienen los datos que se muestran en la Tabla 3.

Strain Gauge (mV/V)	Peso (Libras)
0.011623	0
-0.223580	375.6
-0.455327	751.2
-1.118449	1878.0
-1.541578	2629.2

Tabla 3. Resultados de las pruebas de calibración del Strain Gauge

Luego de ello, ayudándose de un gráfico se puede ajustar ese conjunto de puntos en una sola línea recta con un pendiente determinada, y justamente esta pendiente de la Línea Ajustada es la constante multiplicativa del sensor. A continuación, en la Figura 5 se muestran las dos gráficas.

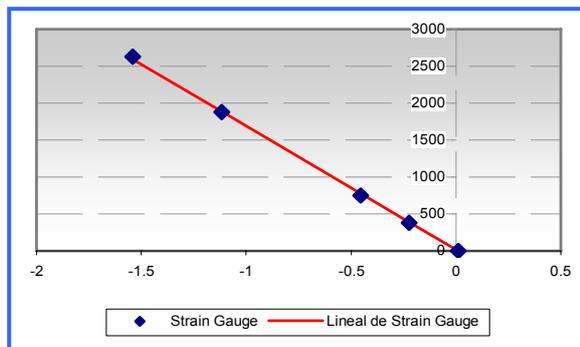


Figura 5. Representación gráfica de los resultados de las pruebas de calibración del Strain Gauge

De la gráfica anterior se determina que la pendiente de la recta que mejor se ajusta al conjunto de puntos es aquella con pendiente $m \approx -1671$, entonces después de cada nueva utilización del sensor, primeramente se lo encera y después, cada nueva entrada del sensor se lo debe multiplicar por -1671 para obtener la medida en libras, o si no, se la puede multiplicar por 757.82 para obtener la medida en kilogramos.

5.3 Módulo de Actuadores

En esta etapa, lo que se utilizó es un conjunto de contactores, no sin antes ser activados por un arreglo de Relays de estado sólido. Los contactores gestionarán el encendido/apagado de:

- La válvula neumática que abre la Compuerta 1, perteneciente a la Tolva de Arena.
- La válvula neumática que abre la Compuerta 2, perteneciente a la Tolva de Grava.
- La válvula neumática que abre la Compuerta 3, perteneciente a la Tolva de Dosificación de áridos.
- La válvula neumática que cierra la Compuerta 3, perteneciente a la Tolva de Dosificación de áridos.
- La válvula neumática que abre la Compuerta 4, perteneciente a la Tolva de Dosificación de cemento.
- La Banda Transportadora.
- La Bomba de Agua.
- El Alimentador a Tornillo “sin fin”.

Cabe recalcar que la función de los actuadores no es el controlar cierto nivel de velocidad de un determinado motor, sino más bien, la función de los actuadores es solamente controlar el encendido/apagado de los elementos de potencia de la Planta Dosificadora.

6. MÓDULO DE DIGITALIZACIÓN DE SEÑAL Y CONTROL DE CONMUTACIÓN

Luego de instalados físicamente, tanto los sensores como los actuadores, el siguiente paso sería el ingreso de las señales de los sensores a la Computadora para su posterior tratamiento, pero éste ingreso de las señales no se realiza directamente, sino que nos debemos valer de un dispositivo que por un lado digitalice las señales de entrada y enviarlas al computador y que por otro lado se encargue de manejar las señales digitales enviadas desde el computador y transformarlas a órdenes de conmutación, y justamente éstos órdenes son las que van a activar los contactores de cada elemento de la Planta Dosificadora.

6.1 Dispositivo FieldPoint

El FieldPoint es un sistema de medición distribuido para monitorear o controlar señales en aplicaciones industriales suaves. El FieldPoint es también una solución atractiva para aplicaciones de bajo costo con requerimientos de monitoreo de baja velocidad.

El FieldPoint es la mejor opción para el proyecto en mención. De esta manera por su bajo costo y por su robustez en cuanto al control Industrial se decidió utilizar el FieldPoint FP-1000 y sus módulos FP-RLY-420 y FP-SG-140 para realizar el control de los contactores y el monitoreo de los sensores Strain Gauge. Dicho dispositivo se lo muestra en la Figura 6.

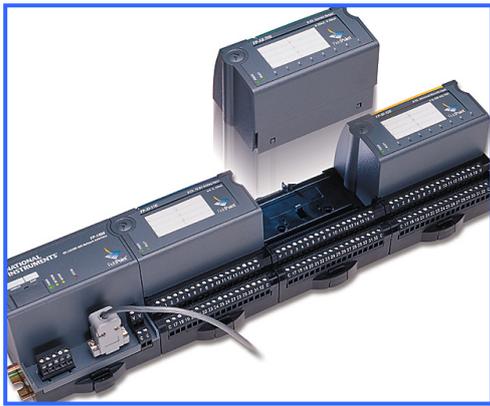


Figura 6. FieldPoint y sus módulos de expansión de propósito específico.

6.2 Instalación del FieldPoint al Sistema

Para instalar el FieldPoint al Sistema, seguimos los siguientes pasos:

- Inicialmente se deben ubicar y conectar en el mismo rack: el FP-1000, el FP-RLY-420 y el FP-SG-140.
- A continuación el Network Module (FP-1000) se lo debe conectar hacia el computador encargado de llevar a cabo el Control y Automatización vía cable serial RS-232.
- Pero antes de empezar a usar los canales de Entrada/Salida, hay que instalar el Software FieldPoint en LabVIEW.
- A continuación se debe configurar y probar los canales, en el MAX.

Pero no solo hay que instalar su conectividad hacia el computador, sino que hay que realizar su conectividad con los sensores y actuadores.

- El sensor, Strain Gauge, que está ubicado en la tolva dosificadora de **áridos** se conecta hacia el Canal 0 del módulo FP-SG-140.

- El sensor, Strain Gauge, que está ubicado en la tolva dosificadora de **cimento** se conecta hacia el Canal 1 del módulo FP-SG-140.
- El contactor destinado a la válvula que abre la Compuerta de la **Tolva de Arena** se conecta al Canal 0 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado a la válvula que abre la Compuerta de la **Tolva de Grava** se conecta al Canal 1 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado a la válvula que abre la Compuerta de la **Tolva Dosificadora de áridos** se conecta al Canal 2 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado a la válvula que cierra la Compuerta de la **Tolva Dosificadora de áridos** se conecta al Canal 3 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado a la válvula que abre la Compuerta de la **Tolva Dosificadora de cemento** se conecta al Canal 4 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado al encendido/apagado de la **Banda Transportadora** se conecta al Canal 5 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado al encendido/apagado del alimentador a **Tornillo "sin fin"** se conecta al Canal 6 del módulo FP-RLY-420.
- El contactor destinado al encendido/apagado de la **Bomba de Agua** se conecta al Canal 7 del módulo FP-RLY-420.

7. MÓDULO DE SOFTWARE DE AUTOMATIZACIÓN

Una vez instalados los sensores y actuadores en la Planta Dosificadora, luego se pasó a instalar los sensores hacia el FieldPoint y así mismo se instaló el FieldPoint al Computador. Ahora bien lo que falta es realizar la comunicación con el FieldPoint, no solo con el fin de determinar las mediciones sino también de utilizar dichas mediciones para que interactúen con un algoritmo que se encargará de realizar el Proceso de Dosificación de Hormigón de una forma automática.

7.1 Test de Hardware

Antes de empezar a Producir Hormigón, es necesario realizar un test de cada uno de los canales de entrada y salida.

Con respecto a los canales de Entrada, lo que puedo hacer es comprobar si la lectura del sensor varía o no, así como también puedo encerrar estos sensores, si es que existiese un offset inicial. Con respecto a los canales de Salida, lo que puedo hacer es evaluar el funcionamiento de cada uno de ellos, en

la Pantalla hay un botón de encendido/apagado para cada canal.

7.2 Control y Monitoreo

En la presente pantalla se realiza el proporcionamiento automático del Hormigón por parte del software. Lo que hay que recalcar es que antes de iniciar con la automatización del proceso hay que llenar unos datos en el que constan datos del cliente y datos de las proporciones de los materiales, se le pregunta al usuario si el hormigón a producir obedece las proporciones calculadas por el software o desea ingresar estas proporciones manualmente.

Realizado ello, a continuación empieza a operar la Planta Dosificadora en conjunto con el Sistema de Automatización.

8. EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS DE EJECUCIÓN

Para determinar la cantidad de producción de la Planta Dosificadora de Hormigón, se procedió a realizar la medición de los tiempos de demora por ciclo, de Dosificación y Descarga de todos los componentes del hormigón.

El análisis de tiempos arrojó los siguientes resultados, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Sub-proceso	Tiempo (seg)
Dosificación de árido fino	28.0
Descarga de árido fino	34.0
Dosificación de árido grueso	35.0
Descarga de árido grueso	40.0
Dosificación de cemento	32.0
Descarga de cemento	20.0
Dosificación de Agua	13.0
TIEMPO POR CICLO	137 seg*
Ciclos por hora	26
Producción por ciclo	1 m ³
PRODUCCIÓN POR HORA	26 m³/h

Tabla 4. Diagrama de tiempos por ciclo de Dosificación y Descarga (Ejemplo Real).

*Nota.- La sumatoria total es 202 seg pero se resta los procesos paralelos, que son: dosificación de agua y de cemento y descarga de cemento.

Concluyendo se podría decir que se ha incrementado la producción en un porcentaje mayor al 118 %, ya que antes de la implementación del Sistema se llegaba a producir a lo mucho la capacidad de 2 mixers por hora, lo que equivale a 12 metros cúbicos.

9. CONCLUSIONES

- En toda planta industrial, existe la inclusión de ruidos y variaciones de voltaje que generaban los motores de gran potencia que se utilizaban en la Planta. Para resolver este problema se

implementó un filtro en software que cancelara los primeros armónicos de la frecuencia base de 60 Hz que justamente es la frecuencia de la señal de la red eléctrica.

- Cuando se trabaja en ambientes externos, hay variación en los valores que arrojan los sensores. Por ejemplo, en nuestro sensor de fuerza aparecía un valor inicial (offset), sea porque incrementó la humedad, o porque llovió el día anterior, ello hacía que para el sensor, la tolva se muestre más pesada y si sobre este offset trabajamos, pues los resultados no serán exactos. Como sugerencia, diremos que cada vez que se vaya a utilizar este tipo de sensores hay que encerrarlos para mejorar la exactitud en sus medidas.
- Se escogió la mejor solución, ya que esta es una solución flexible y escalable. Flexible, por ejemplo, cuando se llegue a incrementar la capacidad de los elementos de la Planta, no tenemos que hacer un cambio al sistema completo, ya que solamente se tendrá que realizar el cambio de otro nuevo dispositivo hardware que sea más robusto en aislamiento o en rangos de temperatura. En el software, solamente hay que direccionar a los canales que tiene este nuevo dispositivo y listo. Escalable, por ejemplo, cuando la Planta Hormigonera llegue a poseer más canales de entrada y salida, es decir, más compuertas que abrir, más número de elementos que encender, en fin, tampoco debemos cambiar el sistema, solamente hay que expandir mediante módulos el Dispositivo de Adquisición de datos. Con esto diremos que nuestro sistema no va a pasar a ser obsoleto, ya que es mucho más fácil y económico migrar hacia posibles mejoras y/o expansiones.
- Mediante un análisis realizado a los tiempos de producción de la Planta Hormigonera se calculó que se ha incrementado la producción en un porcentaje aproximado al 118 %, ya que antes de la implementación del Sistema se llegaba a producir a lo mucho la capacidad de 2 mixers por hora, lo que equivale a 12 metros cúbicos.

10. RECOMENDACIONES

Enunciaré algunas recomendaciones que se consideren importantes a la hora de implementar un sistema parecido al tratado en el presente trabajo:

- Los máximos errores permitidos en la dosificación de los componentes del Homigón son:
 - Para el Cemento, el máximo error de medida será del 1%.
 - Para los Áridos, el máximo error de medida será del 2%.
 - Para el Agua, el máximo error de medida será del 1%.

- En cuanto al mezclado se debe tener en cuenta que el tiempo mínimo de mezclado sea de 1 minuto + 15 segundos por cada metro cúbico existente en el mezclador.
- El Periodo de mezclado se debe medir a partir del momento que todo el cemento, agua y agregados ya estén en el mixer.
- Se debe tomar en cuenta que para incrementar la producción, no se debe aumentar la velocidad de mezclado, sino más bien se debe aumentar la velocidad de los mezcladores. Aumentando la velocidad de mezclado, los materiales que conforman la mezcla se llegan a aislar entre si.

11. REFERENCIAS

- [1] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, Jussara Tanesi. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association, 2004.
- [2] *ACI Committee 211, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete (Prácticas Estándares para la Elección de las Proporciones de los Concretos Normal, Pesado y Masivo)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1991.
- [3] Bentz, Dale, *Concrete Optimization Software Tool (Programa para la Optimización del Concreto)*, <http://ciks.cbt.nist.gov/bentz/fhwa>, National Institute of Standards and Technology, 2001.
- [4] Hover, Ken, “Graphical Approach to Mixture Proportioning by ACI 211.1-91 (Enfoque Gráfico para el Proporcionamiento de Mezclas a través del ACI 211.1-91),” *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Septiembre, 1995, páginas 49 a 53.
- [5] Timothy J. Maloney, *Electrónica Industrial moderna*, Tercera edición. Prentice-Hall
- [6] National Instruments Inc., *Signal Conditioning Fundamentals for Computer-Based Data Acquisition Systems*, <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/0BEC43673921B8186256865006B6527>.
- [7] National Instruments Inc., *Understanding FieldPoint Module Specifications*, <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/B5073976F977A92886256D55004EECB5>.
- [8] National Instruments Inc., *Choosing the Right Strain-Gauge for Your Application*, <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/E4D21D414901984486256CB7007115AC>.
e-mail:cacalderon@utpl.edu.ec