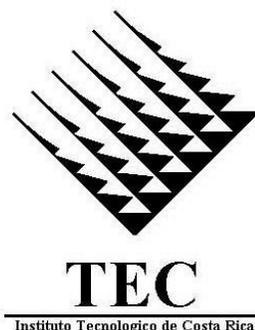


**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Control de temperatura y pH en la producción de concentrado granulado de cáscara de naranja.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Ricardo Vargas Madrigal.**

**Cartago, 26 Enero 2010**

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Gabriela Ortiz León

Profesor lector



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, Enero 2009

## ***Declaración de Autenticidad.***

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente Informe final.

Cartago, Diciembre 2008



Ricardo Vargas Madrigal

Céd: 2-597-954

## ***Resumen***

Para la producción de concentrado granulado a partir de la cáscara de la naranja la empresa TicoFrut S.A cuenta con controles que garantizan la calidad del producto; entre estos se encuentra el control de variables como la temperatura de la caja de succión de los secadores y el nivel de pH. Estas variables deben de ser controladas y mantenidas dentro de rangos definidos pues sus niveles determinan la calidad final del producto.

Es por esto que se realizó un control que mantenga estas variables dentro de los rangos permitidos de forma automática. Para ello se utilizó un controlador lógico programable (PLC) que obtiene datos de sensores ubicados en la planta y a partir de estos realiza cambios en los actuadores para mantener en el valor establecido la variable deseada.

Además de realizar estos controles se cambió un panel de control, basado en botones, utilizado para los arranques y los paros de equipos de la planta de “Pellets”. Se reemplazó por un sistema digital compacto que funciona como interfaz para la monitorización y control de diferentes variables de la planta.

Palabras Clave.: Control automático, Pellets, Secadores, PID.

## ***Summary***

For production of pellets at the Orange Division, the TicoFrut Company SA employs different controls that ensure product quality. These include control of variables such as temperature of the suction box of the dryers and the level of pH. these variables must be controlled and kept within defined ranges as the levels of these determine the final product quality.

For the above reasons the Company must keep these variables within allowable ranges automatically. This control is performed using a Programmable Logic Controller (PLC). This PLC gets data from sensors deployed around specific points inside the plant. The information gathered is used to control actuators, in order to keep settings at desired values.

In addition to controlling the specified variables, a button-based panel was removed. Now, a compact digital system is used to control startup and shutdown cycles of equipment. Such a system works as an interface for monitoring and controlling different variables at the plant.

Keywords: Automatic Control, Pellets, Dryers, PLC.

## ***Dedicatoria***

A mis padres que gracias a su amor, apoyo, entendimiento y, sobre todo, la formación que me han dado, me permitieron llegar a ser la persona que soy hoy; también a mis hermanos que me han apoyado en toda decisión que he tomado, tanto en lo personal como en lo académico y a Kary por ayudarme, entenderme y sobre todo brindarme su apoyo en todo momento. Gracias a todos por ayudarme a alcanzar este logro.

## ***Agradecimiento***

Luego de muchos años de estudio y sacrificio, se cumple con los objetivos que indican la conclusión de una etapa de la vida, por la cual pasaron una gran cantidad de personas que tenían como único fin ayudar en la formación de un profesional.

Es por esto que les agradezco a los profesores que me dieron la enseñanza que me permite hoy finalizar esta etapa de estudios; además, le agradezco a los compañeros y amigos que fueron una gran ayuda en estos años de estudio.

## Índice general

<i>Declaración de Autenticidad</i> .....	2
<i>Resumen</i> .....	4
<i>Summary</i> .....	5
<i>Dedicatoria</i> .....	6
<i>Agradecimiento</i> .....	7
<i>Índice general</i> .....	8
<i>Índice de figuras</i> .....	10
<i>Índice de tablas</i> .....	12
<i>Capítulo 1. Introducción</i> .....	13
1.1. <i>Problema existente en la empresa e importancia de su solución</i> .....	13
1.2. <i>Solución Seleccionada</i> .....	19
<i>Capítulo 2. Meta y Objetivos</i> .....	23
2.1. <i>Meta</i> .....	23
2.2. <i>Objetivo General</i> .....	23
2.3. <i>Objetivos Específicos</i> .....	23
<i>Capítulo 3. Marco Teórico</i> .....	24
3.1. <i>Descripción del sistema o proceso a mejorar</i> .....	24
3.2. <i>Antecedentes Bibliográficos</i> .....	27
3.2.1. <i>Algoritmos de Control Automático</i> .....	27
3.2.2. <i>Sensores de Temperatura</i> .....	31
3.2.3. <i>Lenguaje en escalera</i> .....	34
<i>Capítulo 4. Procedimientos Metodológicos</i> .....	35
4.1. <i>Reconocimiento y definición del problema</i> .....	35
4.2. <i>Obtención y Análisis de la Información</i> .....	36
4.3. <i>Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución</i> .....	37
4.4. <i>Implementación de la solución</i> .....	41
4.5. <i>Reevaluación y rediseño</i> .....	43

<i>Capítulo 5. Descripción detallada de la solución</i> .....	44
5.1. <i>Diseño e implementación de un panel de control digital.</i> .....	44
5.1.1. <i>Descripción del hardware</i> .....	44
5.1.2. <i>Descripción del Software</i> .....	52
5.2. <i>Diseño del control automático de la Temperatura de la Caja de Succión.</i> .....	65
5.2.1. <i>Descripción del Proceso de Diseño.</i> .....	65
5.2.2. <i>Descripción del Hardware.</i> .....	76
5.2.3. <i>Descripción del Software.</i> .....	77
5.3. <i>Diseño del control automático del PH del Tanque Reactor.</i> .....	81
5.3.1. <i>Descripción del Proceso de Diseño.</i> .....	81
5.3.2. <i>Descripción del Hardware.</i> .....	90
5.3.3. <i>Descripción del Software</i> .....	92
<i>Capítulo 6: Análisis de Resultados</i> .....	94
<i>Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones</i> .....	100
7.1. <i>Conclusiones</i> .....	100
7.2. <i>Recomendaciones</i> .....	101
<i>Bibliografía</i> .....	102
<i>Apéndices y anexos</i> .....	103
Apéndices .....	103
Anexos .....	121

## ***Índice de figuras***

Figura 1.1. Etapas de la Producción de Pellets. ....	13
Figura 1.2. Diagrama de Bloques de la Solución Seleccionada. ....	21
Figura 3.1. Diagrama de Flujo de la Planta Peletizadora. ....	24
Figura 3.2. Funcionamiento Control On-Off. ....	27
Figura 3.3. Funcionamiento Control On-Off con Histéresis. ....	28
Figura 3.4. Curva de Resistencia-Temperatura para un RTD de Platino de 100 $\Omega$ ....	32
Figura 5.1. Hardware utilizado en el panel digital. ....	44
Figura 5.2. Conexión de Entrada Analógica del Variador PowerFlex 70. ....	48
Figura 5.3. Conexión de Salida Analógica del Variador PowerFlex 70 ....	48
Figura 5.4. Rutina del arranque y paro de equipos de la Tabla 5.7. ....	53
Figura 5.5. Rutina de operación del cilindro del Secador y del tornillo de salida. ....	54
Figura 5.6. Rutina de operación del tornillo de alimentación de la caja de succión. ....	55
Figura 5.7. Rutina de detección de movimiento. ....	56
Figura 5.8. Rutina de operación del secador en RSLogix 500. ....	56
Figura 5.9. Parte rutina de operación del secador en RSLogix 5000. ....	57
Figura 5.10. Propiedades del Botón Presionado Momentáneamente. ....	58
Figura 5.11. Tag Browser. ....	59
Figura 5.12. Pantalla principal del panel de control de la planta de pellets. ....	60
Figura 5.13. Menú principal del panel de control de la planta de pellets. ....	60
Figura 5.14. Panel #1 de los controles del Secador 30k. ....	62
Figura 5.15. Panel #2 de los controles del Secador 30k. ....	62
Figura 5.16. Pantalla de configuraciones de los Secadores. ....	63
Figura 5.17. Pantalla de monitoreo de los Secadores. ....	64
Figura 5.18. Datos de la temperatura de la caja de succión ante un cambio en su entrada. ....	65
Figura 5.19. Modelado de la temperatura de la caja de succión. ....	66
Figura 5.20. Comparación de los modelos estimados del sistema. ....	67
Figura 5.21. Respuesta al escalón a lazo abierto de la temperatura de la caja de succión. ....	68
Figura 5.22. Respuesta al escalón a lazo cerrado de la temperatura de la caja de succión. ....	69
Figura 5.23. Ubicación de polos y ceros del modelo de la temperatura de la caja de succión. ....	70
Figura 5.24. Respuesta al escalón del modelo de la temperatura con compensador proporcional. ....	70
Figura 5.25. Lugar de las Raíces del modelo de la temperatura con compensador de adelanto. ....	72
Figura 5.26. Respuesta al escalón del modelo de la temperatura con compensador de adelanto. ....	73
Figura 5.27. Lugar de las Raíces de la temperatura con compensador de adelanto y atraso. ....	74
Figura 5.28. Respuesta al escalón de la temperatura con compensador de adelanto y atraso. ....	75
Figura 5.29. Rutina de control automático de la temperatura de la caja de succión. ....	77
Figura 5.30. Interfaz de control para el compensador de temperatura de la caja de succión. ....	80
Figura 5.31. Datos del PH en el tanque reactor ante un cambio en su entrada. ....	81
Figura 5.32. Modelado del PH del Tanque Reactor. ....	82
Figura 5.33. Comparación de los sistemas estimados con los datos experimentales. ....	83
Figura 5.34. Respuesta al escalón en lazo abierto del modelo estimado de la planta. ....	84

Figura 5.35. Respuesta al escalón a lazo cerrado del modelo estimado de la planta. ....	84
Figura 5.36. Lugar de las Raíces del sistema sin compensación.....	85
Figura 5.37. Respuesta al escalón del sistema con un compensador proporcional. ....	86
Figura 5.38. Respuesta al escalón del sistema con un compensador de adelanto. ....	87
Figura 5.39. Lugar de las Raíces del sistema con un compensador de adelanto y de atraso.....	88
Figura 5.40. Respuesta al escalón del sistema con un compensador de adelanto y de atraso. ....	89
Figura 5.41. Rutina de control automático de la temperatura del pH en el Tanque Reactor. ....	92
Figura 5.42. Interfaz de control para el compensador del pH en el tanque reactor. ....	93
Figura 6.1. Circuito de simulación para el control de la temperatura. ....	96
Figura 6.2. Respuesta del sistema de Temperatura ante un valor de referencia de 125°C y una perturbación de 0.7°C .....	97
Figura 6.3. Circuito de simulación para el control del pH. ....	98
Figura 6.4. Respuesta del sistema de pH ante un valor de referencia de 7pH y una perturbación de 0.4pH.....	99
Figura A-5.1. Instalación de los drivers Ethernet. ....	115
Figura A-5.2. Configuración del driver Ethernet.....	116
Figura A-5.3. Dispositivos comunicados por medio puerto Ethernet.....	117
Figura A-5.4. Error en la comunicación con Panel View Plus 700. ....	118
Figura A-7.1. Conexión de la RTD con el Módulo 1769-IR6 del CompactLogix. ....	119
Figura A-8.1. Conexión del Sensor de pH al modulo 1769-IF8 del CompactLogix. ....	120

## ***Índice de tablas***

Tabla 3.1. Tipos de Termocuplas. ....	33
Tabla 4.1. Comparación de los controladores CompactLogix de Allen Bradley. ....	38
Tabla 4.2. Continuación de la comparación de los controladores CompactLogix .....	39
Tabla 5.1 Especificaciones técnicas del controlador CompactLogix1769-L32. ....	45
Tabla 5.2 Especificaciones técnicas del Panel View Plus 1250 CE. ....	46
Tabla 5.3. Parámetros de configuración del variador PowerFlex 70. ....	49
Tabla 5.4. Continuación de los parámetros de configuración del variador PowerFlex 70. ....	50
Tabla 5.5. Señales de control del Funcionamiento de los Secadores Planta Pellets. ....	51
Tabla 5.6. Cantidad de Entradas/Salidas Utilizadas en el panel de control. ....	52
Tabla 5.7. Equipos con igual programación de encendido y apagado. ....	52
Tabla 5.8 Polaridad de la conexión de la Salida analógica del variador PowerFlex 70.....	90
Tabla 5.9. Polaridad de la conexión de la Entrada Analógica del Variador PowerFlex 70.....	91
Tabla 6.1. Comparación de los valores teóricos y experimentales de los requisitos del diseño. .....	99
Tabla A-5.1. Direcciones IP de los dispositivos. ....	116
Tabla A-6.1. Equipos del proceso de Secado de la Cáscara.....	119

## **Capítulo 1. Introducción.**

En el presente capítulo se expone de forma general el funcionamiento de la planta procesadora de jugos TicoFrut S.A, así como la problemática que se encuentra en ella y la importancia que representa la solución para la empresa.

### **1.1. Problema existente en la empresa e importancia de su solución.**

La empresa TicoFrut S.A tiene como actividad principal la extracción de jugos de naranja; este proceso acarrea consigo la generación de una gran cantidad de desechos orgánicos, como la cáscara y la estopa de la naranja, que deben ser tratados debido al gran daño ambiental que pueden llegar a provocar de ser desechados directamente al ambiente. Es por esta razón que la planta cuenta con un sector que se encarga de transformar estos desechos en concentrados que sirven de alimento para animales, por ejemplo las vacas.

Para que los residuos sean transformados en concentrado granulado, el cual será conocido de ahora en adelante como Pellets, deben de pasar por una serie de etapas en las que se va extrayendo de manera paulatina la humedad que contienen. A continuación se presenta un diagrama de flujo que muestra el proceso que siguen.



**Figura 1.1.** Etapas de la Producción de Pellets.

Para comprender mejor el proceso que siguen los desechos provenientes de la extracción de jugos en su transformación en concentrado se ampliará el diagrama mostrado anteriormente.

El proceso parte una vez que se extrae el jugo de las naranjas y los residuos son transportados por medio de tornillos sinfín hacia un silo donde son almacenados. Siguiendo con el proceso de “peletizado”, estos sobrantes son llevados hacia la etapa de filtrado; al llegar aquí los residuos son conocidos como bagazo y ya se encuentran molidos y mezclados con un químico que propicia que la cáscara comience a perder la humedad.

La etapa de filtrado se realiza por medio de mallas que extraen un pequeño porcentaje de la humedad del bagazo; el cual todavía contiene cerca de un 80% de humedad, por lo cual debe de ser movilizado hacia la etapa de prensado. En esta segunda fase el bagazo es introducido en prensas que por acción mecánica comprimen la cáscara logrando así extraer una mayor cantidad de humedad que en la etapa anterior.

Al concluir esta parte del proceso se obtiene cerca de un 55% de humedad en los residuos que están siendo tratados, por lo cual se deben de encausar hacia el proceso de secado. Es allí donde el bagazo pierde, por medio de calor, la humedad necesaria para estar dentro del rango establecido que va desde un 9.5% hasta un 12.5%; al cumplir esta condición se puede iniciar el proceso de “peletizado”.

Cuando el bagazo sale del área de secadores se pueden presentar dos escenarios: el primero es que las variables de control se encuentren dentro de los rangos delimitados y por consecuencia califique para darle el acabado final del producto. Este paso final es realizado en el sector conocido como “peletizado”.

El otro posible escenario que se puede presentar es que los niveles de las variables se encuentren fuera de los parámetros establecido y el bagazo no califique para continuar con el proceso de “peletizado”, por lo que el producto debe de ser expulsado fuera del sistema hacia una zona de almacenaje y reinsertado, posteriormente, en la línea de producción para ser tratado nuevamente, con la diferencia de que debe de prestársele un trato especial debido a que el bagazo ya ha perdido gran parte de su humedad y, de reinsertarse en los secadores usando el mismo grado de temperatura anterior, el producto podría encenderse y comprometer la integridad del secador.

Una vez que se conoce y estudia el funcionamiento de la planta se encuentra que en la elaboración de Pellets la empresa TicoFrut cuenta con controles sobre los parámetros que afectan la calidad final del producto, como la temperatura y el nivel de pH. El modo en que estas regulaciones son realizadas se describe a continuación:

- Nivel de pH.

El control del nivel de pH se realiza aplicando pruebas de laboratorio a muestras recolectadas de forma manual por un operador con un tiempo entre muestras de media hora. Una vez obtenidos los resultados de estas pruebas se comunican a los operadores del panel de control y son ellos los encargados de tomar las acciones necesarias para que este parámetro se mantenga en el rango establecido por la empresa.

La acción que ejecutan los operarios es la de variar la velocidad a la cual el tornillo sinfín agrega cal a la cáscara de la naranja, ya que es la cantidad que se agregue de este componente la que varía el valor del nivel de pH. Para realizar el ajuste de la velocidad de este tornillo se cuenta con un variador de velocidad que es manipulado por medio de un potenciómetro en el panel de control de pellets. Se debe de recalcar el hecho de que la eficiencia de este ajuste se basa en la experiencia del operador de dicho panel.

- Temperatura de la caja de succión.

Para el control de la temperatura de la caja de succión se cuenta con un sistema de control que regula su valor en esta parte del proceso. El problema que se da actualmente en este control es que al encontrarse en el modo de operación automático presenta oscilaciones de +/- 5°C sobre el punto en el cual se estableció el valor de operación de la temperatura, por lo que lleva a que los operadores tengan que estar interviniendo en el control de esta variable.

La acción que se ejecuta para mantener esta variable dentro de los parámetros establecidos es la de cambiar el porcentaje de apertura de las válvulas moduladoras que controlan el caudal de combustible (Bunker) que entra al quemador y así lograr incrementar o disminuir la temperatura en la caja de succión del secador.

Las válvulas que se encuentran en la planta pueden cambiar su porcentaje de apertura desde un 0% hasta un 100% dependiendo del valor de entrada que se le esté aplicando.

Es en estos controles donde se encuentra la problemática que da origen a este proyecto, ya que si bien la planta los ha estado empleando desde hace ya varios años, al realizar un análisis se encuentran una serie de factores por los cuales es importante realizar cambios en dichos procedimientos. Entre estos se encuentran:

- Dependiendo de la variación de velocidad aplicada al tornillo dosificador de cal los niveles de acidez del bagazo pueden cambiar en un tiempo menor al tiempo de muestreo que se encuentra establecido en 30 minutos; por lo que se pueden estar generando errores en estos parámetros sin que los operadores se percaten de ello.

- El sistema de control de temperatura presenta un rango de oscilación de aproximadamente  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  sobre el punto de operación,  $125^{\circ}\text{C}$ , lo que conlleva a que el tiempo para que llegue a estabilizarse en tal punto sea muy extenso, mayor a 5 minutos.
- El muestreo cada 30 minutos del pH del tanque reactor representa pérdidas de tiempo para los operarios de la planta, ya que deben de estar desplazándose hasta los sectores de cada proceso para tomar tales mediciones. La experiencia de cada operador es determinante a la hora de mantener las variables dentro de los parámetros establecidos.
- Si la variable de humedad se encuentra fuera del rango establecido entre 9.5% y 12.5% el producto no puede ser comercializado representando pérdidas económicas para la empresa.

Otra problemática que se encuentra en esta planta es la presencia de equipos que han sido programados de forma ambigua y no se tiene documentación en la cual se pueda conocer el funcionamiento de las rutinas que ejecutan. Tal es el caso del controlador lógico programable MicroLogix 1000 DH-485 el cual se encarga de ejecutar de manera secuencial los pasos necesarios para que los secadores puedan entrar en funcionamiento, por lo cual si el equipo llegara a fallar por cualquier desperfecto dejaría este sector de la planta de “Pellets” fuera de servicio, lo que implica estudiar y comprender las rutinas.

La secuencia de arranque del secador se encuentra establecida en el manual de operación; basándose en éste y con ayuda tanto de los supervisores como de los operadores de la planta, se estudió y analizó el funcionamiento de la programación utilizada en el anterior controlador, para actualizar las rutinas que permiten que el secador funcione con normalidad.

Por último se encuentran equipos que representan un problema debido a las dimensiones que presentan, tal es el caso del panel de control de los secadores que está basado en botones e interruptores de manija; este equipo tiene alrededor de 50 botones que controlan los equipos que se ven involucrados en el proceso de secado de la cáscara, lo cual hace que su tamaño sea de un tamaño considerable, aproximadamente de (60x50x90) cm.

Este tipo de panel representa varios problemas para el usuario, entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- El gran tamaño de este panel da origen a que no sea una interfaz sencilla de manipular por cualquier operario, por lo cual los operadores deben de ser personas que conozcan el funcionamiento del sistema de antemano.
- Un problema frecuente que se presenta es que las bombillas que se utilizan como indicaciones de estado de los equipos se queman sin ser notadas por el operador lo cual da lugar a errores en la operación de la planta.

Los equipos mencionados anteriormente se encuentran actualmente en operación en la planta, y se propuso su reemplazo por sistemas digitales modernos en los cuales se puedan aplicar métodos de control más eficientes.

## 1.2. Solución Seleccionada.

Hoy en día el sector industrial se encuentra orientado hacia la utilización de herramientas tecnológicas que vengán a facilitar los procesos productivos en las empresas; es por esta razón que con el pasar del tiempo las empresas han ido migrando de grandes sistemas hacia sistemas más compactos y modernos de control que realicen operaciones establecidas de manera automática.

Siguiendo la tendencia actual así como la tendencia de automatización que presenta la empresa TicoFrut S.A para la solución de este problema específico se hizo uso de herramientas tecnológicas como pantallas táctiles, PLC`s, sensores de diversos tipos, variadores de velocidad y válvulas moduladoras.

Antes de plantear una solución se debieron de conocer las restricciones establecidas por parte de la empresa para que el proyecto se concluyera de manera satisfactoria. Estas condiciones son:

- El sistema de control automático de la caja de succión como el control del pH de tanque reactor deben de tener un porcentaje de error menor a un 10% en cuanto al valor final de las variables (Set Point).
- En la interfaz humano-máquina (HMI) deben de visualizarse en una sola pantalla tanto variables analógicas como digitales, que debido a la importancia que representan en la calidad del producto, deben de ser constantemente monitorizadas.

Entre las variables mencionadas anteriormente se encuentran:

- La temperatura a la que se encuentra la caja de succión de cada secador.
- Amperaje consumido por cada secador.
- Alarmas del proceso.

- La HMI debe de tener una pantalla de configuraciones técnicas a la cual solamente podrá acceder el personal autorizado, esto se realizará definiendo usuarios con diferentes niveles de seguridad.
- La HMI debe ser una interfaz amigable al usuario, para que pueda ser operada tanto por usuarios con conocimientos del proceso o por cualquier otro operador de la planta.
- Se debe de realizar una actualización y programación en el nuevo controlador CompactLogix de la rutina que controla la operación del Secador, la cual se encontraba en operación en el MicroLogix 1000, esto debido a que no se cuenta con la documentación de dicha rutina así como que la programación no es clara para poder definir su funcionamiento a partir de ella, esto se evidencia en la figura 5.12.

Una vez que se establecieron las restricciones que se deben de cumplir en el proyecto se procedió a buscar la forma en que se daría una solución efectiva al problema existente. La solución implementada se explicará mediante un diagrama de bloques, en el cual se observan los componentes principales que se utilizaron para resolver el problema planteado.

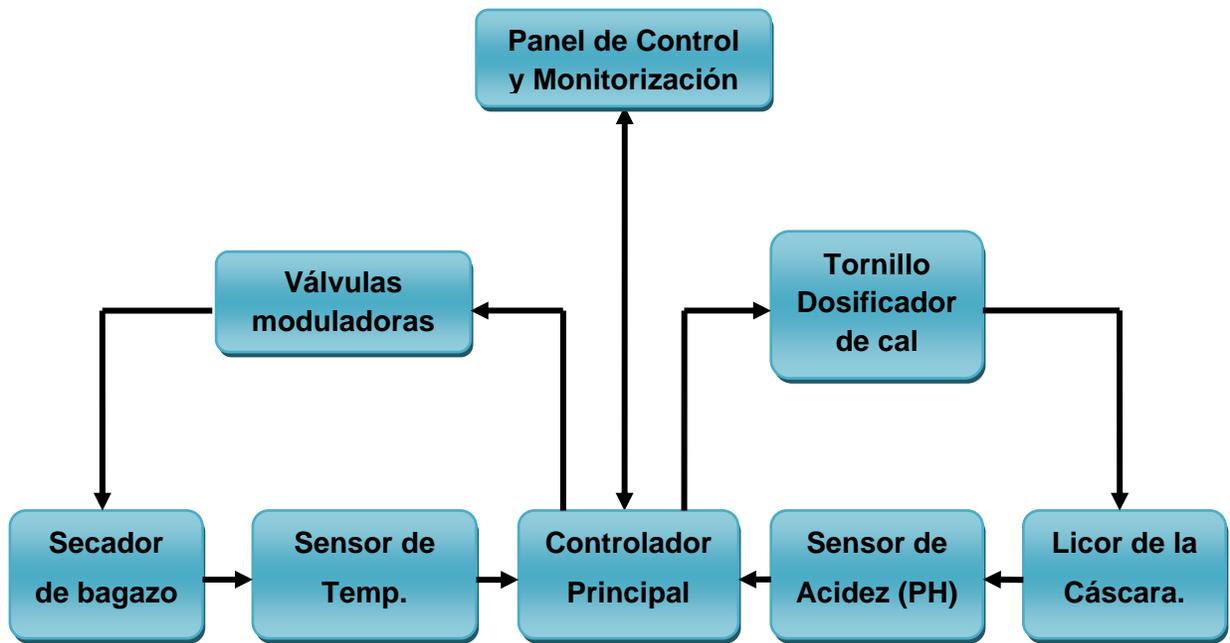


Figura 1.2. Diagrama de Bloques de la Solución Seleccionada.

Como primer paso para la solución del problema se seleccionó el controlador principal que se utilizaría en el proyecto. Dicha selección se realizó basándose en los siguientes factores:

- tipos de señales de entrada y salida que debía de manipular.
- La flexibilidad que ofrece para controlar equipos mediante el uso de diferentes módulos de expansión.

El dispositivo escogido es de la marca Allen Bradley y de la serie CompactLogix, al cual se le programaron las rutinas que permiten la ejecución de diferentes acciones, como la de monitorización de la planta o la de puesta en marcha de los equipos que intervienen en la etapa de secado. Algunas de las rutinas que debieron ser programadas son:

- Arranque de motores: en esta rutina se programó la lógica necesaria para que se dé el arranque y el paro de los equipos de la planta.

- “Interlock”: esta rutina tiene como propósito verificar que se han dado una serie de pasos antes de poner en funcionamiento los secadores de la planta.
- PID: en esta rutina se programaron los controles automáticos que se encargan de mantener dentro de los rangos establecidos la temperatura de la caja de succión y el nivel del pH.

El controlador del sistema obtiene, por medio de las tarjetas de entradas digitales y analógicas, los datos del estado de los equipos en la planta así como los datos de los niveles a los que se encuentran la acidez y la temperatura.

Una vez que se tienen tanto los datos de las variables como los programas que se encargan de ejecutar las funciones establecidas se cuenta con actuadores encargados de modificar el estado de dispositivos en la planta; para este fin se cuenta con válvulas controladas electrónicamente que modifican la apertura de las válvulas de búnker y de vapor del secador, además de variadores de velocidad que modifican la velocidad a la cual trabajan los tornillos sinfín, tanto el de entrada de la caja de succión como el que se encarga de dosificar la cal a la cáscara de naranja.

Por último, para el panel de control se debió de buscar un dispositivo que permitiera migrar de un sistema de grandes botoneras hacia un sistema digital y de fácil uso, por lo cual, analizando las opciones existentes en el mercado, se decidió utilizar una pantalla táctil, la cual es de la marca Allen Bradley y de la serie Panel View Plus.

Este equipo se utilizó como interfaz para realizar los arranques y paros de los equipos de la planta que intervienen en la etapa de secado de la cáscara; además, es en esta pantalla donde se visualizan los valores que presentan las variables en cualquier momento del proceso. Para utilizar este equipo como HMI se debió configurar la comunicación entre éste y el controlador principal.

## ***Capítulo 2. Meta y Objetivos.***

En este capítulo se establecen los objetivos que se pretenden alcanzar con el proyecto, tanto el objetivo general como los específicos.

### **2.1. Meta**

Incrementar la eficiencia y seguridad en la producción de concentrado de cáscara de Naranja (pellets) mediante la implementación de sistemas de controles automáticos.

### **2.2. Objetivo General.**

Diseñar un sistema digital que permita la operación, la monitorización y el control automático sobre procesos en la producción de concentrados granulados de la cáscara de la naranja (pellets).

### **2.3. Objetivos Específicos.**

- Diseñar un sistema para controlar de forma automática la temperatura de la caja de succión del secador de la cáscara de la naranja y los niveles de pH del tanque reactor de la planta de pellets.
- Diseñar e implementar el programa que permita la operación de los equipos que intervienen en el proceso de secado. Mediante este software se tendrá el control de equipos como succionadores y bombas de alimentación.
- Implementar y diseñar una interfaz que funcione como panel de control digital para los equipos que intervienen en el proceso de secado de la cáscara. En este panel se podrán visualizar datos importantes de cada proceso como lo son temperaturas, velocidades entre otros.

## Capítulo 3. Marco Teórico.

### 3.1. Descripción del sistema o proceso a mejorar

El proyecto implementado se encuentra inmerso en el proceso de producción de Pellets a base de desechos de naranja. Para la elaboración de este concentrado la cáscara de la naranja debe seguir un proceso que extrae de manera progresiva la humedad de la cáscara. A continuación se presenta un diagrama de flujo del proceso total.

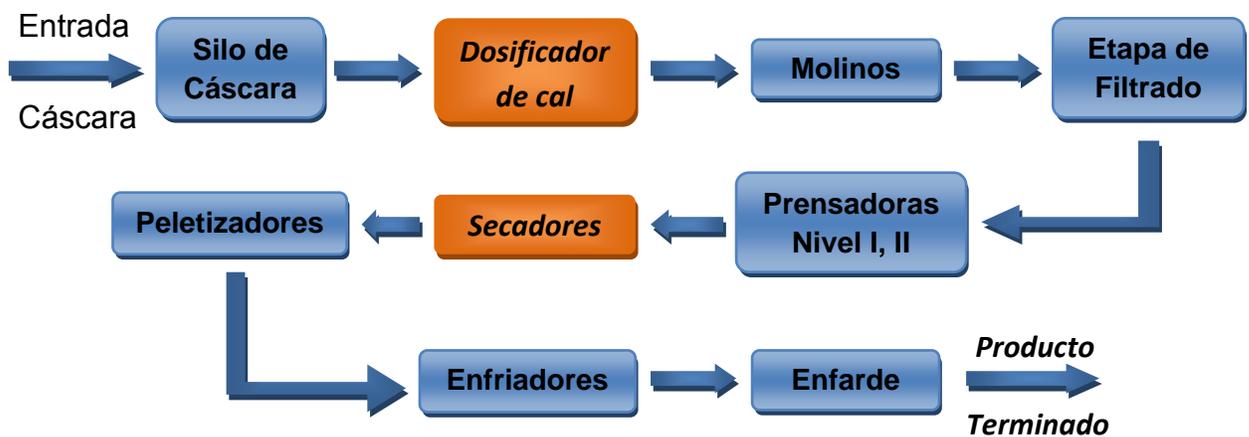


Figura 3.1. Diagrama de Flujo de la Planta Peletizadora.

Para conocer en detalle el funcionamiento del sistema se explicará el diagrama de flujo mostrado anteriormente.

Como primer paso, para que la cáscara comience el proceso de perder humedad se debe agregar cal a las cáscaras de la naranja; la forma de añadir este químico es mediante un tornillo sinfín que puede variar su velocidad de operación, ya que cuenta con un variador de velocidad que es manipulado por los operarios de la planta de pellets por medio de un potenciómetro. La cantidad de cal que se le suministra a la cáscara influye directamente en el nivel del pH, por lo cual se realizan pruebas para determinar su nivel y de esta forma asegurar que la cal cumpla su función.

Una vez que se agrega cal, la cáscara sigue el proceso y pasa por molinos los cuales se encargan de molerla, y de este modo obtener lo que se denomina bagazo. Éste entra en un separador de metales en donde se le añade “licor”, que es un líquido que se extrae de la cáscara de la naranja en la etapa de filtrado y de prensado. Al bagazo se le añade este líquido para que el transporte por medio de bombas hacia los procesos siguientes se pueda realizar.

Las bombas desplazan el bagazo revuelto con el licor hacia un agitador y después a la etapa de filtrado; este proceso se realiza por medio de mallas que poseen diferentes grados de apertura: 0.6mm, 0.8mm y 6mm. La función de estas mallas es ir recolectando líquido proveniente de la cáscara. En este sector del proceso ya el bagazo presenta un 74% de humedad.

Una vez que salen del proceso de filtrado el bagazo entra a las prensas, que se encuentran divididas en dos etapas; cada una de estas prensas pueden ser reguladas para que apliquen hasta un máximo de 60 p.s.i. Esto se realiza con el fin de separar la cáscara y el licor (jugo). De la primera etapa de prensado se obtiene un bagazo con un 66% de humedad; una vez que sale de la segunda etapa se obtiene un bagazo con un 63% de humedad.

Al concluir el proceso anterior el bagazo es transportado hacia los secadores, en los cuales se reducirá la humedad de un 63% a un rango establecido de entre 9.5% y 12.5%. El bagazo dentro de los secadores es desplazado por medio de succión de aire que es proporcionado por ventiladores ubicados al final del secador. Para controlar la temperatura del secador se modifica la apertura de válvulas moduladoras de búnker y del vapor; el porcentaje de humedad de la cáscara varía de acuerdo a esta temperatura.

El valor de la humedad es actualmente tomado de forma manual cada 30 minutos mediante la recolección de dos muestras, una del bagazo y otra del tanque reactor. Éstas son llevadas al laboratorio de pellets en el cual se mide la humedad y la acidez que presentan en ese momento. Una vez que se determinaron estos parámetros se le comunica al operador de la planta para que sea el que decida las acciones correctivas que debe de realizar, como variar la temperatura del secador así como determinar si el pH se encuentra alto o bajo.

Si el bagazo que sale de los secadores presenta un porcentaje de humedad que se encuentra entre un 9.5% y un 12.5% es llevado por medio de elevadores hacia el sector de “peletizado”, en el cual, mediante moldes se compacta el producto para que presente su forma final. Este proceso de compactación en moldes eleva mucho la temperatura del “Pellet” por lo cual debe de ser pasado por enfriadores que bajen la temperatura al nivel de temperatura ambiente.

## 3.2. Antecedentes Bibliográficos

### 3.2.1. Algoritmos de Control Automático.

Al realizar una investigación acerca de los posibles algoritmos que pueden ser utilizados para aplicar un control automático sobre las variables de interés, se encontró tanto en la empresa como en literatura en línea algunos métodos que pueden ser empleados para realizar este control. Entre los procedimientos más conocidos para realizar esta tarea se encuentran:

#### 3.2.1.1. Control On-Off. [1]

El funcionamiento de este regulador depende del signo del error existente entre el valor de referencia y el valor del proceso, ya que de acuerdo a este error se aplica una de dos acciones: se suministra energía al sistema o no. Véase la ecuación del error en la ecuación 3.1.

$$\text{Error} = \text{Valor referencia} - \text{Valor Proceso.} \quad (3.1)$$

Los estados en los cuales funciona este tipo de control son las siguientes:

Si  $|e| < 0$  el sistema se encuentra en el estado OFF.

Si  $|e| > 0$  el sistema se encuentra en el estado ON o en el nivel M.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de este regulador.

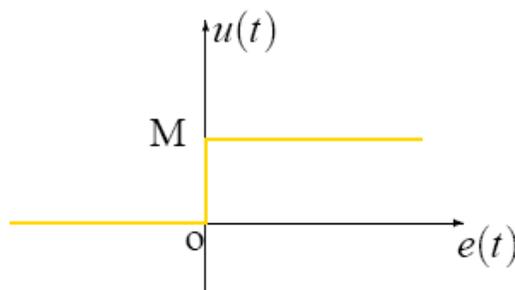


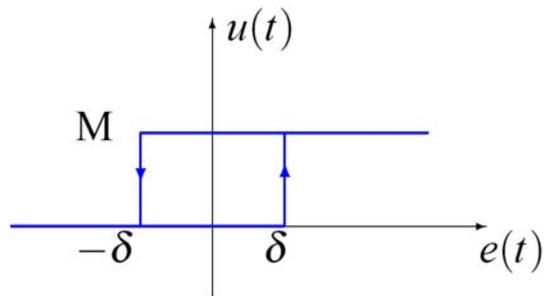
Figura 3.2. Funcionamiento Control On-Off. [1]

A este tipo de control se le puede realizar una modificación para que presente un mayor grado de libertad. La alteración que se menciona es la introducción de una histéresis, que sirve para ampliar el rango de operación y lograr así que el sistema siempre se mantenga dentro de los límites establecidos. El control funciona de la siguiente forma:

Si  $\left[|E| - \frac{1}{2}H\right] < 0$  el sistema se encuentra en el estado OFF.

si  $\left[|E| + \frac{1}{2}H\right] > 0$  el sistema se encuentra en el estado ON o en el nivel M.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento del control con la introducción de la histéresis.



**Figura 3.3.** Funcionamiento Control On-Off con Histéresis. [1]

### 3.2.1.2. Control Proporcional. [2]

Este tipo de control se puede emplear en cualquier planta estable pero tiene un desempeño limitado y tiene como desventaja que presenta un error en estado permanente. Véase la siguiente ecuación.

$$u(t) = K_p * e(t) \tag{3.2}$$

donde  $u(t)$  es la señal de control.

De la ecuación 3.2 se puede establecer que al aumentar la ganancia proporcional también aumentará la señal de control generada para un mismo valor de señal de error por lo cual, para una señal de control determinada, cuanto mayor es la ganancia del control proporcional menor es la señal de error actuante. En conclusión, el aumento de la ganancia del control proporcional permite reducir el error en estado estacionario.

### 3.2.1.3. Control proporcional Integral (PI). [3]

La implementación de un control PI es adecuada para procesos donde la dinámica del sistema es esencialmente de primer orden; este tipo de control presenta una salida de la siguiente forma

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3.3)$$

donde  $T_i$  se denomina tiempo integral y es el que ajusta la acción integral.

La función de transferencia de este tipo de controlador es:

$$G_{PI}(s) = K_p * \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (3.4)$$

Con un control proporcional es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si tal error fuera negativo la señal de control será decreciente.

### 3.2.1.4. Control Proporcional Derivativo (PD). [3]

La acción del derivador presenta una acción de previsión, y su expresión de salida tiene la función de transferencia mostrada en la ecuación 3.5

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p * T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.5)$$

donde  $T_d$  es una constante denominada tiempo derivativo.

La función transferencia de un controlador PD resulta:

$$G_{PD} = K_F + s * K_F * T_d \quad (3.6)$$

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir, responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

### 3.2.1.5. Control Proporcional Integral-Derivativo (PID).[3]

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además, el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

La función transferencia de un controlador PID resulta:

$$G_{PID} = K_F + K_F T_d s + \frac{K_p}{T_i s} \quad (3.7)$$

Agrupando términos que se presentan en la ecuación 3.7 se obtiene la siguiente ecuación simplificada.

$$G_{PID} = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (3.8)$$

donde  $K_P = K_P$

$$K_I = K_P/T_I$$

$$K_D = K_P * T_D$$

### ***3.2.2. Sensores de Temperatura.***

Entre los sensores que se encuentran en el mercado para medir temperatura se tienen los detectores de resistencia a la Temperatura o RTD (de su nombre en inglés Resistance Temperature Detectors) y las termocuplas. A continuación se dan detalles acerca del funcionamiento de estos dispositivos.

#### ***3.2.2.1. RTD. [4]***

Los detectores de resistencia de temperatura (RTDs) operan bajo el principio de los cambios en la resistencia eléctrica de metales puros y se caracterizan por un cambio lineal positivo en el valor de la resistencia con respecto a la temperatura.

Los elementos típicos usados por los RTDs incluyen níquel (Ni) y cobre (Cu), pero el platino (Pt) es, por mucho, el más común por su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad.

La configuración más común es el elemento de película delgada, la cual consiste en una capa muy delgada de metal puesta sobre un estrato de plástico o cerámica. Para proteger el RTD, una cubierta de metal cubre al elemento RTD y los cables conectados a él.

Son comúnmente clasificados por su resistencia nominal a 0 °C. Los valores típicos de resistencia para RTDs de platino de película delgada incluyen 100 Ω y 1000 Ω.

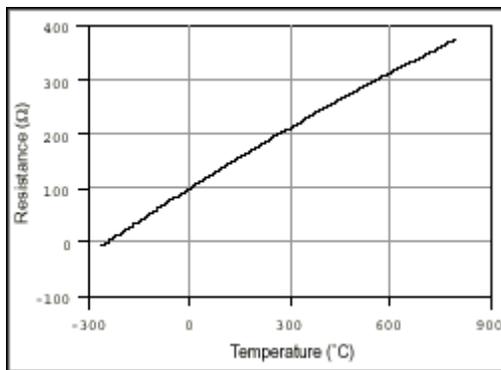
La relación entre resistencia y temperatura es casi lineal y cumple la ecuación

$$R_T = R_0[1 + aT + bT^2] \quad (3.7)$$

Donde  $R_T$  = resistencia a temperatura T

$R_0$  = resistencia nominal; a, b son constantes usadas para escalar el RTD

La curva de resistencia/temperatura para un RTD de platino de 100 W, conocido como Pt100, se muestra a continuación:



**Figura 3.4.** Curva de Resistencia-Temperatura para un RTD de Platino de 100 Ω

### 3.2.2.2. Termocuplas. [5]

Las termocuplas son el tipo de sensor de temperatura más comúnmente utilizado a nivel industrial. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo.

Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts, el cual aumenta con la temperatura.

Normalmente, las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material; en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido dentro de una caja redonda de aluminio. Existen una infinidad de tipos de termocuplas. En la tabla 3.1 aparecen algunas de las más comunes.

**Tabla 3.1.** Tipos de Termocuplas.

<b>Tc</b>	<b>Cable + Aleación</b>	<b>Cable – Aleación</b>	<b>Rango (Min, Max) °C</b>	<b>Volts Max mV</b>
<b>J</b>	Hierro	Cobre/Nickel	(-180,750)	42.2
<b>K</b>	Nickel/Cromo	Nickel/Aluminio	(-180,1372)	54.8
<b>T</b>	Cobre	Cobre/Nickel	(-250,400)	20.8
<b>R</b>	87% Paltino 13% Rhodio	100% Platino	(0,1767)	21.09
<b>S</b>	90% Paltino 10% Rhodio	100% Platino	(0,1767)	18.68
<b>B</b>	70% Paltino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0,1820)	13.814

La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal, por lo cual el equipo electrónico que se utilice para mostrar el valor de la temperatura medida deberá encargarse de efectuar la linealización.

### ***3.2.3. Lenguaje en escalera. [6]***

Es un tipo de programación gráfica, ya que representa circuitos eléctricos mediante el uso simbólico de contactos N.A. (Normalmente Abiertos) y N.C. (Normalmente Cerrados), temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, relés, etc.

El programa creado en este lenguaje se almacena en la memoria de usuario del PLC. La ejecución del programa se realiza en forma secuencial, por lo que se da un barrido comenzando por el renglón superior y terminando con el inferior. A la hora de realizar la programación se observan dos barras verticales que representan la alimentación eléctrica del diagrama; la barra vertical izquierda corresponde a un conductor con tensión y la barra vertical derecha corresponde a la tierra.

## ***Capítulo 4. Procedimientos Metodológicos.***

### ***4.1. Reconocimiento y definición del problema***

Para poder definir el problema existente en la empresa se realizó una visita a la planta TicoFrut S.A, en la cual se conoció acerca del funcionamiento, tanto de la planta extractora de jugos como la planta peletizadora. En esta primera visita se realizó un recorrido de la planta guiado por uno de los jefes del área de mantenimiento eléctrico, por lo que se conocieron muchos detalles del proceso por el cual pasa la naranja y la piña para llevar a su estado final. Durante esta visita se observaron posibles problemas o limitaciones que, a criterio propio, se presentaban en controles que intervienen en el proceso de producción.

Luego, en una segunda visita a la planta se realizó una reunión con el Ing. Altaír Sanches de Cassio en la cual se estableció que una de las áreas de la planta de mayor interés en desarrollar es el sector de Pellets, ya que los equipos que se utilizan para controlar el proceso tienen muchos años de antigüedad. Se propuso la introducción de equipo tecnológico reciente con el cual se pudiesen aplicar nuevos métodos de control para lograr así que la planta opere de una manera más cómoda y eficiente.

Al definirse el área de realización del proyecto se procedió a definir los problemas principales que se pretendían corregir con su ejecución, siendo seleccionados el control de la temperatura de la caja de succión y el control del nivel de pH en el tanque reactor, los cuales son dos procesos que tienen una relación directa con la calidad final del pellet.

Una vez que se inició el proyecto se conversó primero con los jefes del área de Pellets para definir las restricciones que debían de tener los controles automáticos y la interfaz.

Luego de hablar con los jefes del área se conversó con los operadores del proceso con el fin de escuchar sugerencias de diseño y así poder brindarles una HMI de fácil uso y que de alguna manera mantuviera una similitud con los controles que se utilizaban con anterioridad.

#### ***4.2. Obtención y Análisis de la Información.***

Una vez que se definió el problema y se establecieron las restricciones que debía de cumplir la solución por implementar, se debió de recolectar información específica de cada uno de los problemas por corregir en el proyecto.

Primero, se procedió a recolectar información de los sistemas que debían de ser controlados por medio de la interfaz de control. Entre los equipos que se debieron de estudiar se encuentran: motores, variadores de velocidad, electroválvulas y válvulas moduladoras.

El estudio del funcionamiento de estos componentes se realizó de varias maneras. Como primer paso, con la ayuda de los jefes de mantenimiento eléctrico de la planta, se conoció la forma en que trabajan los equipos mencionados anteriormente. Luego, para ampliar más el conocimiento de este tipo de sistemas se consultaron los manuales de operación de algunos de estos dispositivos. Con la información que se recabó se determinó que los motores y bombas hidráulicas son controlados actualmente por medio de señales que definen su encendido o su paro. Además, cada motor posee señales de control que se utilizan para indicar, mediante luces verdes y rojas, el estado del equipo. Aparte, estas señales poseen mecanismos de protección como guarda-motores y protecciones térmicas.

Posteriormente, para el problema de mantener las variables de temperatura y de pH dentro de los rangos establecidos se debió de estudiar la relación que existe entre un cambio en la entrada del sistema y el efecto que produce éste en el valor de la temperatura o del pH.

Estas relaciones se encontraron realizando cambios en la válvula que introduce búnker al sistema y variaciones en la velocidad del tornillo dosificador de cal y tabulando de forma manual los valores de temperatura de la caja de succión y el de pH.

#### ***4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.***

Para implementar la solución del problema se debieron de escoger los equipos utilizados en la solución. Debido a la gran cantidad de equipos disponibles en el mercado se presentaban muchas alternativas, por lo que la selección se basó en factores como capacidad, costo, precisión, asistencia técnica, entre otros.

Tomando en cuenta estos factores y el hecho de que en la compañía se encuentran familiarizados con en el manejo de equipos de la marca Allen Bradley, se decidió que tanto el controlador principal como el panel de control debían de ser de esta marca.

Al estar definida la marca de los equipos por utilizar se definieron los modelos que se utilizarían. En la siguiente tabla se muestran características de los modelos ofrecidos por la marca Allen Bradley para sus controladores lógicos programables.

**Tabla 4.1.** Comparación de los controladores CompactLogix de Allen Bradley.

1769-L23-QBFC1B	1769-L23E-QB1B	1769-L23E-QBFC1B	1769-L31-5331	1769-L32E-5332	1769-L35-5335
Memoria de Usuario.					
512KB	512KB	512KB	512KB	750KB	1.5MB
Memoria No Volátil.					
-	-	-	64 MB 128 MB (CompactFlash)	64 MB 128 MB (CompactFlash)	64 MB 128 MB (CompactFlash)
Máxima Cantidad de Módulos I/O					
2	2	2	16	16	30
Máxima cantidad de bancos de Módulos I/O					
Módulos adicionales son conectados directamente al controlador. No hay bancos adicionales de I/O.			3	3	3
Puertos de Comunicación					
Embebido 2 RS-232	Embebido 1 RS-232 serial 1 EtherNet/IP	Embebido RS-232 serial EtherNet/IP	2 RS-232-C	1 RS-232-C 1 EtherNet/IP	1 RS-232-C 1 EtherNet/IP
Conectividad de Red					
DeviceNet via 1769-SDN	DeviceNet via 1769-SDN 1 EtherNet/IP	DeviceNet via 1769-SDN 1 EtherNet/IP	DeviceNet via 1769-SDN	DeviceNet via 1769-SDN 1 EtherNet/IP RJ-45 Port	DeviceNet via 1769-SDN 1 EtherNet/IP RJ-45 Port
I/O Embebidas.					
16 entradas DC 16 salidas DC 4 entradas analog. 2 salidas analog 4 contadores de alta velocidad.	16 entradas DC 16 salidas DC	16 entradas DC 16 salidas DC out 4 entradas analog 2 salidas analog 4 contadores de alta velocidad	N/A	N/A	N/A

Fuente.: Referencia Bibliográfica [7] .

**Tabla 4.2.** Continuación de la comparación de los controladores CompactLogix.

1769-L32C	1769-L35CR 5335	1768-L43	1768-L45
Memoria de Usuario			
750KB	1.5MB	2MB	3 MB
Memoria No Volátil			
64 MB 128 MB (CompactFlash)	64 MB 128 MB (CompactFlash)	64 MB 128 MB (CompactFlash)	64 MB 128 MB (CompactFlash)
Máxima Cantidad de Módulos I/O			
16	30	16	30
Máxima Cantidad de Bancos de Módulos I/O			
3	3	3	3
Puertos de Comunicación			
1 RS-232-C 1 ControlNet	1 RS-232-C 1 ControlNet	1 RS-232 serial	1 RS-232 serial
Conectividad de Red			
DeviceNet via 1769-SDN 1 ControlNet BNC	DeviceNet via 1769-SDN 1 ControlNet BNC	DeviceNet via 1769-SDN EtherNet/IP via 1768-ENBT ControlNet via 1768-CNB ControlNet Redundant Media via 1768-CNBR Web Server via 1768-EWEB	DeviceNet via 1769-SDN EtherNet/IP via 1768-ENBT ControlNet via 1768-CNB ControlNet Redundant Media via 1768-CNBR Web Server via 1768-EWEB

Fuente.: Referencia Bibliográfica [7] .

Basándose en las características mostradas en las tablas 4.1 y 4.2 se decidió que el controlador por utilizar sería el 1769-L32E. Para esta selección primero se analizó si los controladores más sencillos presentados en la tabla 4.1 contaban con las entradas, salidas, puertos de comunicación y la conectividad de red necesarios para cumplir con los requerimientos del proyecto. Estos controladores fueron descartados ya que tienen una cantidad limitada de entradas/salidas disponibles y no presentan la opción de agregar módulos de expansión.

Luego, tanto los controladores de la tabla 4.2 y el que se presenta a la derecha del controlador 1769-L32E en la tabla 4.1 son controladores mucho más robustos, ya que tienen dentro de sus características mayor memoria de usuario, mayor capacidad de controlar módulos de entrada y salida, así como capacidad para manejar diferentes módulos de comunicación. Estas características hacen que estos controladores presenten un valor económico mayor, por lo que no se ajustaban al presupuesto del proyecto.

Para la selección de la pantalla que se utilizó se observó que las características de las pantallas ofrecidas por esta marca son similares y solamente cambian en lo que se refiere en el tamaño y en la resolución; esto se presenta en la tabla 4.3

**Tabla 4.3** Comparación entre los controladores CompactLogix de Allen Bradley.

PanelView Plus	700 Color	1000 Color	1250 Color	1500 Color
Tamaño Display	6.5 pulgadas	10.4 pulgadas	12.1 pulgadas	15 pulgadas
Area del Display(WxH)	132 x 99 mm (5.2 x 3.9 in)	211 x 158 mm (8.3 x 6.2 in)	246 x 184 mm (9.7 x 7.2 in)	304 x 228 mm (12.0 x 9.0 in)
Resolución	640 x 480, 18-bit Color Graphics		800 x 600 18-bit Color Graphics	1024 x 768, 18-bit Color Graphics
Puertos de Comunicación	PanelView Plus: Ethernet, RS-232, 2 puertos USB, DH+/DH-485, o módulo ControlNet PanelView Plus Compact 1000: RS-232, Ethernet y 2 puertos USB.			

Basándose en estas características y en el costo que tiene cada una de ellas se escogió el panel View 1250 CE, ya que proporciona una interfaz amplia y con una resolución alta, donde los controles que se crearon pueden ser observados desde una distancia considerable.

#### ***4.4. Implementación de la solución***

Al tener definido el proyecto y la información de los equipos por utilizar, se procedió a la implementación de la solución. Para esto se debieron de seguir una serie de pasos para lograr el fin del proyecto.

Estos pasos son:

- El primer paso que se realizó fue el de cotizar los equipos que se seleccionaron para así comenzar el proceso de adquirirlos.
- Pasado este punto se debió de estudiar el lenguaje de programación de los PLC. Este lenguaje es el de escalera; la descripción de esta forma de programación se encuentra en el Marco Teórico.
- Después se procedió a estudiar y efectuar pruebas básicas del software que se utilizó en el proyecto como el RSLogix 5000, Factory Talk View, RSLinx, RSLogix Emulate 5000.
- Una vez que se tuvo conocimiento en el manejo básico de los programas se inició la creación de las rutinas necesarias para el proyecto.
- Como primer paso en la creación de las rutinas de operación se creó la rutina de arranque general de equipos; para esto se consultó con los jefes del área acerca del funcionamiento de los equipos que utilizarían dicho arranque. Una vez que se conocieron los sistemas se diseñó la rutina que se muestra en la figura 5.4 y por medio del programa RSLogix Emulate 5000 se realizaron pruebas en la computadora para evitar poner en riesgo equipos de la planta.
- Una vez que se tuvo la rutina de arranque general se realizaron pruebas a los sensores de movimiento ubicados en la planta para conocer su funcionamiento, de este punto se pasó a diseñar y depurar la rutina que se encarga de determinar si el Cilindro del Secador, el tornillo de salida o el tornillo de entrada se encuentran en movimiento o no; dicha rutina se muestra en la figura 5.7.

Uno de los aspectos que se debió de contemplar durante el diseño de esta rutina fue el número de revoluciones que da el equipo cuando se encuentra en su velocidad mínima, aproximadamente entre (15 -25) rpm dependiendo del equipo, ya que es a partir de este número de revoluciones que se establece que los equipos están efectivamente en movimiento.

- Luego, para el diseño de los controles automáticos se debió de estudiar en detalle los bloques funcionales que ofrece el programa RSLogix 5000; dentro de los bloques existentes se encuentra un Bloque PID con una función de transferencia ideal. Mediante la modificación de los parámetros de esta función se obtuvo la función de transferencia de un compensador de atraso; estas funciones se observan en las ecuaciones 5.8 y 5.9.
- Con las rutinas del controlador CompactLogix creadas se pasó a realizar en el “Factory Talk View” las interfaces que permiten el enlace entre el panel de control y el PLC. Para que dichas interfaces fueran amigables al usuario se debieron de utilizar una serie de animaciones que vinieran a facilitar el entendimiento de cada una de las pantallas, a manera de ejemplo se puede mencionar las animaciones de colores empleadas en los botones; una vez que se presiona el botón de arranque éste cambia de un color verde claro a un color verde oscuro y por el contrario si se pulsa el botón de paro pasa de estar en un color rojo claro a un rojo oscuro, esto se muestra en la figura 5.14
- Ya creadas todas las rutinas de control y las interfaces, se realizó una simulación completa por medio de RSLogix Emulate 5000 para verificar su correcto funcionamiento, antes de ser probadas en el controlador CompactLogix.
- Como último paso se realizó la conexión entre el controlador y el Panel View por medio del programa RSLinx. Una vez enlazados ambos dispositivos se descargaron los programas creados y se procedió a comprobar el funcionamiento de los equipos.

#### ***4.5. Reevaluación y rediseño.***

Durante el desarrollo del proyecto se presentaron criterios sobre modificaciones que se podrían realizar a la interfaz, por parte de operarios de la planta así como de los jefes del área de pellets. Durante el transcurso del proyecto se fueron realizando una serie de cambios en dicha interfaz, esto con el fin de que los operadores pudieran adaptarse de forma rápida a la interfaz creada.

Una de las modificaciones que se realizó fue la incorporación de un interruptor de paro de emergencia, el cual una vez que se presiona desconecta todos los equipos que se encuentren en funcionamiento, esta modificación se realizó por razones de seguridad.

## ***Capítulo 5. Descripción detallada de la solución***

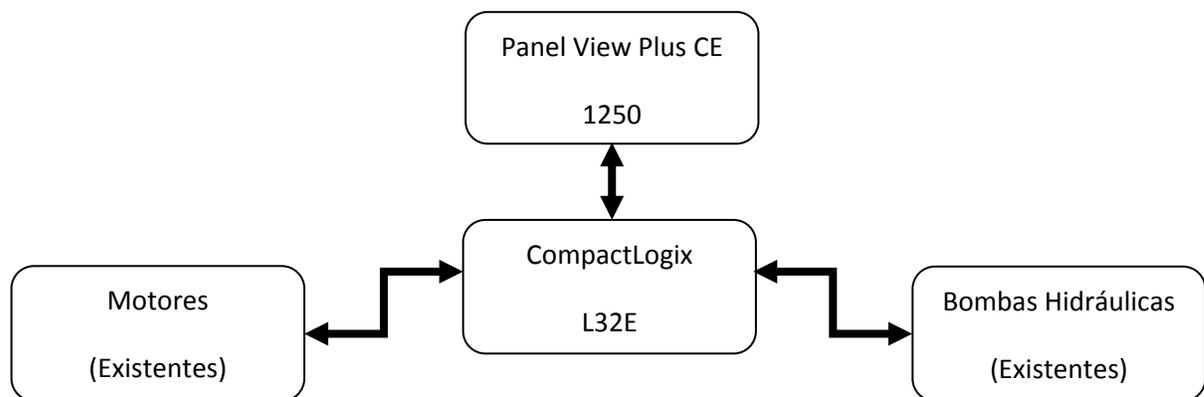
En este capítulo se expondrá en forma detallada cada una de las rutinas y componentes que fueron necesarios para la implementación del proyecto. Para comprender de una forma clara la solución realizada se explicarán de forma separada las etapas del proyecto, las cuales se dan a continuación:

- Diseño e implementación de un panel de control digital.
- Diseño del control automático de la temperatura de la caja de succión.
- Diseño del control automático del pH en el Tanque Reactor.

### ***5.1. Diseño e implementación de un panel de control digital.***

#### ***5.1.1. Descripción del hardware***

La siguiente figura muestra un diagrama de bloques general del hardware que se utilizó en esta parte de la solución.



**Figura 5.1.** Hardware utilizado en el panel digital.

En la planta se requirió de la instalación de dos equipos nuevos para que el panel de control sea capaz de realizar las funciones que se le han asignado.

El primero es un controlador lógico programable que se encarga de ejecutar las rutinas que permiten el funcionamiento de los equipos del sector de secado de la cáscara. El PLC utilizado es de la marca Allen Bradley y de la serie CompactLogix. El CPU que se seleccionó es el 1769-L32; las características de este controlador se muestran en la tabla 5.1

**Tabla 5.1** Especificaciones técnicas del controlador CompactLogix1769-L32. [10]

Descripción	1769-L32E
Puertos de comunicación	CH0 - RS-232      EtherNet/IP RS-232              RJ-45 ó 10BaseT DF1                   EtherNet/IP 38.4 Kbytes/seg      10/100 MBytes/seg
Memoria del usuario	750 Kbytes
Memoria no volátil	1784-CF64 CompactFlash
Número máximo de módulos de E/S	16 módulos de E/S
Número máximo de bancos de E/S	3 bancos
Corriente del backplane	660 mA a 5 VCC 90 mA a 24 VCC
Disipación de energía	4.74 W
Distancia respecto a la fuente de alimentación	4 (El controlador debe estar a una distancia de no más de cuatro posiciones de ranura de la fuente de alimentación eléctrica).
Batería	1769-BA
Temperatura de funcionamiento	0° a +60°C (+32° a +140°F)

A este controlador se le agregaron los siguientes módulos de entradas y salidas (I/O):

- 5 Módulos de entradas digitales 1769-IA16 que tiene un número de entradas igual a 16 con un rango de tensión de entrada que varía entre 79 y 132 V CA.
- 3 Módulos de salidas digitales 1769-OW16 el cual cuenta con 16 salidas de relé normalmente abierto, y el rango de operación va desde 5V a 265 V en CA, y de 5V a 125 V en CC.

- 1 Módulo de entradas analógicas 1769-IF8.
- 1 Módulo de salidas analógicas 1769-OF8.
- 1 Módulo de entrada de resistencia RTD 1769-IR6.

El segundo equipo que se utilizó es una pantalla táctil que realiza la función de panel de control. Para este proyecto se usará una pantalla de la familia Allen Bradley, específicamente el modelo Panel View Plus 1250 CE. Las especificaciones técnicas de este dispositivo son las siguientes.

**Tabla 5.2** Especificaciones técnicas del Panel View Plus 1250 CE. [8]

	PanelView Plus 1250 CE
Tamaño del Display	12.1 inch
Área del Display (WxH)	246 x 184 mm (9.7 x 7.2 in)
Resolución	800 x 600 18-bit Color Graphics
Descripción Touch Screen	Analog resistive
Puertos de comunicación	PanelView Plus: Ethernet, RS-232, 2 USB plus optional DH+/DH-485, or ControlNet module PanelView Plus Compact 1000: RS-232, Ethernet, and 2 USB ports; no modular communication interface
Voltaje de entrada, AC	85...264V AC, 47...63 Hz
Consumo Potencia, AC	160VA max
Voltaje de entrada, DC	18...32V DC (24V DC nominal)
Consumo Potencia, DC	70 W (2.9 A at 24V DC)
Temperatura de operación	0...55 °C (32...131 °F)

La conexión entre el PLC y el Panel View se realiza por medio del puerto Ethernet de cada uno de los dispositivos; cada puerto tiene una conexión directa hacia un enrutador inteligente.

### ***5.1.1. Implementación de las funciones del panel de control.***

La planta TicoFrut S.A contaba en su área de Pellets con un panel de control en el cual se realizaban dos funciones:

- El arranque, paro de motores y bombas que intervienen en el proceso del secado de la cáscara.
- Operación de los Secadores de Cáscara de la Planta.

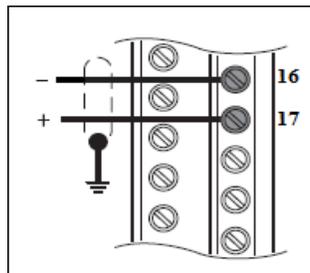
Para que este controlador cumpliera con la primera función se le debieron de conectar las señales de control de los equipos que intervienen en el proceso de secado, dichos equipos se muestran en la tabla A-6.1

Estos equipos ya se encontraban instalados y funcionando en la planta, pero al realizarse la sustitución del panel se debieron de realizar nuevamente las conexiones entre éstos y el PLC, debido a que el control anteriormente se realizaba por medio de tres líneas y para el nuevo control se requirió utilizar 5 líneas de control. La función de cada una de estas líneas es la siguiente:

- START: esta es una señal de salida y es la que se encarga de energizar el contactor que pone en funcionamiento el equipo seleccionado. Es un contacto normalmente abierto, por lo que un “1” representa que está activo y un “0” indica que está desactivado.
- STATUS: esta es una señal de entrada e informa el estado del equipo. Es un contacto normalmente abierto, por lo que un “1” representa que está activo y un “0” indica que está desactivado.
- DISPARO: esta es una señal de entrada e informa cuando se dio un disparo por exceso de corriente en el equipo. Es un contacto normalmente abierto.
- FASE: es la línea en la cual se aplica la tensión.
- NEUTRO: es la línea de neutro del sistema.

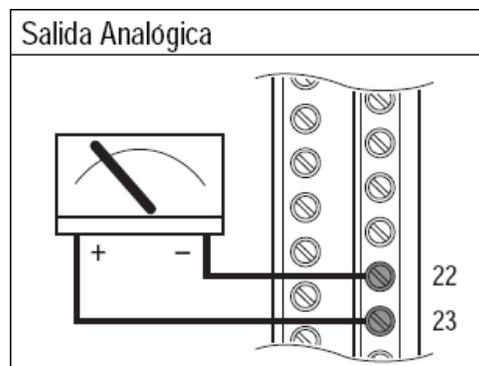
Los equipos que requirieron de un control aparte del mencionado anteriormente fueron los siguientes:

- Para cada uno de los tornillos de alimentación de los secadores fue necesario el uso de una salida analógica de 4 a 20 mA que permitiera modificar la velocidad del motor. Esta salida analógica se conectó a los terminales 16, 17 del variador de frecuencia PowerFlex70 con la polaridad mostrada en la figura 5.2.



**Figura 5.2.** Conexión de Entrada Analógica del Variador PowerFlex 70. [9]

- También para estos tornillos de alimentación se utilizó una entrada analógica de 4 a 20 mA. Esta señal viene del variador e indica la velocidad real a la que se encuentra el motor; esta entrada analógica se conectó a los terminales 22, 23 del variador de frecuencia PowerFlex70 con la polaridad mostrada en la siguiente figura.



**Figura 5.3.** Conexión de Salida Analógica del Variador PowerFlex 70. [9]

Para programar los variadores de velocidad se debieron de modificar los siguientes parámetros:

**Tabla 5.3.** Parámetros de configuración del variador PowerFlex 70. [9]

Numero de Parámetro	Nombre del Parámetro	Descripción	Valor	Significado
40	[Tipo de motor]	Establecido para que coincida con el tipo de motor conectado.	0	Inducción
41	[Volt placa motor]	Seleccionar según volt placa motor.	480 V	
43	[Hz placa motor]	Seleccionar según la frecuencia Hz placa motor	60 Hz	
44	[RPM placa motor]	Seleccionar según RPM placa motor.	1750 RPM	
45	[Pot. placa motor]	Seleccionar según la potencia de la placadel motor.	40HP	
46	[Unid. pot. mtr.]	Selecciona las unidades de potencia del motor a usar	0	HP
49	[Polos motor]	Define el número de polos en el motor.	4	Motor de 4 Polos
55	[Frecuencia máx.]	Establece la máxima frecuencia de salida del variador.	60 Hz	
81	[Veloc. mínima]	Establece el límite inferior de la referencia de velocidad	15 Hz	
82	[Veloc. máxima]	Establece el límite superior de la referencia de velocidad	60 Hz	
90	[Sel. ref. vel. A]	Selecciona la fuente de la referencia de velocidad para el variador	1	Entrada analógica 1

**Tabla 5.4.** Continuación de los parámetros de configuración del variador PowerFlex 70. [9]

Numero de Parámetro	Nombre del Parámetro	Descripción	Valor	Significado
155	[Modo Paro A]	Modo de paro activo.	0	Inercia
320	[Config. ent anlg]	Selecciona el modo para las entradas analógicas.	1	Corriente
322	[Lm sup en anlg 1]	Establece el valor máximo de entrada al bloque de escalado de entrada analógica x.	20 mA	
323	[Lm inf en anlg 1]	Establece el valor mínimo de entrada al bloque de escalado de entrada analógica x.	4 mA	
340	[Config. sal anlg]	Selecciona el modo para las salidas analógicas.	1	Corriente
341	[Val abs sal anlg]	Selecciona si se usa el valor con signo o el valor absoluto	1	Absoluto
342	[Sel. sl anlg 1]	Selecciona la fuente del valor que controla la salida analógica.	0	Frecuencia de Salida
343	[Lm sup sl anlg 1]	Establece el valor de la salida analógica cuando el valor de la fuente se encuentra al máximo.	20 mA	
344	[Lm inf sl anlg 1]	Establece el valor de la salida analógica cuando el valor de la fuente se encuentra al máximo.	4 mA	
361	[Sel. ent digit 1]	Selecciona la función para las entradas digitales.	5	Arranque

- Si el cilindro del secador, el tornillo de alimentación ó el tornillo de salida se detienen o fallan, se debe de parar el funcionamiento total de la planta ya que se puede comprometer la integridad del Secador, es por esta razón que cada uno de estos cuenta con sensores de movimiento (sensores inductivos).

Por medio de una rutina mostrada en la figura 5.7 se cuentan la cantidad de pulsos y se determina por medio de la cantidad de revoluciones si está detenido o en marcha. Para estos sensores se utilizan entradas digitales del PLC.

Una segunda función que realizaba el panel de control era la de poner en operación los secadores. Este proceso ya estaba definido y en funcionamiento en el área de pellets. Se realizó un nuevo cableado de cada una de las señales que se encuentran en la planta hasta el cuarto de control donde se colocó el PLC ( los planos del nuevo cableado se encuentran en el apéndice A-2 ), esto con el fin de cerciorarse del correcto funcionamiento de cada una de ellas. Las señales que utilizan estos secadores se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 5.5.** Señales de control del Funcionamiento de los Secadores Planta Pellets.

Secador 30k	Secador 40k
<b>Entradas</b>	
Maneta de Ignición	Maneta de Ignición
Presostato aire instrumentos	Presostato aire instrumentos
Presostato de Vapor	Presostato de Vapor
Presostato Aire Instrumentos	Presostato Aire Instrumentos
Hongo de Seguridad	Hongo de Seguridad
Micro-amortiguador Cerrado	Micro-amortiguador Cerrado
Micro-amortiguador Abierto	Micro-amortiguador Abierto
Sensor de Llama	Sensor de Llama
Pulso Apagar Llama	Pulso Apagar Llama
<b>Salidas</b>	
Electroválvula Purga	Electroválvula Purga
Electroválvula Bunker	Electroválvula Bunker
Transformador de Ignición	Transformador de Ignición
Electroválvula atomizadora Vapor	Electroválvula atomizadora Vapor
Electroválvula de Gas	Electroválvula de Gas
Electroválvula Dámper	Electroválvula Dámper
Electroválvula de Seguridad	Electroválvula de Seguridad
Alarma Sonora	Alarma Sonora

El resumen de las entradas y salidas requeridas para esta sección de la solución del proyecto se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.6.** Cantidad de Entradas/Salidas Utilizadas en el panel de control.

Tipo de Entrada/Salida	Cantidad Entrada/Salidas Utilizadas	Módulos
Entradas Digitales	70	5
Salidas Digitales	39	3
Entradas Analógicas	2	1
Salidas Analógicas	2	1

### ***5.1.2. Descripción del Software***

El software implementado para esta sección de la solución se realizó en dos programas, primero se utilizó el RSLogix 5000 para programar las rutinas que ejecuta el PLC y después el Factory Talk View para diseñar las pantallas que son utilizadas por los usuarios para operar la Planta.

#### ***5.1.2.1. Rutinas en RSLogix 5000.***

Para el realizar el arranque y paro de los equipos que se muestran en la siguiente tabla se programó el algoritmo que se encuentra en la figura 5.4.

**Tabla 5.7.** Equipos con igual programación de encendido y apagado.

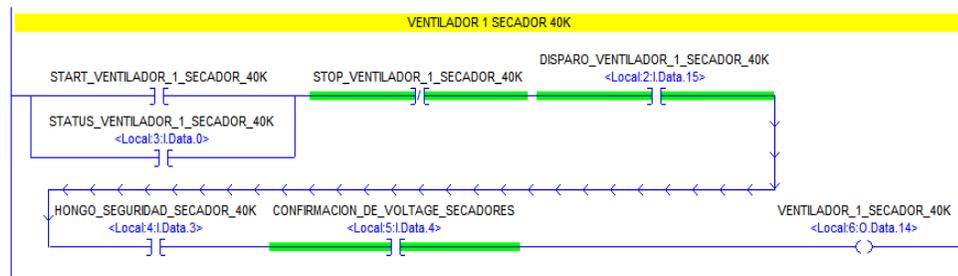
Secador 30k	Secador 40k
Ventilador #1	Ventilador #1
Ventilador #2	Ventilador #2
Ventilador #3	Ventilador #3
Ventilador #4	Ventilador #4
Ventilador Aire Combustión	Ventilador Aire Combustión
Ventilador Aire Auxiliar	Ventilador Aire Auxiliar
Bomba Bunker Alimentación Pellets	Bomba Bunker Principal
Bomba Bunker Principal	Bomba Bunker Auxiliar
Bomba Bunker Auxiliar	

El funcionamiento de esta rutina es el siguiente:

Cuando se da un pulso en el botón de inicio (START) y se cumplen que:

- El botón de Stop y el Hongo de Seguridad no se encuentren presionados.
- La señal de disparo y la de confirmación de voltajes se encuentren habilitados

El relé de salida energiza el contactor del equipo y por medio de la señal de “STATUS”, proveniente del equipo, se da la auto-alimentación para que se mantenga energizado el contactor. Si alguna de las condiciones anteriores cambia su estado la línea se interrumpe y el contactor pierde la energía.



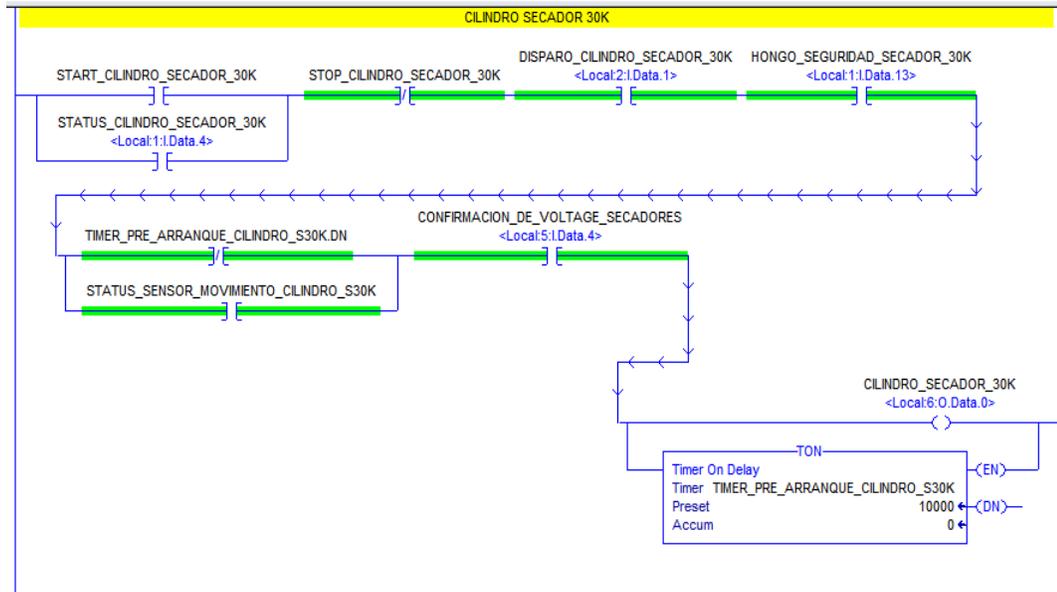
**Figura 5.4.** Rutina del arranque y paro de equipos de la Tabla 5.7

Para el cilindro del secador y el tornillo de Salida del Secador se utilizó el algoritmo mostrado en la figura 5.5. En esta figura se observa que el algoritmo es similar al utilizado por la mayoría de los equipos de la planta con la variación de que se utiliza un bloque temporizador (timer) que realiza una función de pre arranque. El funcionamiento del algoritmo es el siguiente:

Cuando se presiona el botón de inicio y se cumplen que:

- El botón de Stop y el Hongo de Seguridad no se encuentren presionados.
- La señal de disparo y la de confirmación de voltajes se encuentren habilitados.

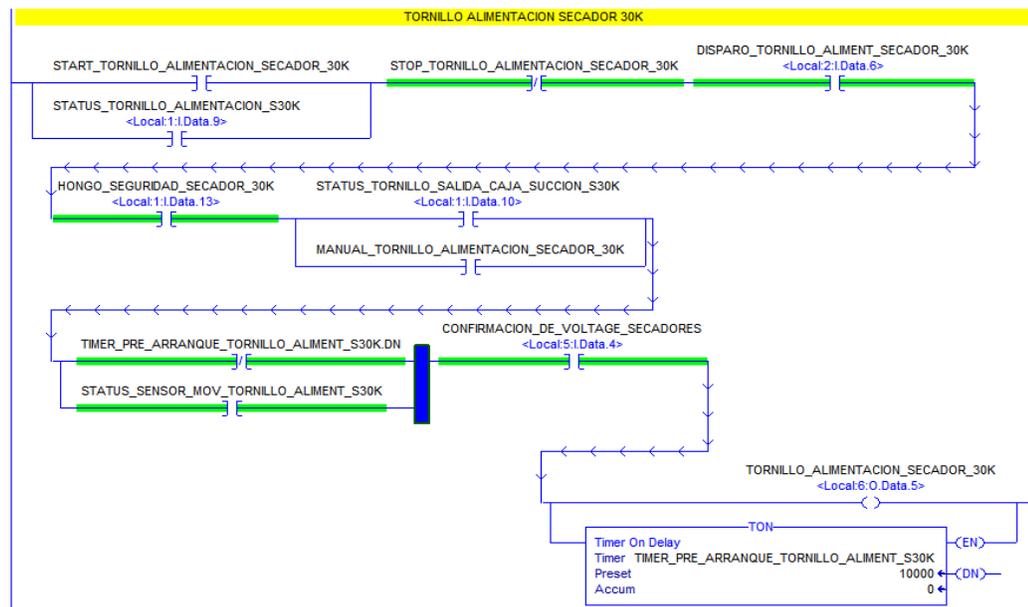
Se da la activación tanto del equipo como del temporizador, el cual da una ventana de tiempo de 10s para que la rutina que se encarga de detectar el movimiento de los equipos confirme el estado; si no se da esta condición una vez que el temporizador llega al valor de cuenta preestablecido (Preset) se interrumpe la línea y el equipo se desactiva.



**Figura 5.5.** Rutina de operación del cilindro del Secador y del tornillo de salida.

Para el tornillo de Alimentación se utiliza el algoritmo mostrado en la figura 5.6. Al igual que el Cilindro y el Tornillo de salida, la rutina cuenta con un temporizador de pre arranque; lo que cambia en este algoritmo es que se añade una condición más para que el tornillo entre en funcionamiento. Esta condición es:

- El status del Tornillo de Salida de la caja de succión debe de estar habilitado; esta es una condición de seguridad ya que si el tornillo de salida no se encuentra en funcionamiento la cáscara no sale del secador y puede prender fuego.

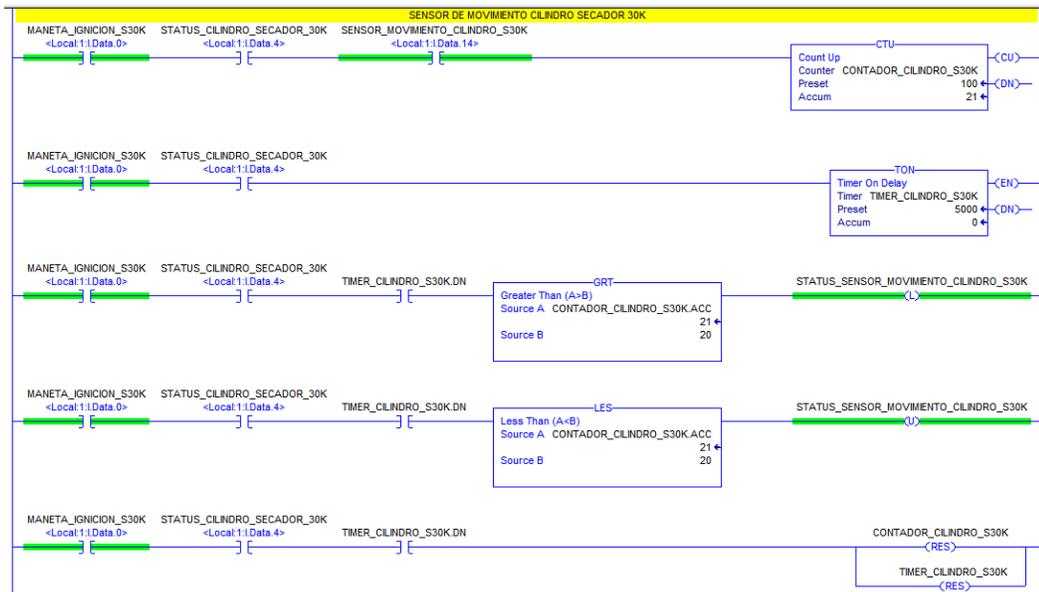


**Figura 5.6.** Rutina de operación del tornillo de alimentación de la caja de succión.

Otra rutina que se debió de programar es la rutina que se encarga de determinar si los tornillos de alimentación, de salida y el cilindro del secador están en movimiento, dicha rutina se observa en la figura 5.7 y su funcionamiento es el siguiente.

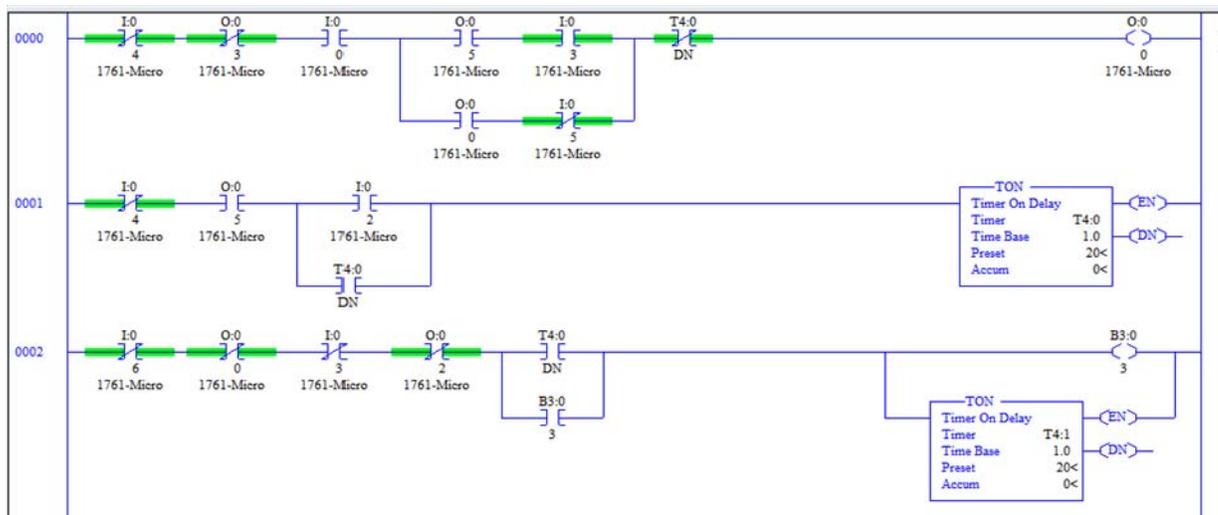
Una vez que se presiona el botón de inicio del equipo y se cumplen las condiciones anteriores se activa la señal de Status. Una vez activada esta señal inicia un timer de 5s durante los cuales se cuentan la cantidad de pulsos detectados por el sensor de proximidad de cada equipo. Si el acumulado del contador es mayor que 20 se activa el bit de status del sensor de movimiento y, por el contrario, si es menor se desactiva este bit.

El número de pulsos (que indica si el equipo está en movimiento o no) se determinó mediante pruebas al equipo, las cuales consistieron en poner en la velocidad mínima los equipos para registrar la cantidad de pulsos que registraba el sistema.



**Figura 5.7.** Rutina de detección de movimiento.

Luego, para implementar la segunda función del panel de control se contaba con la programación que ponía en operación los secadores, pero presentaba el inconveniente que los nombres de las señales que estaban conectadas a las entradas y salidas se encontraban etiquetadas de una forma ambigua y no dejaba claro su funcionamiento; esto se evidencia en la siguiente figura.

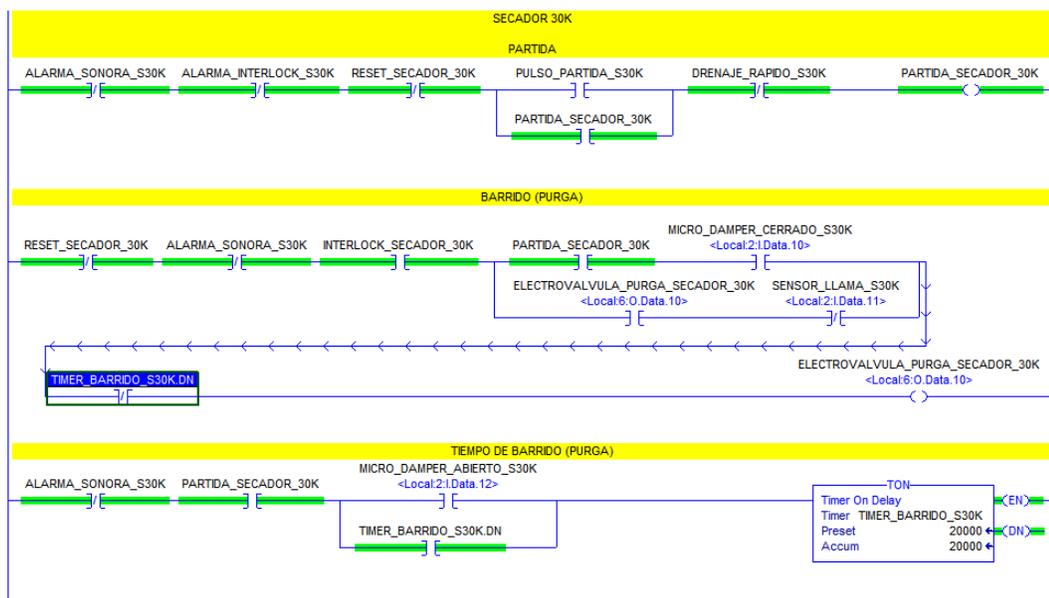


**Figura 5.8.** Rutina de operación del secador en RSLogix 500.

Es por esta razón que con el manual de usuario y la ayuda de los jefes del departamento se logró determinar cuáles eran las señales conectadas a las entradas del MicroLogix 1000 DH-485. Al tener el programa debidamente documentado se procedió a actualizarlo para que pudiera ser ejecutado en el nuevo controlador CompactLogix. Para realizar esta tarea se debió de estudiar la forma en que trabajan las instrucciones de “Timer”, “Add” y la de comparación “GRT” en el programa RSLogix 500, que es el programa en el cual se encontraba realizada la programación.

Se encontró que el bloque “Timer” del RSLogix 5000 difiere del utilizado por el RSLogix 500 ya que en este último se puede definir la base de tiempo sobre la cual se quiere que el bloque cuente, ya sea 1 ms, 10 ms ó 1s. Esta opción no es posible utilizarla con el RSLogix 5000 por lo que se tuvieron que ajustar los tiempos para que fueran los correctos.

En las siguientes figuras se muestra una parte de la rutina que se actualizó para ser ejecutada en el nuevo controlador.



**Figura 5.9.** Parte rutina de operación del secador en RSLogix 5000.

### 5.1.2.2. Interfaces “Factory Talk View”.

Para que las rutinas de control programadas en el PLC puedan ser ejecutadas se debió de crear una interfaz que realizara la función de panel de control, estas HMI se desarrollaron en el software “Factory Talk View”.

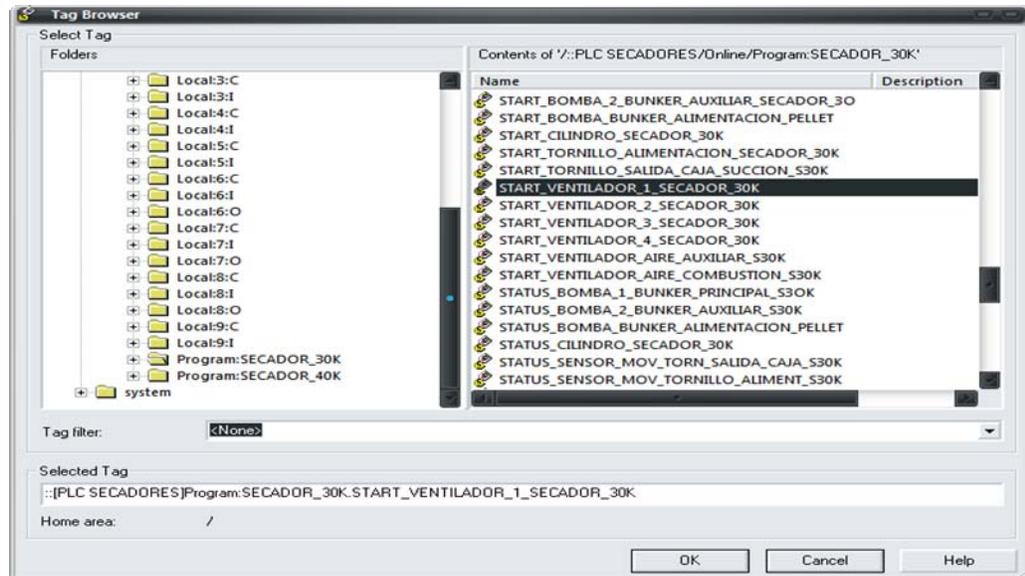
Antes de crear las pantallas de control se debe de conocer cómo enlazar las herramientas que ofrece el programa, como lo son botones, displays numéricos, entre otros, a las variables definidas en las rutinas del PLC. Este proceso se ilustrará ligando el botón de *ON* a la variable *START\_VENTILADOR\_1\_SECADOR\_30K* del PLC.

- Primero se debe de seleccionar en las herramientas del programa el tipo de botón presionado momentáneamente, el cual escribe en la variable un “1” mientras se encuentre presionado y al soltarlo el valor vuelve a “0”.
- Se dibuja el botón del tamaño que se desee, se selecciona y se oprime click derecho, en la ventana que se abre se debe de seleccionar la pestaña de “Connections” en la que se define el Tag (Nombre de la variable del PLC) hacia el cual se desea escribir el valor.



Figura 5.10. Propiedades del Botón Presionado Momentáneamente.

- La selección del Tag se realiza mediante un explorador; para acceder a él se oprime el botón con tres puntos situado debajo de la palabra Tag. Una vez que se abre la ventana Tag Browser se busca el nombre del proyecto en el PLC y al darle click en la parte derecha de la ventana aparecen las variables de las rutinas creadas en el RSLogix 5000.



**Figura 5.11.** Tag Browser.

Una vez que se conoce cómo enlazar las funciones se procedió a crear las pantallas de usuario.

Primero se creó una pantalla de inicio; esta pantalla tiene la finalidad de establecer el usuario que ingresa al sistema, ya sea un operador limitado o el administrador del equipo que tiene acceso a las pantallas de configuración.



Figura 5.12. Pantalla principal del panel de control de la planta de pellets.

Una vez que se introduce el nombre de usuario y el password correspondiente, se presiona continuar y se presenta el menú principal del sistema. En este menú se observan las diferentes funciones que puede realizar el operador del equipo. Se nota también en esta interfaz la presencia de un botón de configuraciones, el cual está presente si se trata de un usuario con acceso limitado o un administrador del equipo. El acceso a esta pantalla se limitó mediante códigos de seguridad.

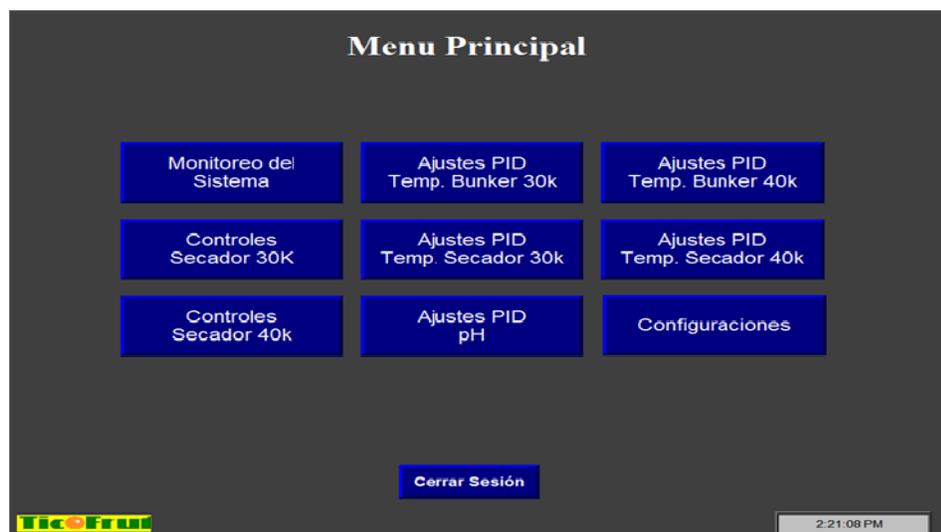


Figura 5.13. Menú principal del panel de control de la planta de pellets.

Para controlar el arranque y paro de los motores del sector de secado de la cáscara de la Naranja se crearon las pantallas mostradas en las figuras 5.14 y 5.15, en las cuales se observan los botones de paro y arranque para cada uno de los equipos del secador 30k de la planta de Pellets. La planta cuenta con dos secadores de cáscara por lo cual la interfaz de los controles del secador 40K es igual a los mostrados anteriormente.

El funcionamiento de estas pantallas es el siguiente.

- Cuando el equipo se encuentra en funcionamiento los botones de “ON” presentan un color verde oscuro, mientras que los botones de “OFF” presentan un color rojo claro, como por ejemplo los Ventiladores #1, #2 y #3. Por el contrario, cuando el equipo se encuentra desactivado, el botón de “OFF” presenta un color rojo intenso y el botón de “ON” un color verde claro, como por ejemplo el cilindro del secador y el tornillo de salida del secador.
- En la figura 5.14 se muestra un recuadro amarillo con el título “*Velocidad del tornillo de alimentación*”; tocando este cuadro se abre un teclado numérico en el que se fija la velocidad a la cual se desea que trabaje el tornillo. Los límites de velocidad establecidos van de 15Hz a 60Hz.
- En la Figura 5.15 se observa que la “*Bomba Búnker Principal*” presenta un recuadro rojo y una leyenda de “Disparado” en su parte baja; esto se da ya que la señal de control llamada DISPARO proveniente de la bomba se ha activado. Con este recuadro el operador se da cuenta de manera gráfica si algún equipo de la planta presenta algún problema.

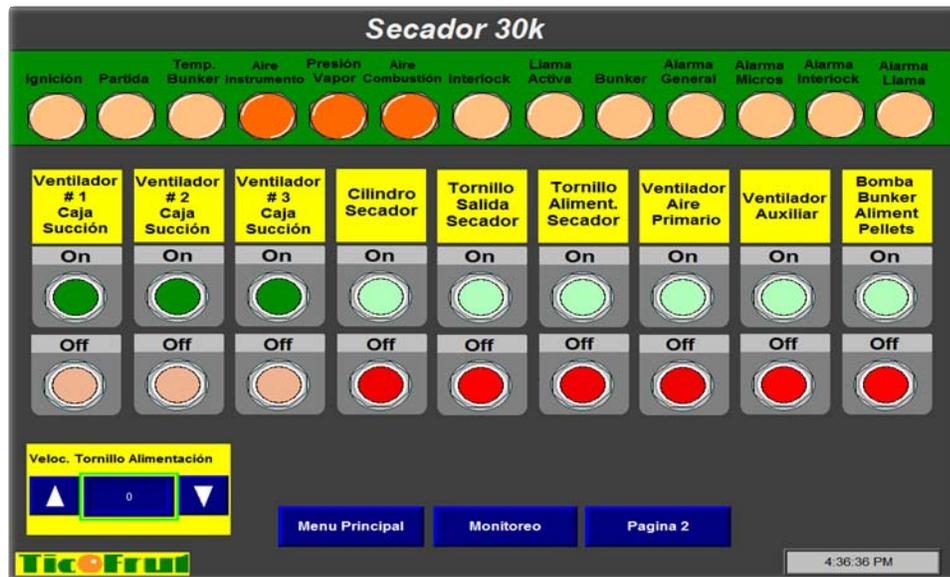


Figura 5.14. Panel #1 de los controles del Secador 30k.

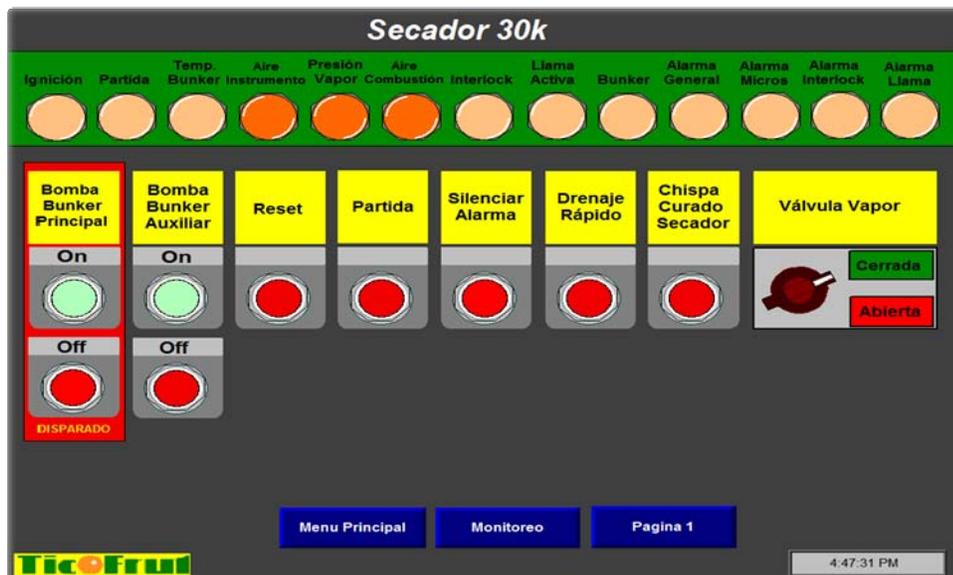


Figura 5.15. Panel #2 de los controles del Secador 30k.

La siguiente pantalla que se creó es la pantalla de configuraciones. Esta pantalla es de acceso restringido ya que los cambios que se realizan en ella pueden comprometer la integridad del equipo si no son realizados por personal calificado.

Tal es el caso el caso del corte de la válvula de búnker ya que si no se especifica dentro de un rango de operación permitido, la cáscara que se encuentra dentro del secador puede incendiarse y poner en peligro la estructura del secador.



**Figura 5.16.** Pantalla de configuraciones de los Secadores.

Por último, se creó una pantalla de monitorización en la cual se puede observar el funcionamiento de los controles automáticos de la temperatura y del pH así como variables propias de la operación del secador, las cuales deben de estar en constante vigilancia. Además, en la parte inferior se crearon botones de acceso rápido a las pantallas de control de los equipos de la planta. La HMI mencionada se muestra a continuación.

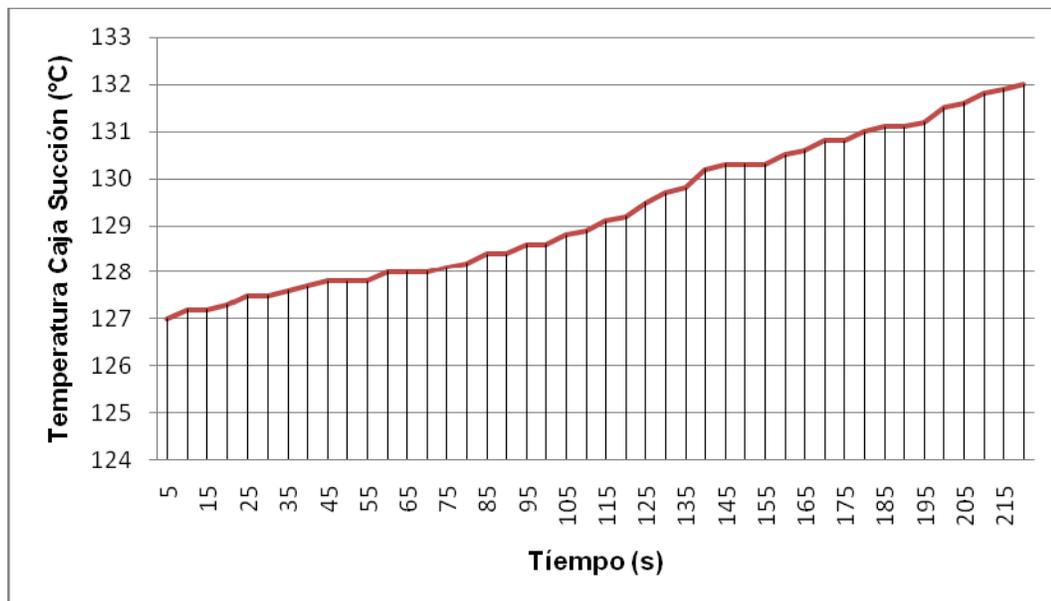


## 5.2. *Diseño del control automático de la Temperatura de la Caja de Succión.*

### 5.2.1. *Descripción del Proceso de Diseño.*

Para realizar el diseño del control automático de la temperatura de la caja de succión primero se debió de obtener un modelo matemático del sistema que se quería controlar. Como primer paso se procedió a realizar pruebas al sistema, que consistieron en variar el porcentaje de apertura de la válvula que suministra búnker a los secadores de un 38% a un 52% y, por medio de sensores ubicados en la caja de succión, tomar los datos de la temperatura en un tiempo definido; el tiempo de muestreo utilizado fue de 5s.

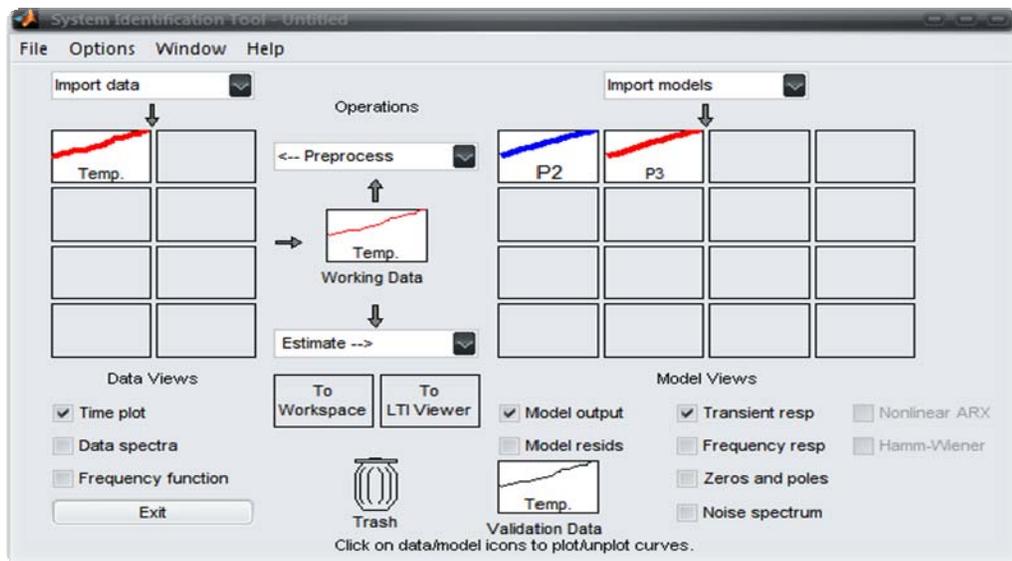
A continuación se muestra la colección de datos que se utilizó para realizar el modelado matemático.



**Figura 5.18.** Datos de la temperatura de la caja de succión ante un cambio en su entrada.

Luego, como segundo paso, con el uso del programa matemático MatLab se importaron los datos obtenidos. Una vez que se tuvieron los datos en el programa se utilizó la herramienta de identificación de sistemas “*Ident*” para obtener un modelo matemático que refleje el comportamiento de la planta.

Para obtener este modelo se realizaron varias estimaciones con la herramienta “*Ident*”, hasta encontrar el que presentara un mayor grado de similitud con los datos obtenidos de las pruebas. La siguiente figura muestra la ventana que se despliega al digitar el comando “*Ident*” en el espacio de trabajo del programa.



**Figura 5.19.** Modelado de la temperatura de la caja de succión.

Como se aprecia en la figura anterior se generaron dos tipos de modelos para compararlos entre sí.

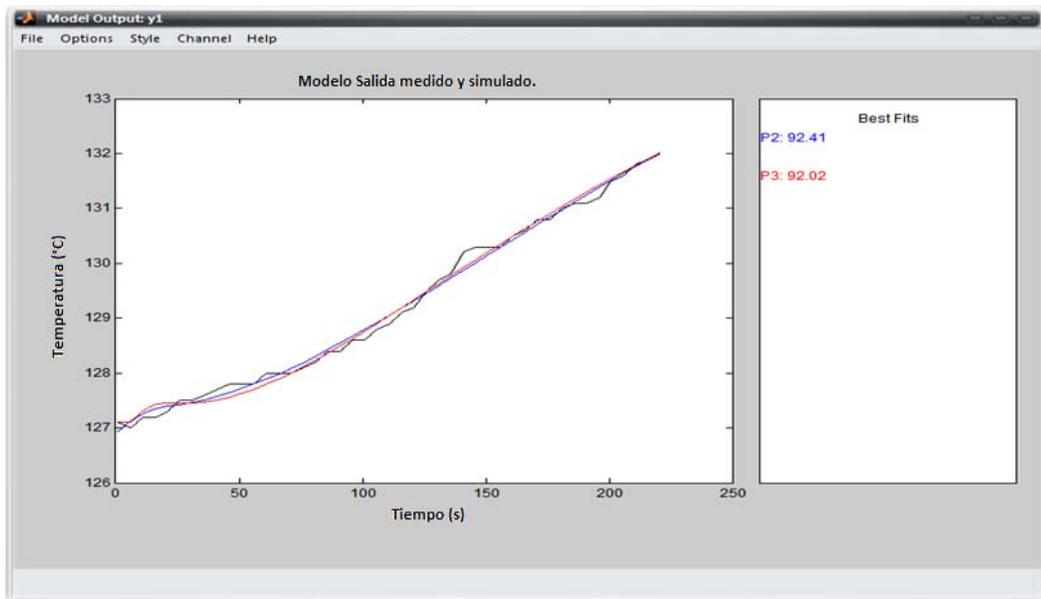
- El modelo P2 el cual es una estimación de un sistema de segundo orden con la siguiente función de transferencia

$$P2 = \frac{k}{(1+T_{P1}s)(1+T_{P2}s)} \quad (5.1)$$

- El modelo P3 el cual es la aproximación de un modelo de tercer orden con la siguiente función de transferencia.

$$K_{lead} = \frac{k}{(1+T_{P1}s)(1+T_{P2}s)(1+T_{P3}s)} \quad (5.2)$$

Una vez que se estimaron los modelos anteriores se realizó una comparación de forma gráfica entre los modelos estimados y los datos obtenidos de las pruebas.



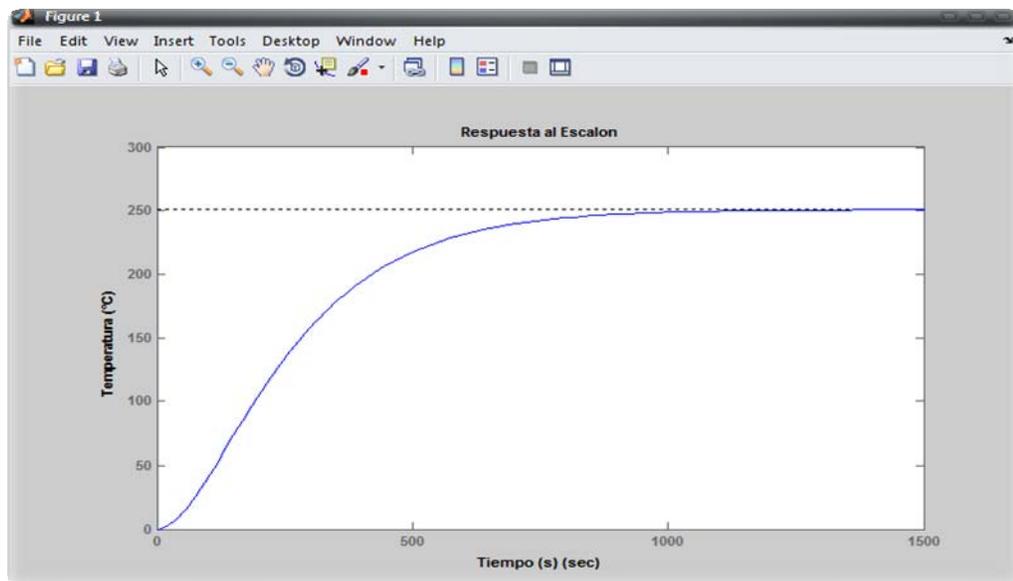
**Figura 5.20.** Comparación de los modelos estimados del sistema.

Como se aprecia en los porcentajes mostrados en la figura anterior la estimación que presenta una mayor concordancia con los datos experimentales obtenidos de la planta es la de segundo orden, con una similitud de los datos de casi 93%.

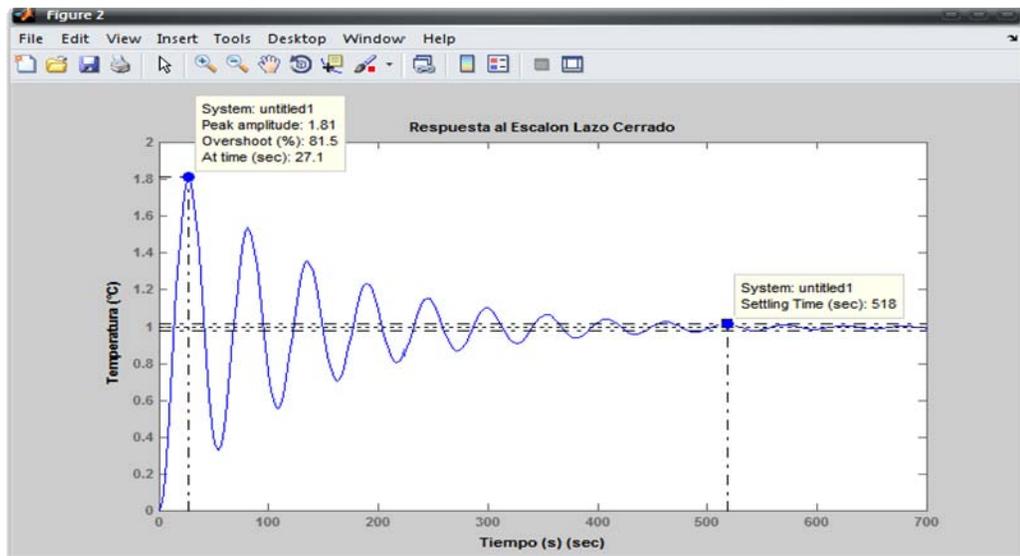
La función de transferencia del modelo que se utilizó en el proyecto es la siguiente.

$$G(s) = \frac{0.013385}{(s+0.009313)(s+0.005731)} \quad (5.3)$$

A continuación se presentan las respuestas para el modelo de la planta ante una entrada escalón unitario, primero en lazo abierto y luego a lazo cerrado, con una realimentación unitaria.



**Figura 5.21.** Respuesta al escalón a lazo abierto de la temperatura de la caja de succión.



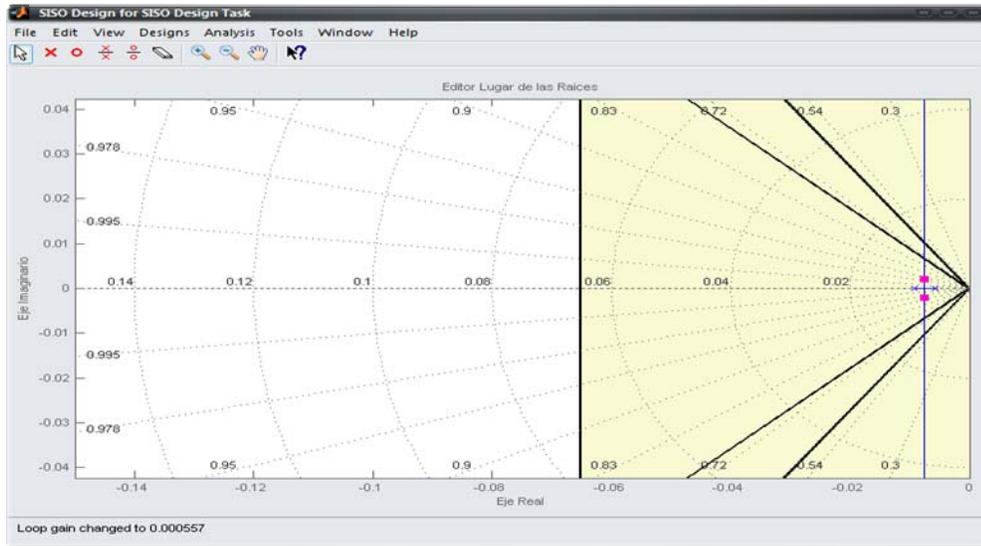
**Figura 5.22.** Respuesta al escalón a lazo cerrado de la temperatura de la caja de succión.

Como se observa en la figura anterior la planta no es un sistema estable, ya que presenta un sobre-impulso cercano al 50% y un tiempo de estabilización de 518 segundos. Estas características se debieron de modificar para que los valores quedaran de la siguiente forma.

- Un tiempo de estabilización menor a 60 segundos.
- Un sobre impulso máximo de 10%.
- Error de estado estacionario igual a cero.

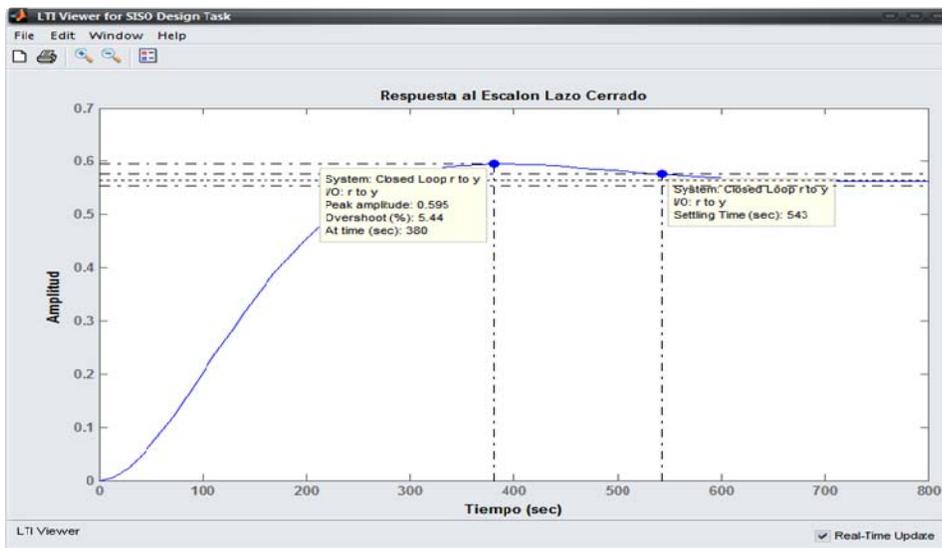
Para diseñar el sistema de control de los compensadores se partió desde los compensadores más simples hasta los compensadores más complejos, por lo que primero se analizó la implementación de un control proporcional.

Con ayuda de la herramienta SISOTOOL del programa Matlab se graficó el lugar de las raíces del sistema y se delimitaron las zonas en las cuales deben ubicarse los polos para que cumpla con las condiciones impuestas. Las líneas inclinadas delimitan el sobre impulso entre el 3% y el 10%, y la línea vertical marca un tiempo de estabilización menor de 60s.



**Figura 5.23.** Ubicación de polos y ceros del modelo de la temperatura de la caja de succión.

En la figura anterior se observa que no existe un punto del lugar de las raíces donde puedan ser ubicados los polos del sistema para que cumpla con la condición del tiempo de estabilización. Lo que sí se logra aplicando un compensador proporcional es que el sobre impulso del sistema se encuentre dentro de los límites establecidos; este análisis se observa en la siguiente figura.



**Figura 5.24.** Respuesta al escalón del modelo de la temperatura con compensador proporcional.

Con lo demostrado anteriormente se descartó el uso de compensador proporcional, por lo cual se debe de diseñar un controlador más complejo. Se comenzará por diseñar un compensador de adelanto de primer orden que venga a ayudar con las características dinámicas del sistema. La forma general que presenta el compensador de adelanto es la siguiente.

$$K_{lead} = \frac{k_c(s - z_0)}{(s - p_0)} \quad (5.4)$$

Al encontrarse delimitadas las zonas en las cuales pueden ubicarse los polos del compensador de adelanto se probaron diferentes puntos para obtener uno que cumpliera con las condiciones del diseño. El punto seleccionado para los polos del compensador es:  $s = -0.0822 + j0.078$ .

Ya que se cuenta con el punto en el cual se ubicaron los polos se procedió a obtener la función de transferencia del compensador por el método de cancelación de polo. El proceso por el cual se obtiene el compensador de adelanto se programó en la rutina llamada "CompensadorTemp" en un archivo ".m" de Matlab, esta rutina se presenta en el Anexo A-3. De esta rutina obtienen los siguientes datos.

El valor del ángulo phi a agregar por el polo: 47.0505

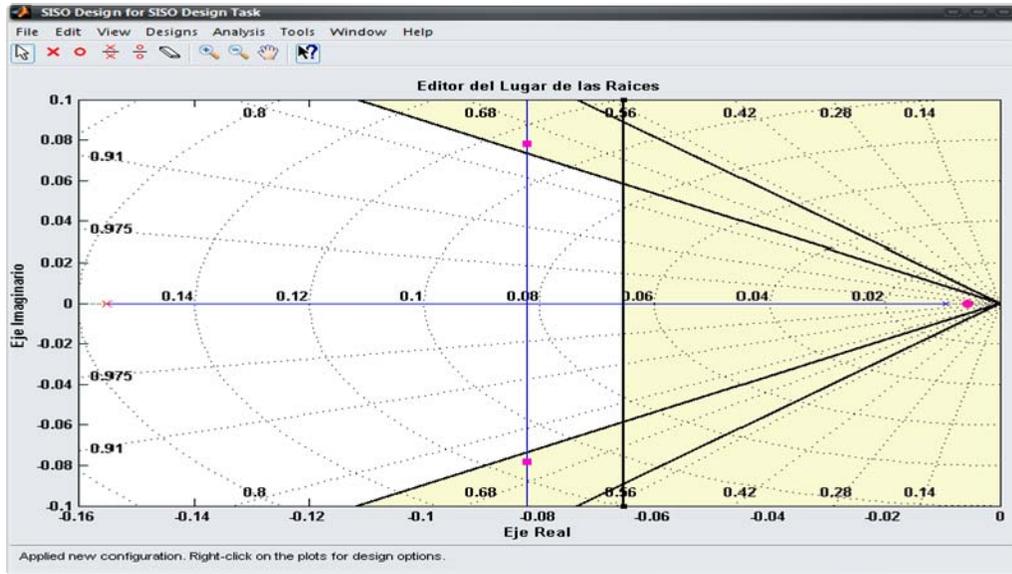
El valor del polo p0: -0.1551

El valor de la ganancia del compensador kc = 0.8546

Con estos valores calculados la función de transferencia del compensador de adelanto diseñado queda de la siguiente manera.

$$K_{lead} = \frac{0.85462(s + 0.005731)}{(s + 0.1551)} \quad (5.5)$$

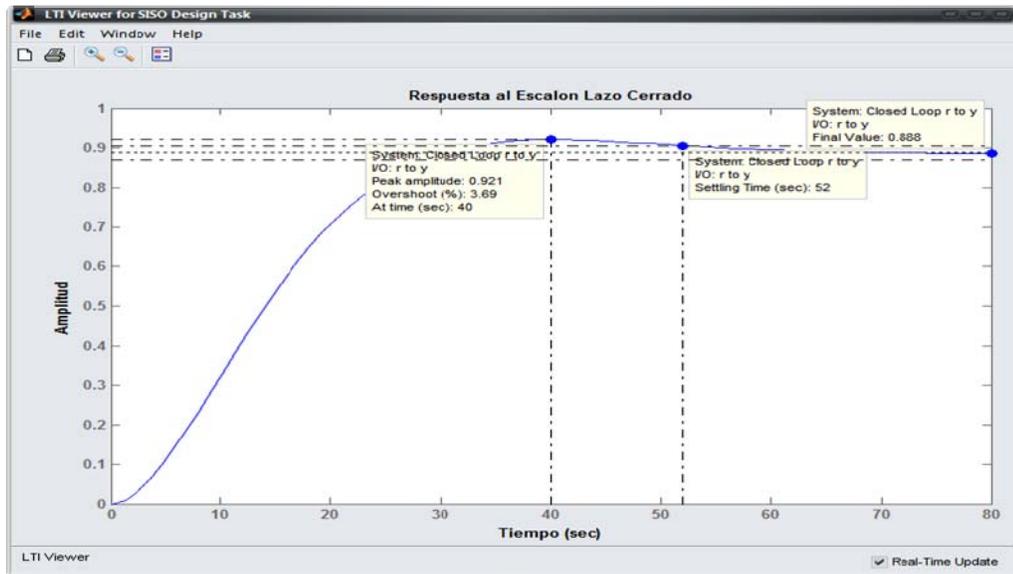
Al introducir el compensador de adelanto el lugar de las raíces del sistema original es desplazado hacia la izquierda. Al producirse este corrimiento se observa que el punto seleccionado anteriormente se encuentra dentro de las zonas que cumplen con las exigencias del diseño. En la siguiente figura se puede observar el lugar de las raíces del sistema con el compensador de adelanto.



**Figura 5.25.** Lugar de las Raíces del modelo de la temperatura con compensador de adelanto.

En la siguiente figura se observa que las características de sobre impulso como la del tiempo de estabilización se cumplen, pero, sin embargo, se presenta un error de estado estacionario de aproximadamente un 11%. Con la adición de este compensador se cumplieron dos de las tres restricciones impuestas, pero para cumplir con el requerimiento del error de estado estacionario se debe de implementar otro compensador; se está hablando de un compensador de atraso, el cual nos sirve para corregir las características estáticas del sistema.

Con el compensador de adelanto la respuesta al escalón a lazo cerrado es la siguiente:



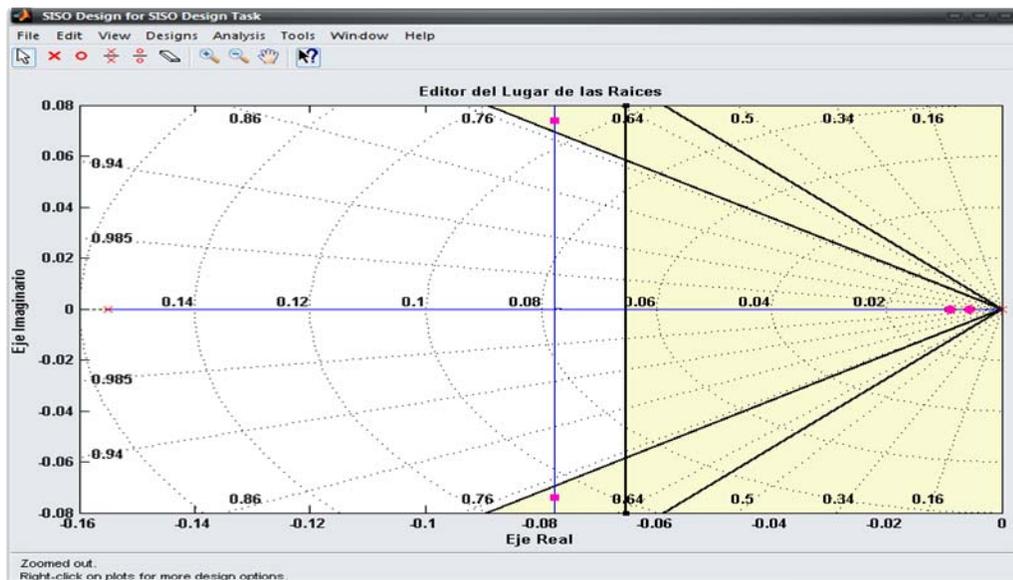
**Figura 5.26.** Respuesta al escalón del modelo de la temperatura con compensador de adelanto.

Para el diseño de este compensador se ubica el polo en el origen y el cero del compensador un poco a la derecha del polo de lazo abierto más cercano al eje real, esto con el fin de mejorar el tiempo de respuesta del sistema. Esta configuración es la de un compensador tipo PI y nos asegura que el error de estado estacionario será cero para diversos tipos de entradas. En este caso, por ser un escalón el que se aplica al sistema y debido a que la planta es de segundo grado, el compensador PI hace que efectivamente el error sea de cero. Al añadir este tipo de compensador el lugar de las raíces tiende a moverse hacia la derecha; esto se puede observar comparando la figura 5.25 con la figura 5.27.

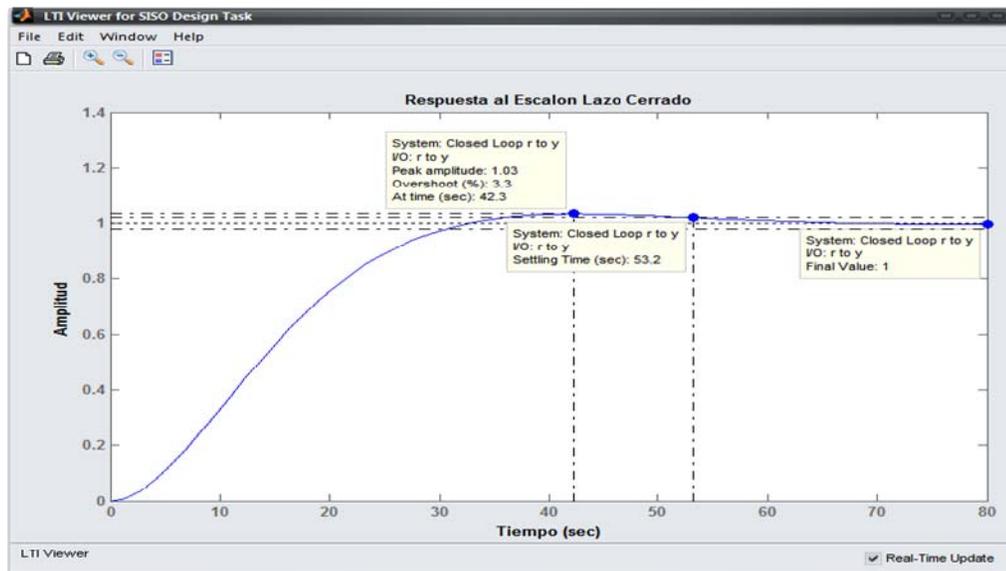
Por lo tanto, la ecuación de transferencia del compensador diseñado queda de la siguiente forma.

$$K_{lag} = \frac{(s+0.0090)}{s} \quad (5.6)$$

Una vez que se le aplicaron al sistema tanto el compensador de adelanto como el de atraso se procedió a graficar el lugar de las raíces y la respuesta al escalón a lazo cerrado para verificar que el sistema compensado cumpliera con las restricciones establecidas. Estos gráficos se muestran en las figuras 5.27 y 5.28 respectivamente.



**Figura 5.27.** Lugar de las Raíces de la temperatura con compensador de adelanto y atraso.



**Figura 5.28.** Respuesta al escalón de la temperatura con compensador de adelanto y atraso.

En la figura 5.28 se corrobora que las especificaciones establecidas para el diseño se cumplen ya que:

- El tiempo de estabilización es de 53,2 segundos
- El sobre impulso del sistema es de un 3,3%
- Y el error de estado estacionario es cero.

### ***5.2.2. Descripción del Hardware.***

Para la implementación de un control automático se debe de contar con tres elementos: un controlador, un actuador y un dispositivo que suministre los datos del sistema.

Para realizar el control de la temperatura de la caja de succión se debe de escoger un sensor de temperatura adecuado a las condiciones en las cuales se va a trabajar. El valor de las temperaturas que debe de medir este sensor va desde los 10°C hasta los 250°C. Basándose en las características de los tipos de sensores que se mostraron en la sección 3.2.2 del marco teórico y en el hecho de que el controlador que se usó en el proyecto tiene un módulo de entradas que acepta conexiones de resistencias o RTD, es que se selecciona el uso de este tipo de sensor.

El módulo 1769-IR6 del controlador CompactLogix es el que se encarga de recibir los datos analógicos de las RTD y convertirlos en valores digitales; además, da la posibilidad de escoger el tipo de RTD por utilizar y definir el rango de temperatura al que se desea trabajar. Este módulo además requiere que la conexión de la RTD sea una conexión de tres cables, esto para que sea capaz de compensar el error de resistencia de cable.

La conexión de la RTD PT-100 de tres hilos con módulo 1769-IR6 del el controlador CompactLogix se muestra en la sección A-7 del apartado apéndices.

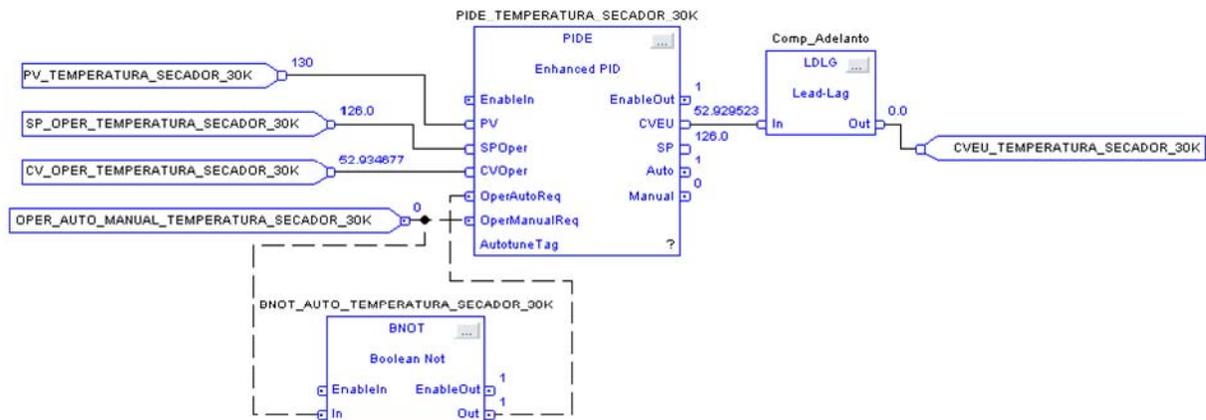
Una vez que se tiene el sensor que se va a utilizar y la conexión con el controlador se procede a realizar la conexión con el actuador. El actuador presente en la planta es una válvula que es modulada de acuerdo a la presión de aire que ingresa. Para regular esta presión se cuenta con un transductor que recibe una señal de 4 a 20mA proveniente del canal 0 del módulo 1769-OF8 y la convierte en unidades de presión que van desde los 3 psi y 15 psi.

### 5.2.3. Descripción del Software.

#### 5.2.3.1. Programación de las rutinas en el RSLogix 5000

El programa RSLogix 5000 tiene 4 tipos de estructuras para realizar la programación de rutinas: por diagrama de escalera, por texto estructurado, por diagrama de bloques y por diagrama de flujo secuencial.

Para la implementación de los compensadores de adelanto y atraso se debió de recurrir a la programación por medio de diagrama de bloques, ya que en este tipo de programación se encuentran bloques que pueden realizar la función deseada. A continuación se muestra la rutina que se utilizó para la implementación del compensador diseñado.



**Figura 5.29.** Rutina de control automático de la temperatura de la caja de succión.

La función que cumple cada una de las variables y bloques mostrados en la figura anterior es:

- PV\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30K: Esta variable está asignada al canal "0" del módulo de entradas de RTD y representa el valor de la temperatura proveniente de sensor de temperatura colocado en la caja de succión.

- SP\_OPER\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30K: Esta es una variable de datos tipo real y está ligada con una entrada numérica “*Set Point Temperatura de la caja de succión*” en la HMI llamada “*PID Temp\_Secador\_30k.*”
- OPER\_AUTO\_MANUAL\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30K: Esta es una variable que se encuentra ligada al botón “*Manual/Automático*” de la HMI “*PID Temp\_Secador\_30k.*” La función de esta variable es activar o desactivar el funcionamiento del control automático.
- CV\_OPER\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30K: Esta variable está ligada a “*CVOper*” del bloque PIDE y tiene la función de establecer el valor de la salida CVEU una vez que se active el modo manual, ya que cuando el bloque PIDE se encuentra en modo Manual toma el valor de la entrada CVOper y lo utiliza como salida.
- BNOT\_AUTO\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30k: Este es un bloque de negación, en su salida establece el negado de su entrada. La función que cumple es la de evitar que las entradas “*Auto*” y “*Manual*” del bloque PIDE presenten el mismo valor.
- El Bloque Comp\_Adelanto realiza la función de compensador de adelanto, la función de transferencia de este bloque es la siguiente.

$$H(s) = Gain * \left[ \frac{1 + Lead * s}{1 + Lag * s} \right] \quad (5.7)$$

- Por último, el bloque PIDE\_TEMPERATURA\_SECADOR\_30K se utiliza para realizar la función de un compensador PI, esto ya que su función de transferencia presenta la siguiente forma.

$$H(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (5.8)$$

Dejando el valor de la ganancia derivativa en cero se obtiene la función de transferencia de un controlador PI.

$$H(s) = \frac{K_P s + K_I}{s} \quad (5.9)$$

### ***5.2.3.2. Programación de la interfaz en el Factory Talk View.***

En el Factory Talk se creó una pantalla en la cual es posible establecer ciertos valores del control automático que se implemento en el PLC CompactLogix

Las funciones que puede realizar el operador en esta pantalla son las siguientes:

- Observar el valor de la temperatura de la caja de succión.
- Presionando el display numérico que se encuentra en el recuadro amarillo se realizan cambios en la temperatura de referencia o Set Point.
- Cambiar el modo de operación del control entre automático y manual.
- Por último, cuando el sistema se encuentra en modo automático se puede observar el porcentaje de apertura de la válvula de alimentación de búnker y si el sistema se encuentra en modo manual presionando el display numérico se puede cambiar el porcentaje de apertura de la válvula mencionada.

La pantalla creada es la que se muestra en la siguiente figura.

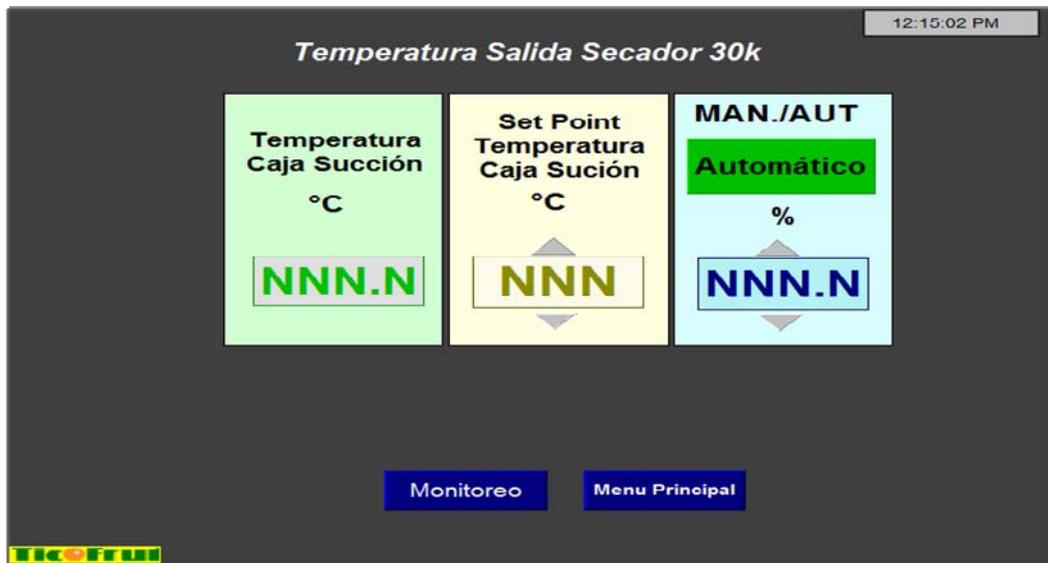


Figura 5.30. Interfaz de control para el compensador de temperatura de la caja de succión.

### 5.3. Diseño del control automático del PH del Tanque Reactor.

#### 5.3.1. Descripción del Proceso de Diseño.

Para realizar el diseño de un control automático que mantenga dentro de los rangos establecidos la variable de PH se debieron de realizar varios pasos.

Como primer punto se debieron de ejecutar pruebas al sistema para conocer así el comportamiento de la variable mencionada. Estas pruebas consistieron en variar en un porcentaje la velocidad del tornillo dosificador de cal de una velocidad de 21,5Hz a 25Hz y recolectar muestras del tanque reactor; una vez que se obtuvieron todas las muestras se llevaron al laboratorio de pellets donde se obtuvo el valor de PH de cada una de ellas. El intervalo en el cual se realizaron las muestras es de 30 segundos.

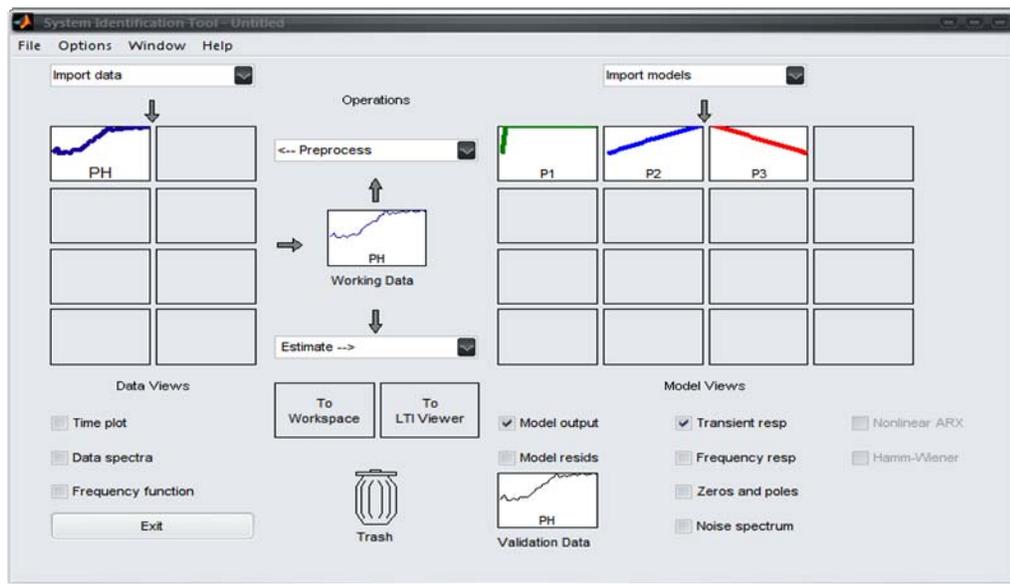
Los datos obtenidos de las pruebas se muestran en la siguiente figura.



Figura 5.31. Datos del PH en el tanque reactor ante un cambio en su entrada.

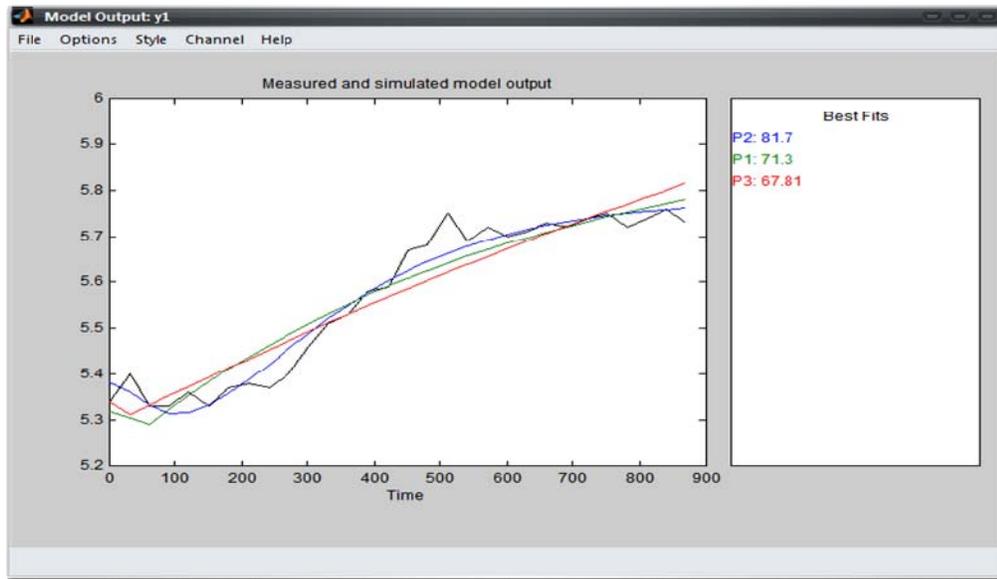
Una vez que se tuvieron los datos de PH tabulados se importaron al programa matemático Matlab. En este programa se utilizó la herramienta de identificación de sistemas “IDENT” para generar un modelo confiable de la planta.

En la figura que se muestra a continuación se observa la ventana de la herramienta “IDENT”; en su parte derecha se observan las tres estimaciones que se realizaron del sistema.



**Figura 5.32.** Modelado del PH del Tanque Reactor.

Cada una de las estimaciones realizadas representa una función de transferencia diferente: la P1 es una estimación a un sistema de primer grado, la P2 es una estimación a un sistema de segundo grado y la P3 es una estimación a un sistema de tercer grado. En la siguiente figura se muestra la comparación del modelo de salida que se realizó entre las tres estimaciones y los datos tomados de la planta.

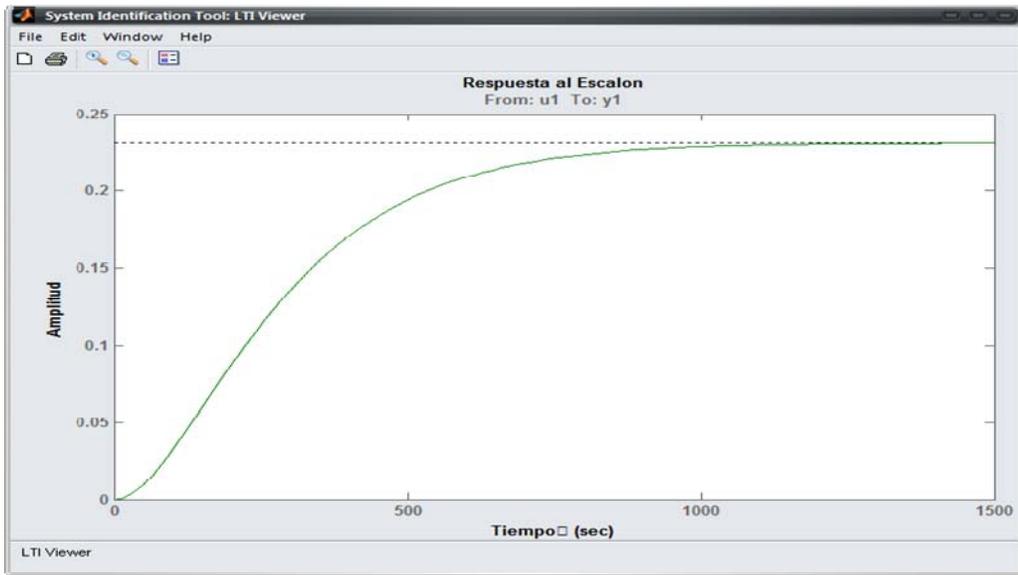


**Figura 5.33.** Comparación de los sistemas estimados con los datos experimentales.

Como se observa en la figura anterior, la estimación que mayor relación presenta con los datos tomados de la planta es la de segundo grado. La función de transferencia de segundo grado tiene como forma general la de la ecuación 5.1. Por lo tanto la función de transferencia del modelo seleccionado es la siguiente:

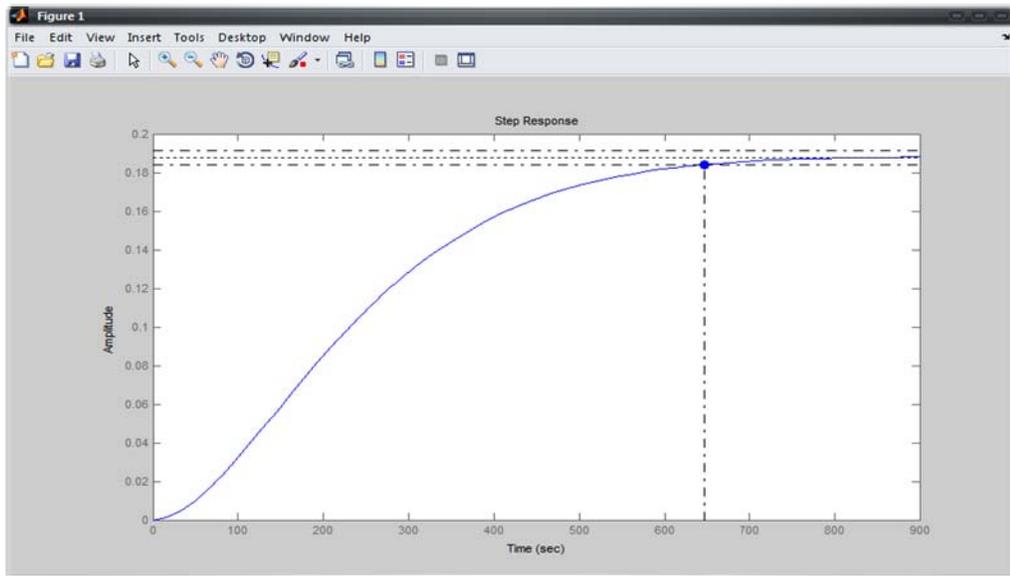
$$K_{lead} = \frac{9.997e^{-6}}{(s+0.006576)(s+0.006575)} \quad (5.10)$$

De la respuesta al escalón a lazo abierto del sistema que se muestra en la figura 5.34 se observa que el sistema tarda cerca de 900 s en estabilizarse y con un error de estado estacionario de 77%.



**Figura 5.34.** Respuesta al escalón en lazo abierto del modelo estimado de la planta.

En la respuesta al escalón lazo cerrado se puede observar que el tiempo de estabilización baja hasta los 650 segundos pero el error de estado estacionario alcanza un valor 81 %. Estas condiciones se evidencian en la siguiente figura.

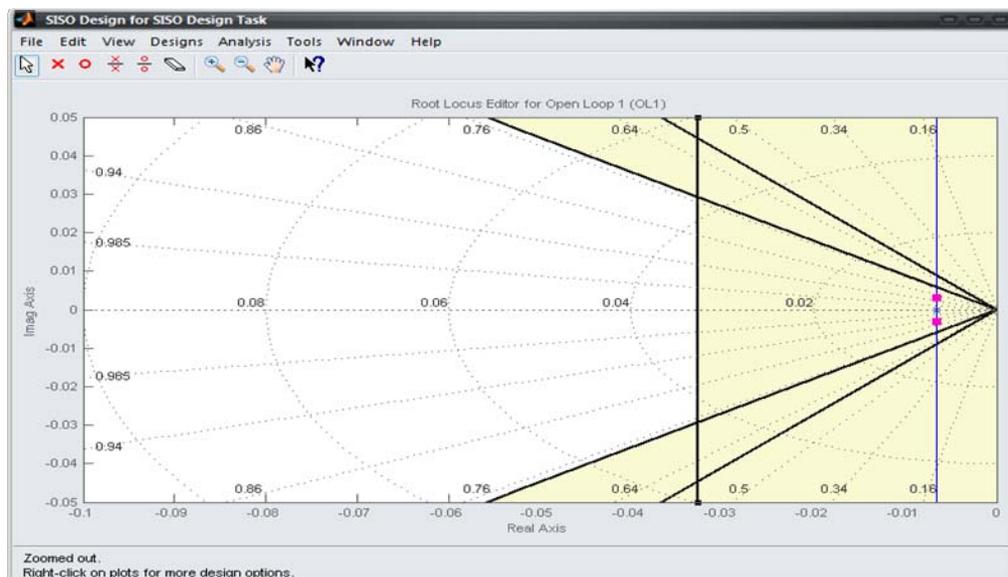


**Figura 5.35.** Respuesta al escalón a lazo cerrado del modelo estimado de la planta.

Al haber analizado y observado el comportamiento que tiene el sistema se procedió a definir las restricciones que debe de cumplir el control automático que se realice, las cuales son:

- Un tiempo de estabilización menor a 90 segundos.
- Un sobre impulso máximo de 10%.
- Error de estado estacionario igual a cero.

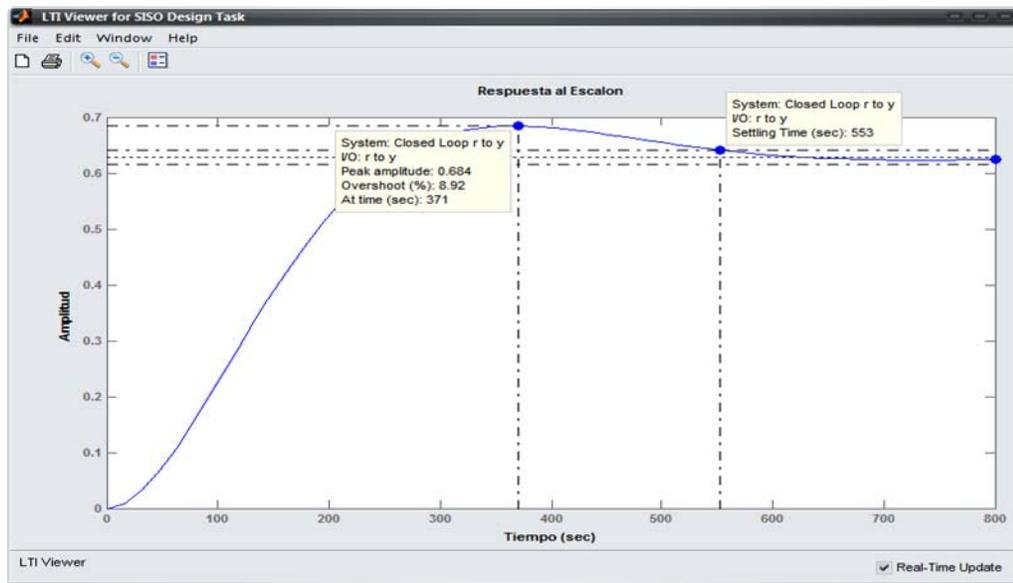
El lugar de las raíces del sistema sin compensar y las zonas en las cuales se deben de localizar los polos para que se cumpla con las restricciones del proyecto se muestran en la figura 5.36.



**Figura 5.36.** Lugar de las Raíces del sistema sin compensación.

Asimismo, en la figura anterior se observa que el lugar de las raíces del sistema actual no posee ningún punto en el cual se cumpla satisfactoriamente con las restricciones.

A manera de ejemplo en la figura 5.37 se muestra la respuesta al escalón que se obtiene al aplicar una ganancia proporcional de 7.32 al sistema, con este valor los polos del sistema se posicionan en el límite permitido para que se cumpla con la restricción del sobre impulso.



**Figura 5.37.** Respuesta al escalón del sistema con un compensador proporcional.

Como se demostró anteriormente, con la aplicación de un compensador proporcional no se logra cumplir con los requisitos propuestos, por lo cual se estudió el efecto que produce la utilización de un compensador de adelanto. Para el diseño del compensador de adelanto se utilizó la rutina “CompensadorPH” que se programó en un archivo “.m” en Matlab, que se encarga de realizar los pasos necesarios para obtener este tipo de compensador mediante el método de cancelación de polos. Lo que se le debe de definir a esta rutina es: la función de transferencia de la planta, el polo que se quiere cancelar y el punto seleccionado para los polos dominantes del sistema. Esta rutina se muestra en el Anexo A-4.

El punto que se escogió para que el sistema cumpla con las restricciones requeridas es:  $s_1 = -0.205 + j*0.169$

Introduciendo los datos necesarios a la rutina mencionada se obtuvieron los siguientes datos del compensador.

El valor del ángulo phi a agregar por el polo: 40.4214

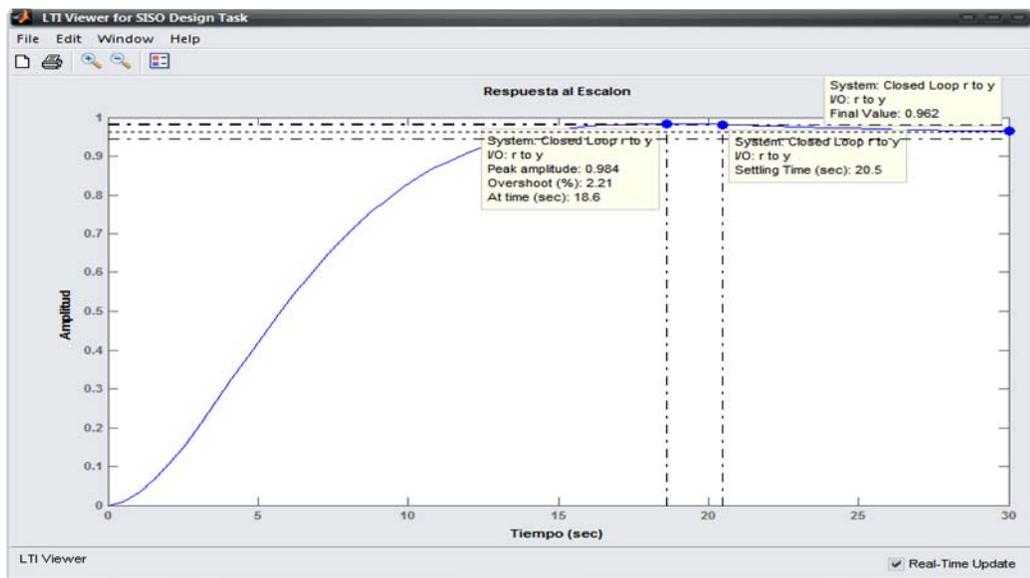
El valor del polo p0: -0.4034

El valor de la ganancia del compensador  $k_c = 6795.279$

Con el uso de la rutina mencionada anteriormente se obtuvo la función de transferencia del compensador.

$$K_{lead} = \frac{6795.27(s+0.006575)}{(s+0.4034)} \quad (5.11)$$

La respuesta al escalón que resulta una vez que se aplica el compensador de adelanto al sistema se muestra en la figura 5.38, en ella se observa que se cumple tanto la restricción de sobre impulso como la del tiempo de estabilización pero el error de estado estacionario es de aproximadamente 4%.



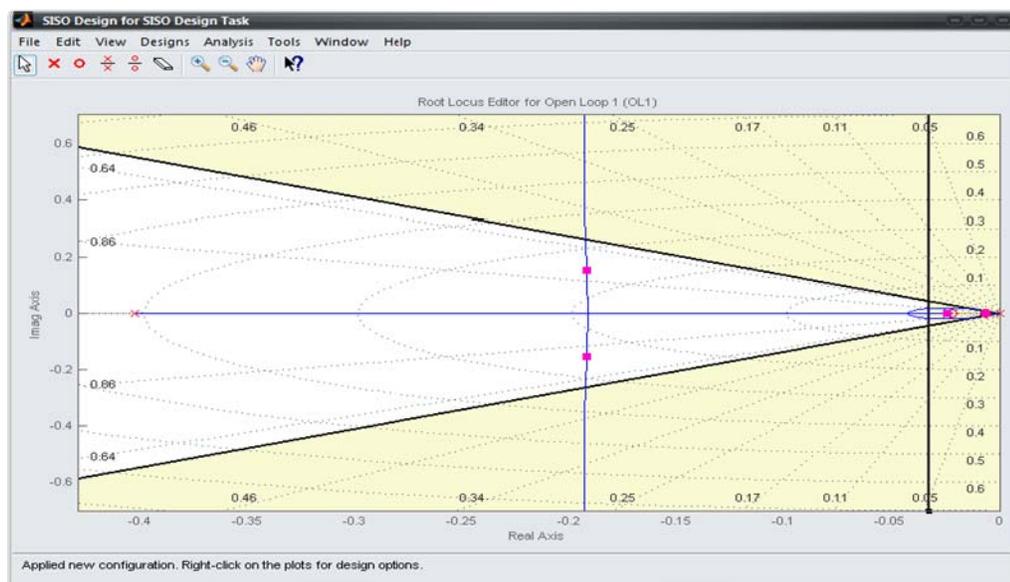
**Figura 5.38.** Respuesta al escalón del sistema con un compensador de adelanto.

Para corregir las características estáticas del sistema se debió de diseñar un compensador de atraso; una de las características de este tipo de compensador es que desplaza el lugar de las raíces hacia la derecha, la cual es una condición indeseable debido a que puede ocasionar inestabilidad.

Al igual que en el diseño del control automático de temperatura de la caja de succión el compensador de atraso presenta un polo en el origen y el cero compensador un poco a la derecha del polo de lazo abierto más cercano al eje real. La función de transferencia de este compensador es la siguiente.

$$(5.12) \quad K_{lag} = \frac{(s+0.022)}{s}$$

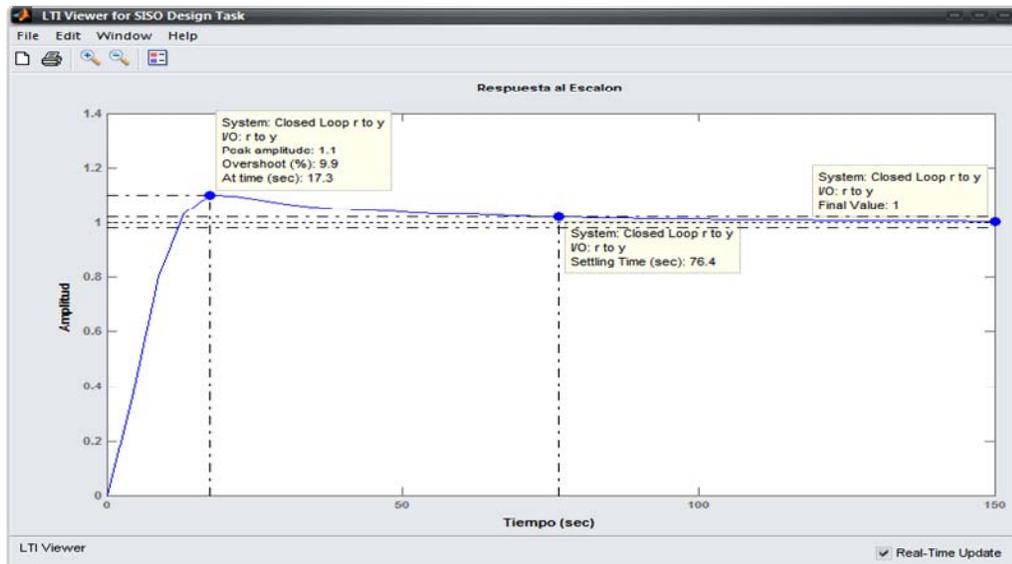
El lugar de las raíces del sistema compensado se muestra a continuación.



**Figura 5.39.** Lugar de las Raíces del sistema con un compensador de adelanto y de atraso.

Para verificar que las condiciones de diseño impuestas para este control se cumplan se graficó en la figura 5.40 la respuesta al escalón a lazo cerrado del sistema compensado. El valor final de cada uno de los requisitos es:

- El tiempo de estabilización es de 76.4 segundos.
- El sobre impulso es de 9.9 %
- El error de estado estacionario es 0.



**Figura 5.40.** Respuesta al escalón del sistema con un compensador de adelanto y de atraso.

### 5.3.2. Descripción del Hardware.

En la implementación de este control automático se cuenta con el PLC CompactLogix como controlador principal; éste cuenta con módulos de entradas y salidas analógicas instaladas.

Para este caso el actuador que modifica el valor del PH en el tanque reactor es un tornillo dosificador de cal que por medio de un variador de velocidad puede variar su velocidad de operación. El control de la velocidad de este tornillo requiere de:

- Una entrada analógica que recibe una señal de 4 a 20 mA enviada por la salida analógica\_1 del variador PowerFlex 70; esta salida del variador se configura para que envíe la velocidad, en Hz, a la que se encuentra trabajando dicho dispositivo. La polaridad de la señal se resume a continuación.

**Tabla 5.8** Polaridad de la conexión de la Salida analógica del variador PowerFlex 70.[9]

Pin Variador PowerFlex 70	Polaridad
22	Negativa
23	Positiva

- Una salida analógica que envía una señal de 4 a 20 mA que es recibida por en la entrada analógica\_1 del variador de velocidad PowerFlex 70 que se encuentra en los pines 16 y 17.

**Tabla 5.9.** Polaridad de la conexión de la Entrada Analógica del Variador PowerFlex 70. [9]

Pin Variador PowerFlex 70	Polaridad
16	Negativa
17	Positiva

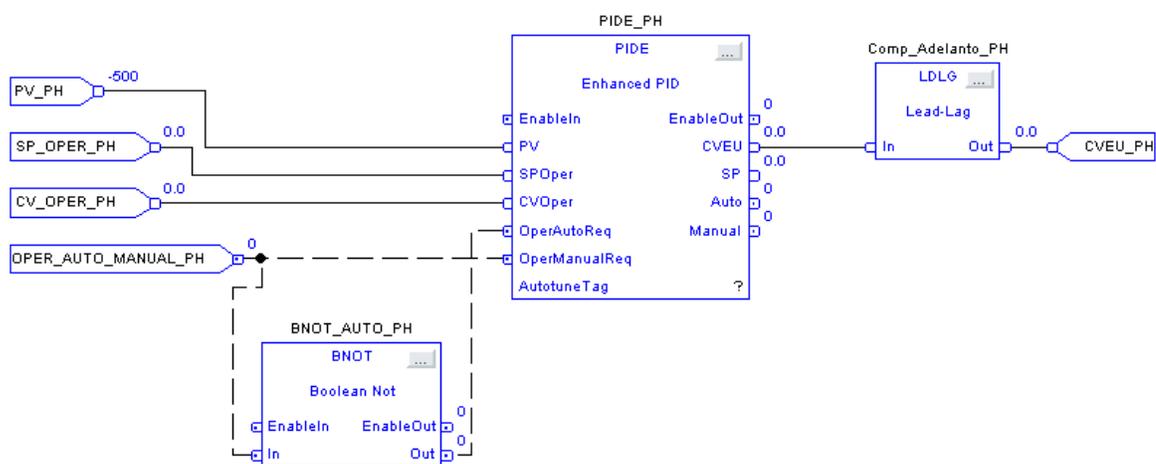
La configuración del variador de velocidad se realiza mediante el cambio de parámetros internos. Para este variador los parámetros de programación quedaron de la misma forma que los de los variadores de velocidad de los tornillos de alimentación que se muestran en las tablas 5.3 y 5.4.

Para el dispositivo que se encarga de recolectar los valores del PH del tanque reactor se seleccionó un sensor de la marca Sensorex y de la serie S8000CD que tiene un rango de operación de 0 a 14 pH. La transmisión de los datos es realizada por medio de una salida analógica de 4 a 20 mA, esta señal se conecta en el canal 4 del modulo 1769-IF8 del controlador principal. La conexión con el controlador CompactLogix se muestra en la figura A-8.1

### 5.3.3. Descripción del Software

#### 5.3.3.1. Programación de las rutinas en el RSLogix 5000.

Al igual que el control automático de la temperatura de la caja de succión se utilizó la programación por diagrama de bloques para implementar los compensadores diseñados. En la siguiente figura se puede observar la rutina creada para implementar la regulación del pH en el tanque reactor.



**Figura 5.41.** Rutina de control automático de la temperatura del pH en el Tanque Reactor.

Como se aprecia en la figura anterior esta rutina es la misma que la de la figura 5.29 por lo cual no se explicará en detalle las funciones de las variables mostradas, ya que estas se explicaron anteriormente. Lo que se varió es la programación interna de los bloques "PIDE\_PH" y "Comp\_Adelanto\_PH" ya que estos son los que ejecutan la función de compensador de atraso y de adelanto respectivamente.

### 5.3.3.2. Programación de la Interfaz en el Factory Talk View.

La manipulación de los parámetros del control automático realizado debe de ser accesible de forma fácil y rápida por lo cual se creó una pantalla en la cual se pueda tener acceso a la visualización y modificación de los siguientes valores:

- Valor de referencia del pH (Set Point), presionado el display numérico se puede introducir el valor al que se quiere mantener el pH.
- Modo de Operación, los modos en los cuales puede trabajar el control es en manual o automático. La razón de que se establezca un modo manual es por razones de seguridad ya que si el compensador presenta errores se acude a este modo y se establece un valor de operación.
- Valor del pH del Tanque Reactor, este valor es dado por el sensor colocado en la planta.

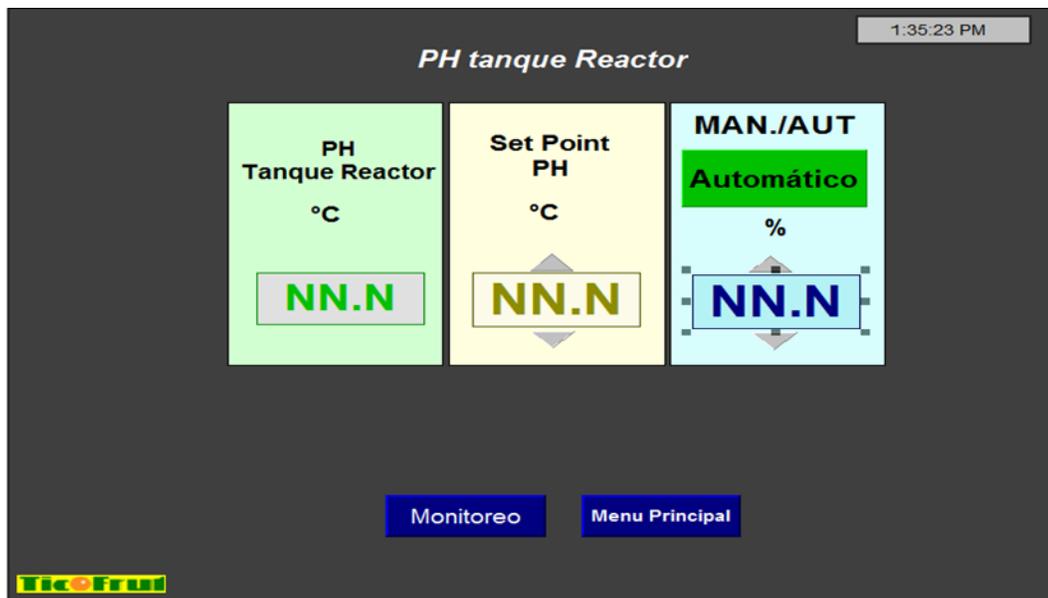


Figura 5.42. Interfaz de control para el compensador del pH en el tanque reactor.

## ***Capítulo 6: Análisis de Resultados***

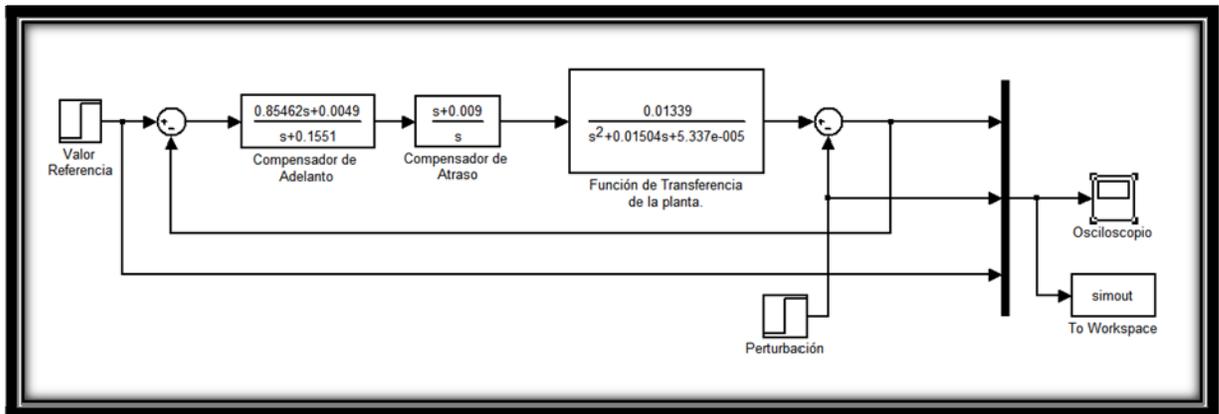
Dentro de los objetivos que se deben de cumplir para finalizar el proyecto se encuentra la implementación de un panel de control digital; este panel es de gran importancia para la empresa TicoFrut S.A ya que por medio de él se controla el sector que se encarga de bajar la humedad de la cáscara hasta el rango de operación final de 9.5% a 12.5%, por lo cual se debieron de realizar pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos que se encuentran a su cargo. Entre las pruebas que se realizaron al panel estuvieron:

- Los componentes que tienen las pantallas del panel de control se probaron uno a uno para verificar su funcionamiento; entre los componentes que se encuentran en ellas están: botones de cambio de pantalla, indicadores, animaciones, códigos de acceso entre otros.
- Se probaron los arranques y paros de de cada uno de los equipos que se muestran en las figuras 5.14 y 5.15, esto con el fin de verificar que al presionar los botones, ya sea de arranque o de paro, se estuviera cumpliendo la acción que se solicitaba.
- Luego, con la ayuda de los técnicos del departamento de Mantenimiento Eléctrico se fueron simulando situaciones de sobre-corriente en cada uno de los equipo para verificar que las señales de disparo se desplegaran en la pantalla de control.
- A los variadores de velocidad de los tornillos de alimentación se les realizaron pruebas desde la pantalla de control, en las cuales se establecieron diferentes velocidades y se corroboró que coincidieran con el valor que presenta el display del variador de velocidad.

- Para comprobar el funcionamiento de la actualización que se le realizó a la rutina de operación del secador de cáscara se realizó una prueba de funcionamiento sin cáscara en el secador, ya que no se encontraba en temporada la fruta. Esta prueba consistió en poner el equipo en marcha y una vez que se comprobó su correcto funcionamiento se apagó, ya que al operar sin cáscara se puede comprometer la integridad del secador si se mantiene en funcionamiento por un tiempo prolongado. Durante esta prueba se produjo un error que ocasionaba que la llama del secador se apagara, por lo cual se debieron de realizar ajustes en la programación para evitar que esta situación ocurriera nuevamente.
- La siguiente prueba que se realizó a esta rutina se dio una vez que la planta comenzó su operación. Mediante el uso de la computadora se siguió el proceso de arranque de los secadores para así poder determinar de una forma rápida si había algún tipo de error en su operación.

El siguiente objetivo por cumplir es el diseño de un control automático para la variable de la temperatura de la caja de succión del secador y la del pH del tanque reactor. Para verificar los diseños de estos controles se realizaron simulaciones del sistema completo utilizando la herramienta “*Simulink*” del programa Matlab; con esta herramienta se le introdujeron perturbaciones al sistema y se observó con el osciloscopio la respuesta que presentaba.

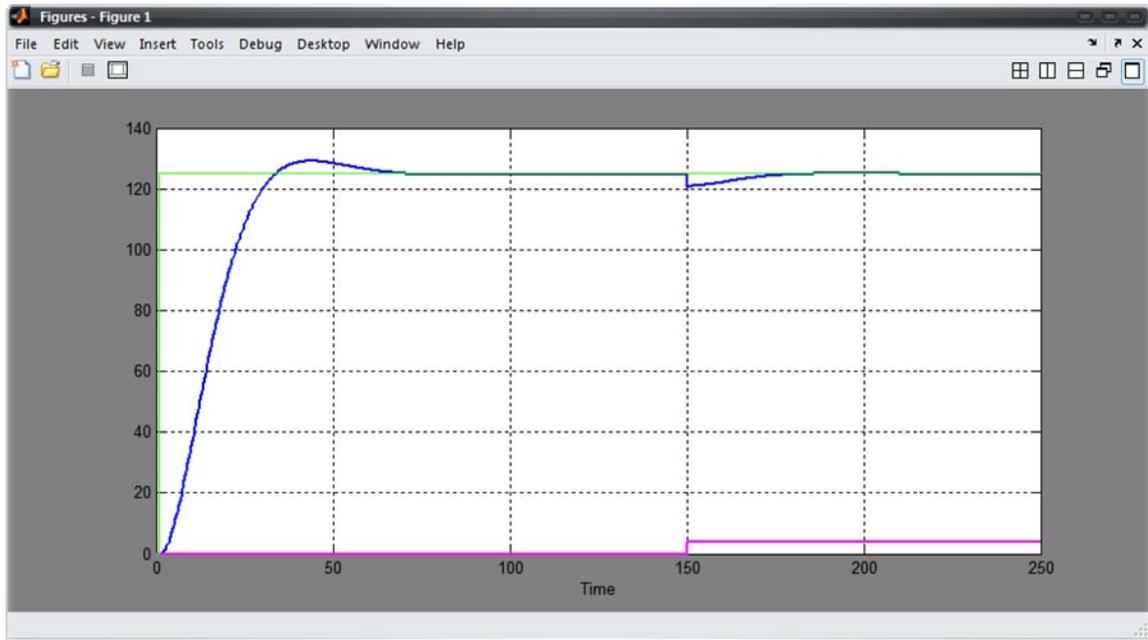
Primero se analizó el desempeño de los compensadores diseñados para el control de la temperatura; esto se realizó mediante la simulación del circuito que se muestra en la Figura 6.1, en la cual se observa que en la simulación se introdujo una perturbación con un valor de  $0.7^{\circ}\text{C}$  y en el tiempo  $t = 150$  s.



**Figura 6.1.** Circuito de simulación para el control de la temperatura.

En la Figura 6.2 se muestra la respuesta del sistema para un valor de referencia de la temperatura de la caja de succión de 125°C ante una perturbación de 0.7°C. De esta figura es posible determinar los siguientes parámetros.

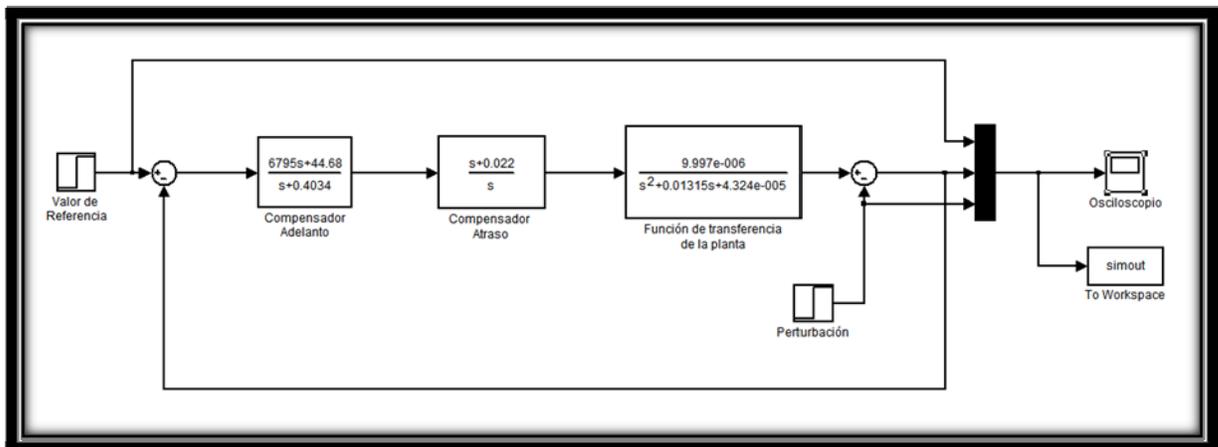
- El sobre impulso máximo que presenta el sistema con la implementación de los compensadores diseñados es aproximadamente de 3.5%, ya que el valor máximo que alcanza la respuesta es de 129.1°C.
- Además se observa que el sistema compensa la perturbación en un tiempo menor de 60s volviendo al valor de referencia que es representado en la figura por la línea roja.
- El valor final al que llega el sistema es de 124,92 lo cual representa un 0.06% de error.



**Figura 6.2.** Respuesta del sistema de Temperatura (línea azul) ante un valor de referencia de 125°C(línea verde) y una perturbación de 0.7°C(línea rosada)

Comparando los requisitos del diseño establecidos en el inicio del proyecto con los obtenidos en la simulación realizada se determina que los compensadores diseñados cumplen con las exigencias.

Luego, para comprobar el funcionamiento del control automático del pH del tanque reactor se realizó la simulación del circuito mostrado en la figura 6.3 que representa el sistema total. En esta figura se aprecian los bloques de las funciones de transferencia tanto de los compensadores diseñados como del modelo de la planta; además, se puede notar que se le añadió al sistema una perturbación; el tiempo en el cual se introdujo esta perturbación al sistema es de  $t = 200s$ .

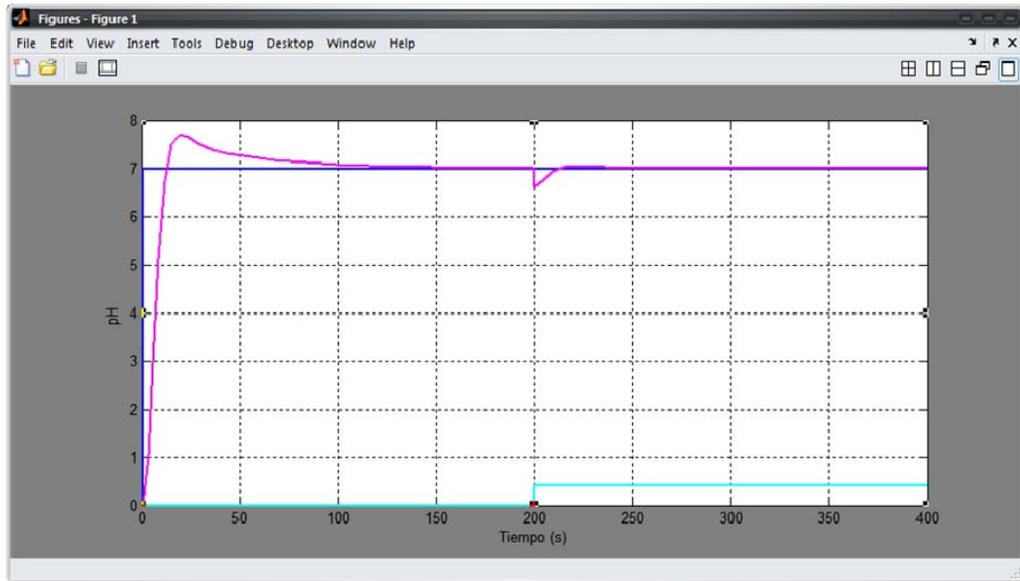


**Figura 6.3.**Circuito de simulación para el control del pH.

La respuesta que se obtuvo con esta simulación se presenta en la Figura 6.4. En ella se observa el efecto de los compensadores diseñados para corregir el efecto de la perturbación introducida a los 200 s, al sistema le toma menos de 90 s volver al valor establecido como referencia.

De esta misma figura y utilizando la opción de acercamiento proporcionada por el osciloscopio de la herramienta “Simulink” se determinaron los parámetros que se muestran a continuación.

- El sobre impulso es de un 10 % ya que el valor máximo al cual llega a respuesta es de 7,7 pH.
- El tiempo al cual el sistema se estabiliza es de 77,7s.
- Y el error de estado estacionario que se obtiene con esta estimación es de 0%.



**Figura 6.4.** Respuesta del sistema de pH (línea rosada) ante un valor de referencia de 7pH (línea azul) y una perturbación de 0.4pH (línea verde-agua).

A manera de resumen se tabularon los resultados obtenidos de los diseños utilizados para el control automático de las variables de temperatura y pH.

**Tabla 6.1.** Comparación de los valores teóricos y experimentales de los requisitos del diseño.

Parámetro	Teórico	Simulado
<b>Control de la Temperatura de la Caja de Succión.</b>		
<b>Sobre Impulso</b>	Menor al 10%	3,3%
<b>Tiempo de estabilización</b>	Menor de 60s	53,2s
<b>Error de Estacionario</b>	0%	0.06%
<b>Control del pH del Tanque Reactor.</b>		
<b>Sobre Impulso</b>	Menor al 10%	10%
<b>Tiempo de estabilización</b>	Menor de 90s	77,7s
<b>Error de Estacionario</b>	0%	0%

## ***Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones***

### ***7.1. Conclusiones***

- La actualización de las rutinas que se encargan de la operación del secador se cumplió de forma satisfactoria lo cual se demostró mediante pruebas realizadas antes de que la planta entrara en funcionamiento.
- La estimación del modelo de la temperatura de la caja de succión del secador seleccionada presenta una similitud de 92% con los datos experimentales de la planta, dando un porcentaje de error de 8% lo cual es un error aceptable en la estimación.
- Mediante el uso de compensadores de adelanto y atraso se cumplieron las exigencias del control automático tanto de la temperatura de la caja de succión como del pH del tanque reactor; esto se evidenció en las simulaciones presentadas.
- La estimación del modelo del pH del tanque reactor seleccionada presenta una similitud de 82% con respecto a los datos experimentales de la planta; este grado de similitud fue el mayor grado obtenido por medio de la herramienta de estimación de modelos.

## **7.2. Recomendaciones**

- En el proyecto desarrollado se realizó la implementación de los paneles encargados de manejar el proceso de secado; estos paneles son una parte del cuarto de control de la planta de pellets. Se recomienda la sustitución del panel de control que se encarga de controlar los demás equipos de la planta para que ofrezca mayor comodidad para los operadores de la planta, debido a que en un espacio reducido pueden manejar todos los equipos del proceso.
- Otra de las recomendaciones es la implementación de los controles automáticos diseñado en el proyecto, ya que con estos controles se mejoran las condiciones del control de calidad del producto.

## ***Bibliografía***

[1] Problema de control On-Off.

[http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/on\\_off.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/on_off.pdf)

[2] [2000]. Diseño de sistemas de control en tiempo continuo y discreto.

<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EE00303M.pdf>

[3] Mazzone V. [2002]. Controladores PID. Universidad Nacional de Quilmes

<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>

[4] National Instruments. [2009]. Medir Temperatura con un RTD o Termistor

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9336>

[5] Que són y cómo funcionan las termocuplas.

[http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo\\_03/termocuplas.pdf](http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_03/termocuplas.pdf)

[6] Autor Desconocido. Lenguaje de programación ladder.

[http://grupos.emagister.com/documento/lenguaje\\_de\\_programacion\\_ladder/1419-96327](http://grupos.emagister.com/documento/lenguaje_de_programacion_ladder/1419-96327)

[7] Rockwell Automation. Programmable Automation Controllers CompactLogix System

<http://www.ab.com/programmablecontrol/pac/compactlogix/controller.html>

[8] Rockwell Software. Sepecifications PanelView Plus Terminals.

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/1239781/1670480/1670482/tab6.html>

[9] Rockwell Software. [2005]. Variador de Velocidad de CA PowerFlex 70. Publicación 20A-QS001E-ESP

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/20a-qs001\\_es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/20a-qs001_es-p.pdf)

[10] Rockwell Software. [2004] Instrucciones de instalación Controlador CompactLogix™ 1769-L32E, -L35E, Publicación 1769-IN020B-ESP.

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in020\\_es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in020_es-p.pdf)

## ***Apéndices y anexos***

### **Apéndices.**

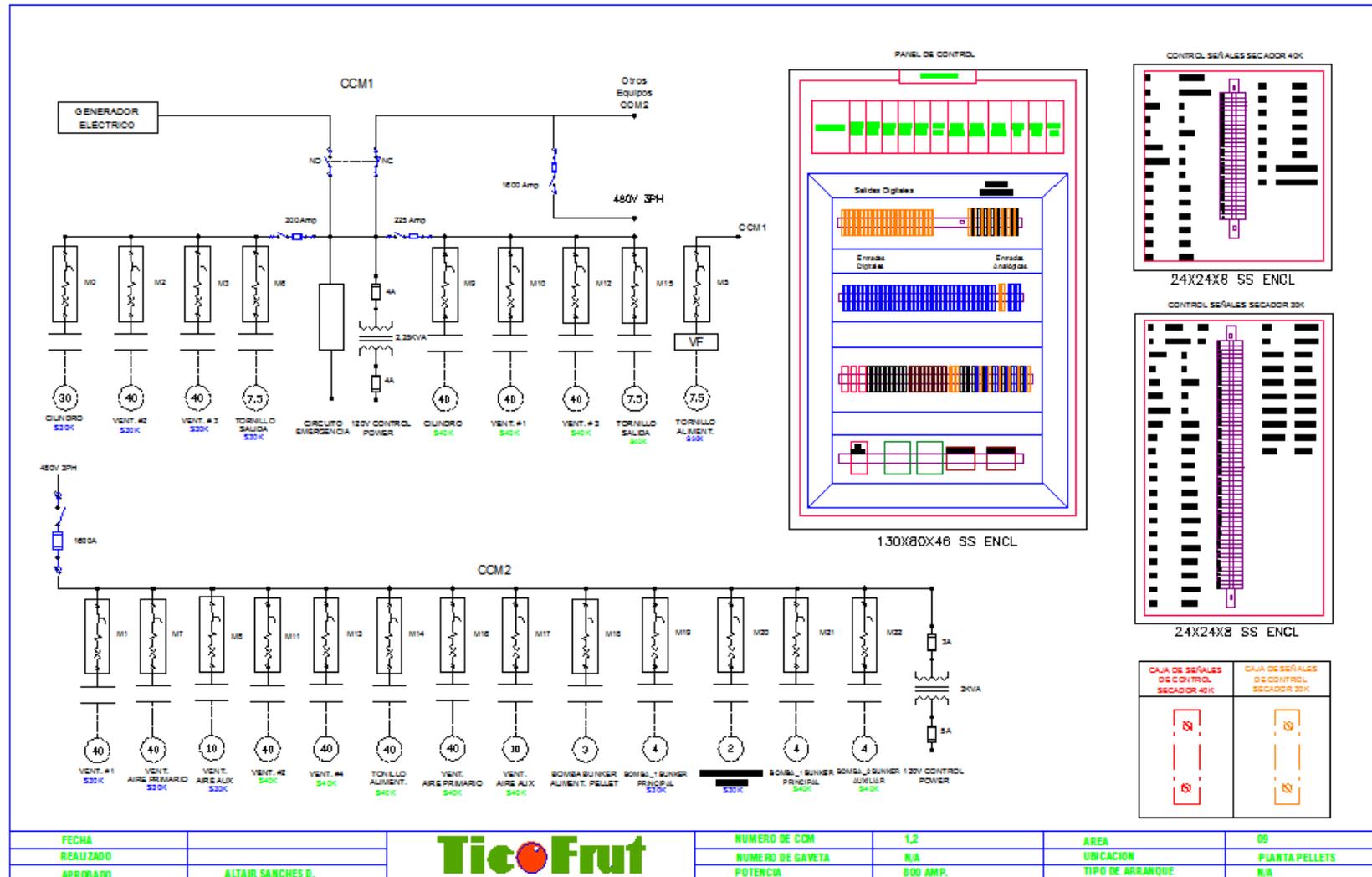
#### ***A-1 Glosario, abreviaturas y simbología.***

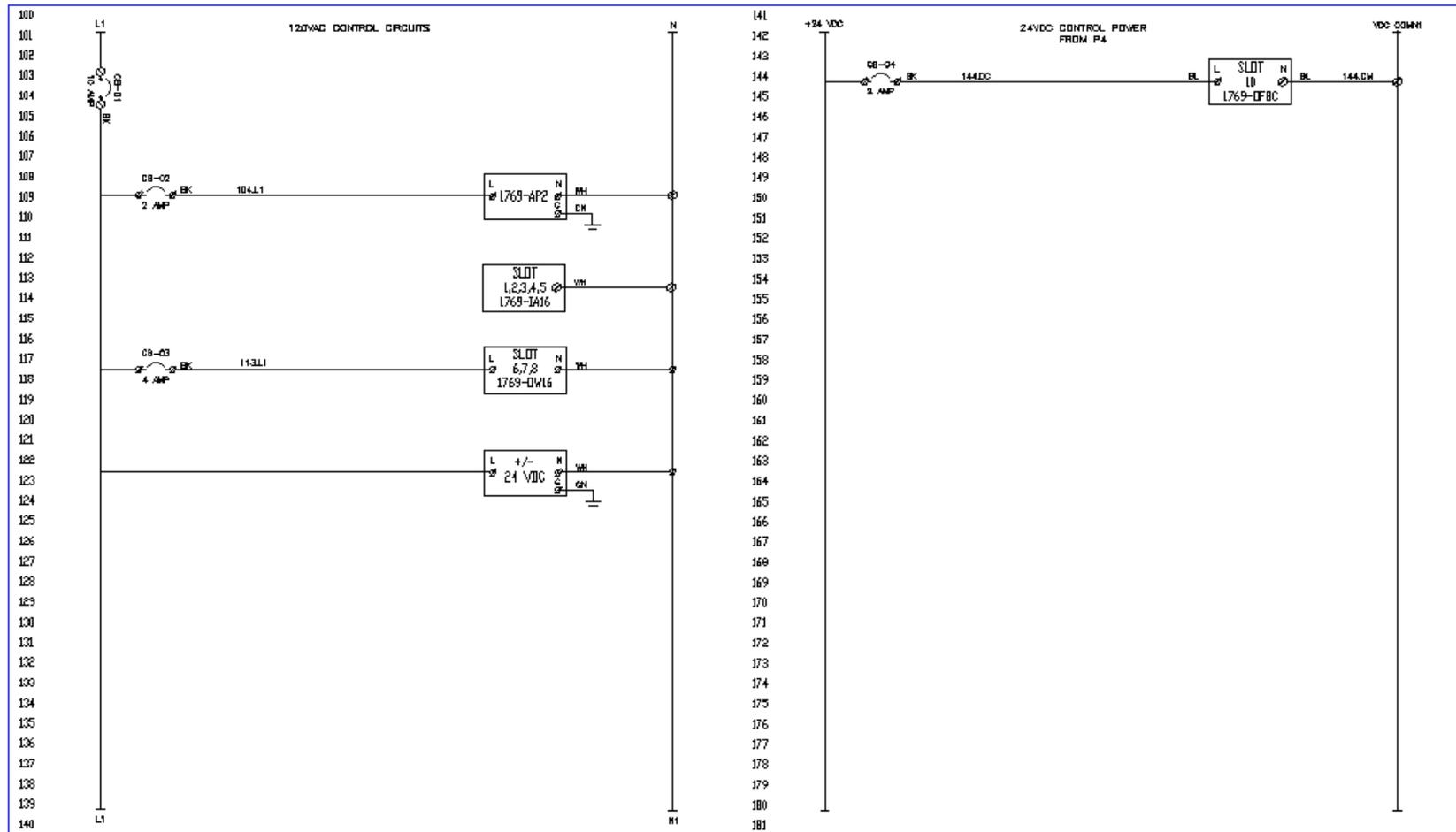
- **PID:** control proporcional integral derivativo.
- **PLC:** Controlador lógico programable.
- **PowerFlex 70:** Serie de variadores de frecuencia de Allen Bradley.
- **Pellet.:** Pequeñas porciones de un material comprimido.



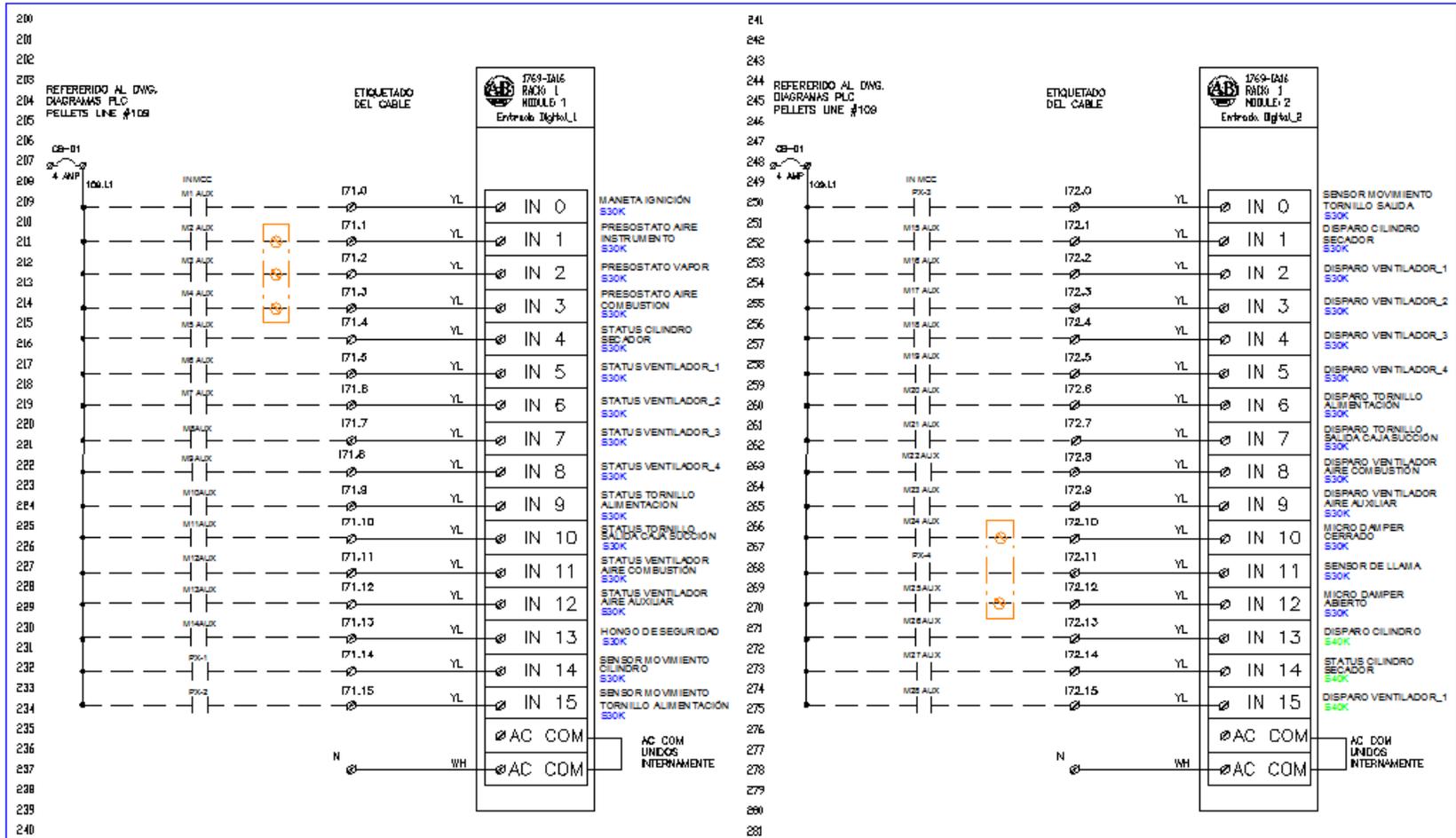
- **Bunker.:** Este es un combustible que tiene un bajo precio y es obtenido como residuo de la destilación y refinación de los hidrocarburos.
- **Set Point.:** Punto de operación deseado de una variable.
- **HMI.:** Interfaz Humano Máquina, las siglas provienen del inglés Human Machine Interface.
- **Psi.:** Una unidad de presión que equivale a 1 libra por pulgada cuadrada, sus siglas provienen del inglés Pounds per Square Inch.
- **Tag.:** Nombre de la variable creada en el PLC.
- **Peletizado.:** Proceso mediante el cual se da forma de concentrado granular a los residuos de la cáscara de la naranja.

## A-2. Plano de las conexiones realizadas a los módulos de entradas y salidas del CompactLogix.

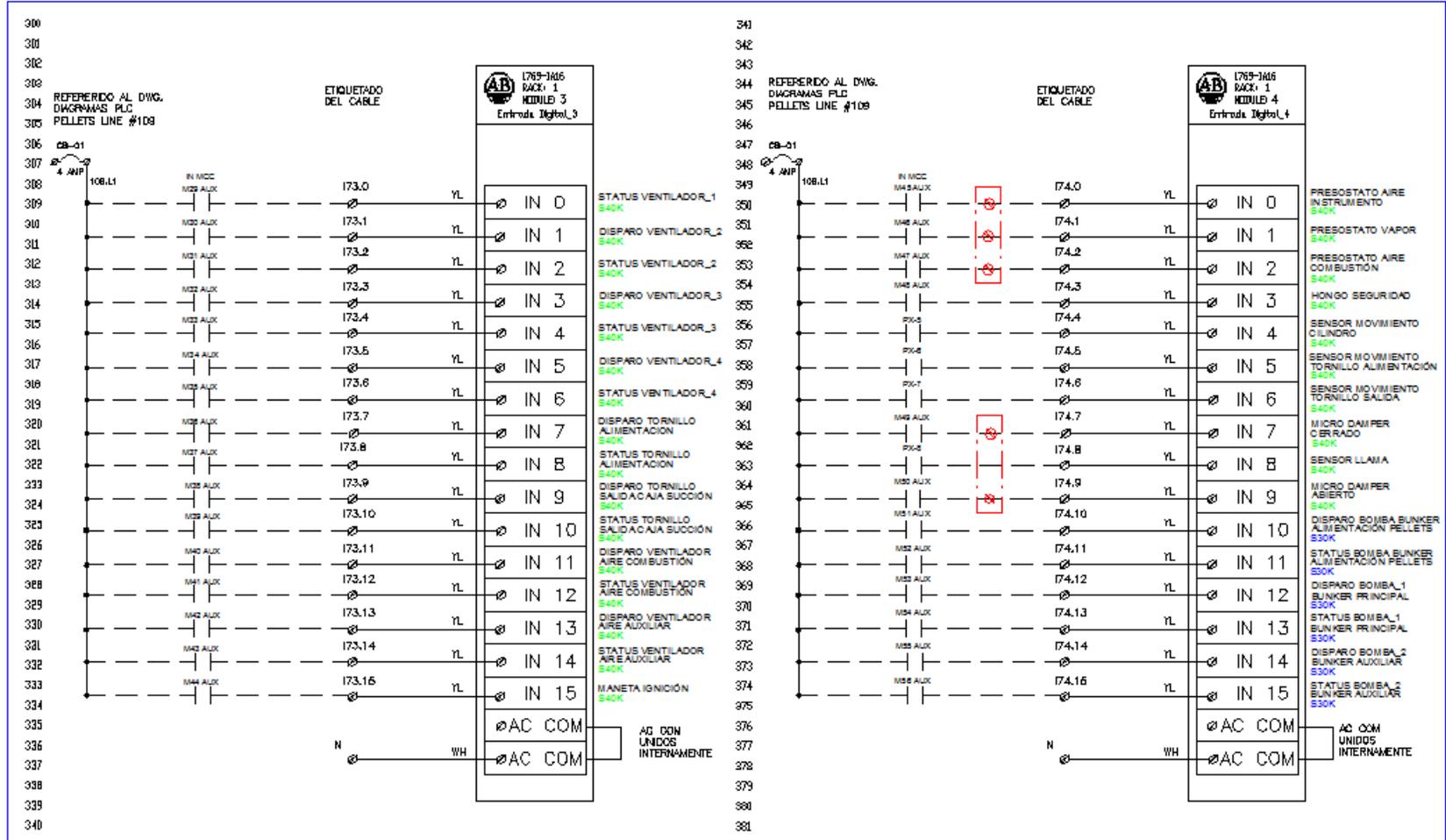




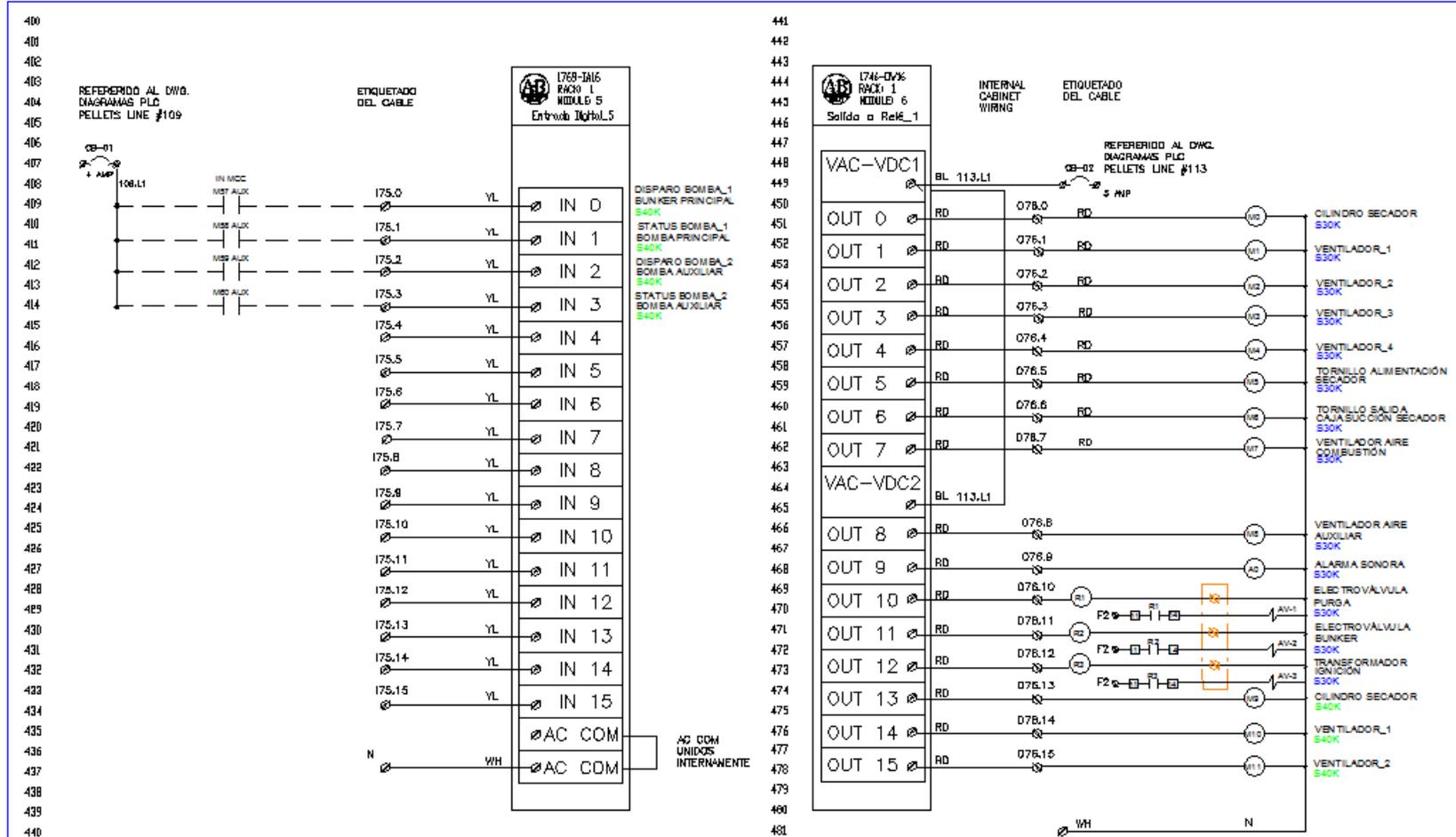
FECHA		<b>TicoFruit</b>	NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAIR SANCHEZ D.		POTENCIA	600 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A



FECHA		<b>TicoFru</b>	NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAIR SANCHES D.		POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

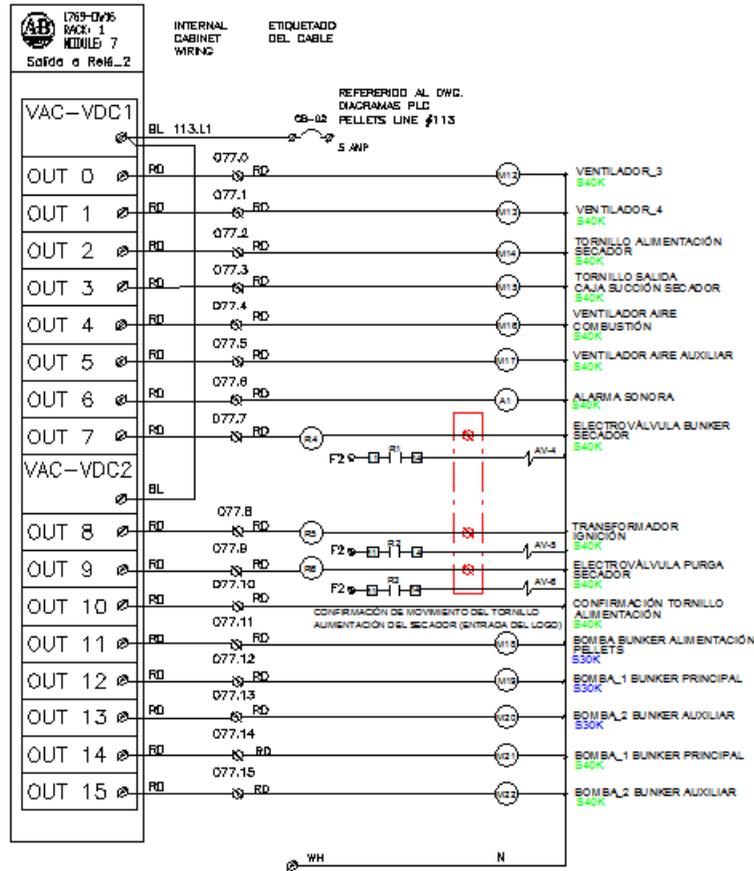


FECHA		<b>TicoFrut</b>	NUMERO DE COM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAIR SANCHES D.		POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

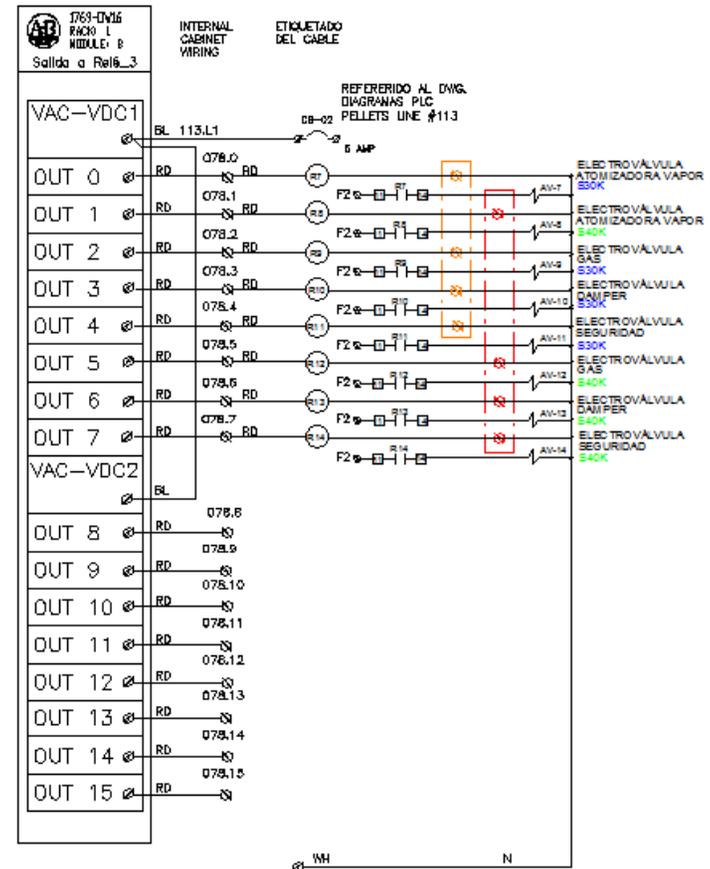


FECHA		<b>TicoFrut</b>	NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAIR SANCHES D.		POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

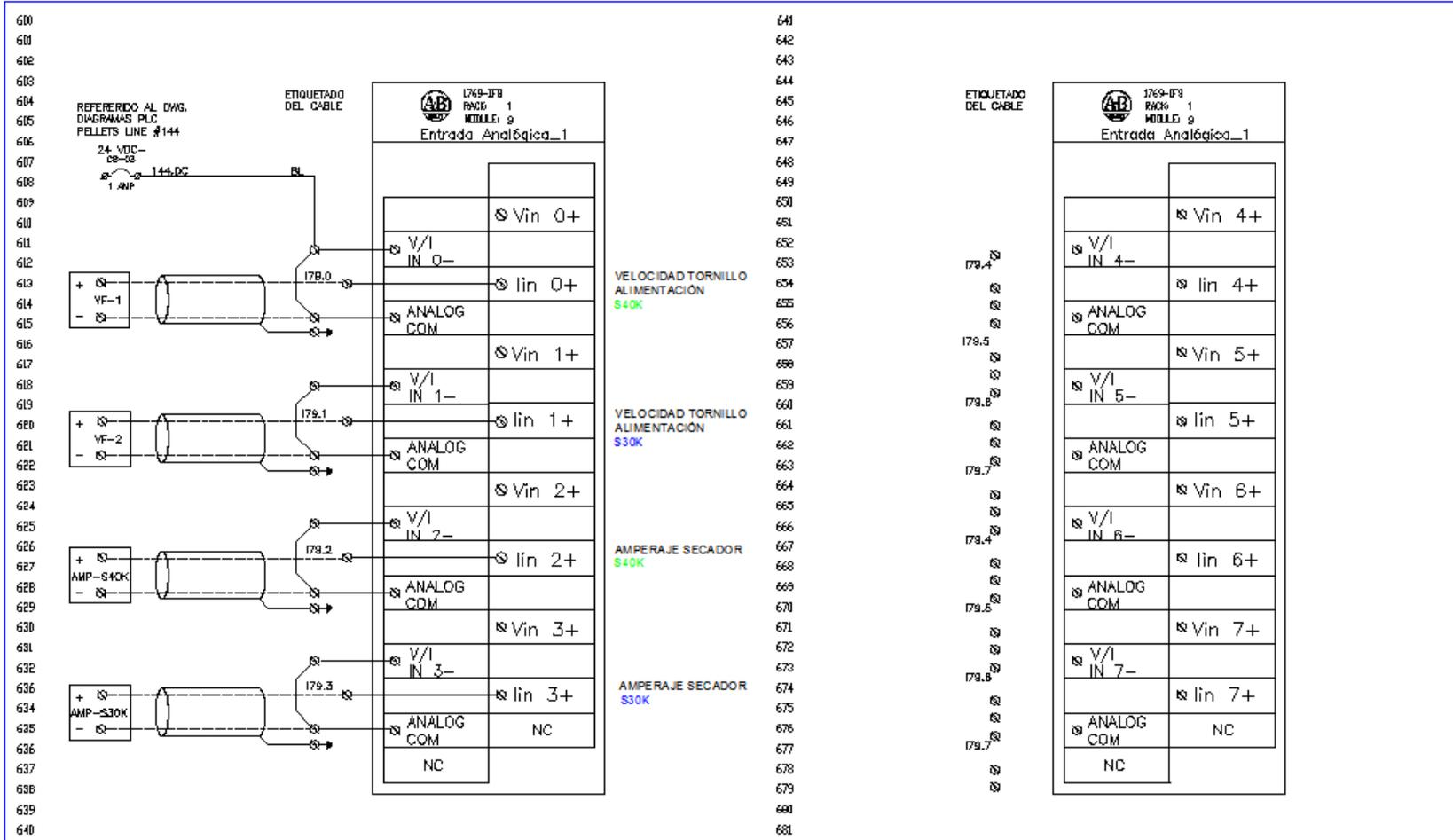
500  
501  
502  
503  
504  
505  
506  
507  
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514  
515  
516  
517  
518  
519  
520  
521  
522  
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529  
530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538  
539  
540



541  
542  
543  
544  
545  
546  
547  
548  
549  
550  
551  
552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581

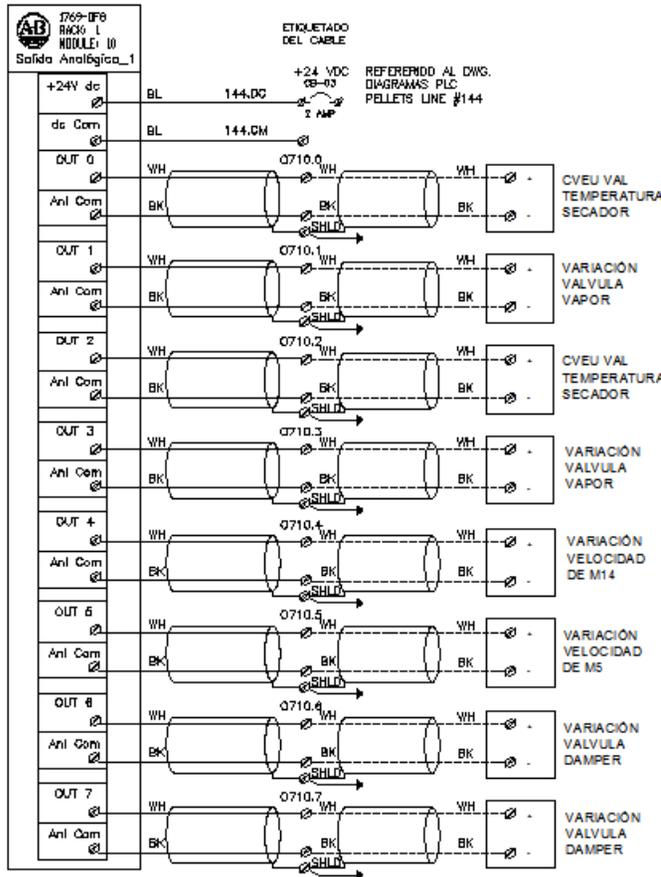


FECHA		<b>TicFrut</b>	NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAIR SANCHES D.		POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

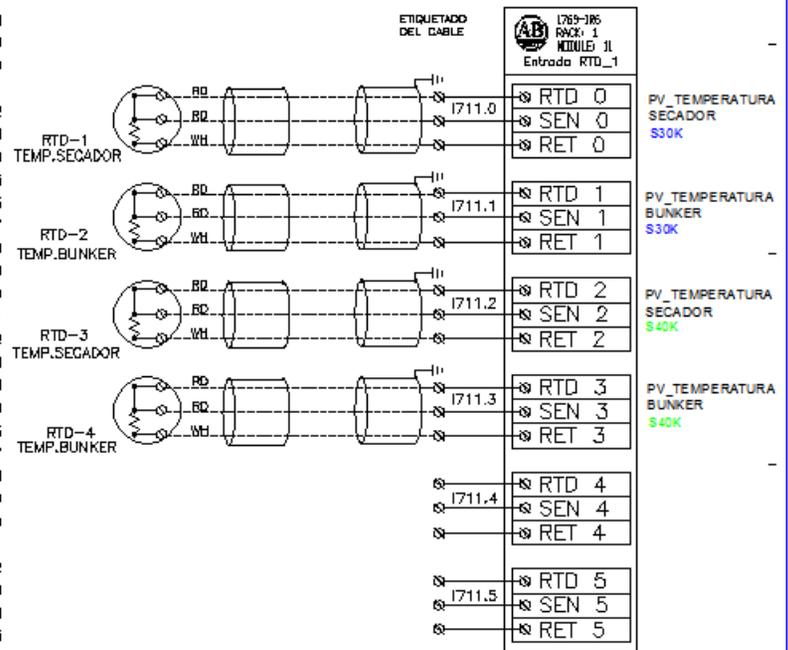


FECHA		<b>TicoFrut</b>	NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
REALIZADO			NUMERO DE GAVE TA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
APROBADO	ALTAR SANCHES D.		POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

700  
701  
702  
703  
704  
705  
706  
707  
708  
709  
710  
711  
712  
713  
714  
715  
716  
717  
718  
719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727  
728  
729  
730  
731  
732  
733  
734  
735  
736  
737  
738  
739  
740



741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764  
765  
766  
767  
768  
769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781



FECHA	
REALIZADO	
APROBADO	ALTAIR SANCHES D.



NUMERO DE CCM	1,2	AREA	09
NUMERO DE GAVETA	N/A	UBICACION	PLANTA PELLETS
POTENCIA	800 AMP.	TIPO DE ARRANQUE	N/A

### A-3. Archivo.m de Matlab “CompensadorTemp”

```
%Funcion de transferencia directa de la planta
clear all; clc;close all;
s=tf('s')
Gs = 0.01339/((s+0.009313)*(s+0.005731))

% Condiciones de Sobre Impulso.
M_1 = 0.03
M_2 = 0.10

chi_1 = sqrt (((log(M_1)/pi)^2)/(1+(log(M_1)/pi)^2))
chi_2 = sqrt (((log(M_2)/pi)^2)/(1+(log(M_2)/pi)^2))

% Grafico raices
step(Gs)
figure
rlocus(Gs)
axis([-5 0 -5 5])
sgrid([0.59 0.74],[1 2 3 4])

s1=-0.0822+j*0.0783           % Punto seleccionado para un tiempo de estabilizacion
                              % menor de 60s y Mp < 10%

% Metodo de Cancelación de Polos.
z0 = -0.005731               % Polo a cancelar
gamma = angle(evalfr(Gs*(s-z0),s1));
phi = min(abs([pi+gamma -pi+gamma]));
p0 = real(s1) - imag(s1)/tan(phi);
disp('El valor del polo p0: ');disp(p0)

klead = (s-z0)/(s-p0);
kc = 1/abs(evalfr(klead*Gs,s1))
klead_final = kc*klead;
disp('Compensador de adelanto resultante es: ');disp(klead_final)
zlead_zpk = zpk(klead_final)

klag = (s+0.0090)/(s)

Ktotal = klead_final*klag
step(feedback(Gs*Ktotal,1))
```

#### A-4. Archivo.m de Matlab “CompensadorPH”

```
%Funcion de transferencia directa de la planta
clear all; clc;close all;
s=tf('s');

Gs= 9.9971e-006/((s+0.006576)*(s+0.006575))
% Condiciones de Sobre Impulso.
M_1 = 0.03
M_2 = 0.10

chi_1 = sqrt (((log(M_1)/pi)^2)/(1+(log(M_1)/pi)^2))
chi_2 = sqrt (((log(M_2)/pi)^2)/(1+(log(M_2)/pi)^2))

%Grafico raíces

step(Gs)

s1=-0.205+j*0.169    % Punto seleccionado para un tiempo de
                    % estabilización menor de 90s y Mp < 10

%Evaluacion de la funcion para encontrar el angulo de la planta en s1
% Metodo de Cancelación de Polos.

z0 = -0.006575
gamma = angle(evalfr(Gs*(s-z0),s1));
disp('La evaluación de la condición de fase produce el valor de gama: ');disp(rad2deg(gamma))
phi = min(abs([pi+gamma -pi+gamma]));
disp('El valor del ángulo fip0 a agregar por el polo: ');disp(rad2deg(phi))
p0 = real(s1) - imag(s1)/tan(phi);
disp('El valor del polo p0: ');disp(p0)
klead = (s-z0)/(s-p0);
kc = 1/abs(evalfr(klead*Gs,s1))
klead_final = kc*klead;
disp('Compensador de adelanto resultante es: ');disp(klead_final)
zlead_zpk = zpk(klead_final)

klag = (s+0.022)/(s)

Ktotal = klead_final*klag
step(feedback(Gs*klead_final*klag,1))
```

## **A-5. Manual de Usuario.**

### **A-5.1 Configuraciones del CompactLogix 5332E y el Panel View Plus CE**

- i. Asignar dirección IP al controlador CompactLogix 5332E (1769-L32E) y al Panel View Plus CE 1250.**

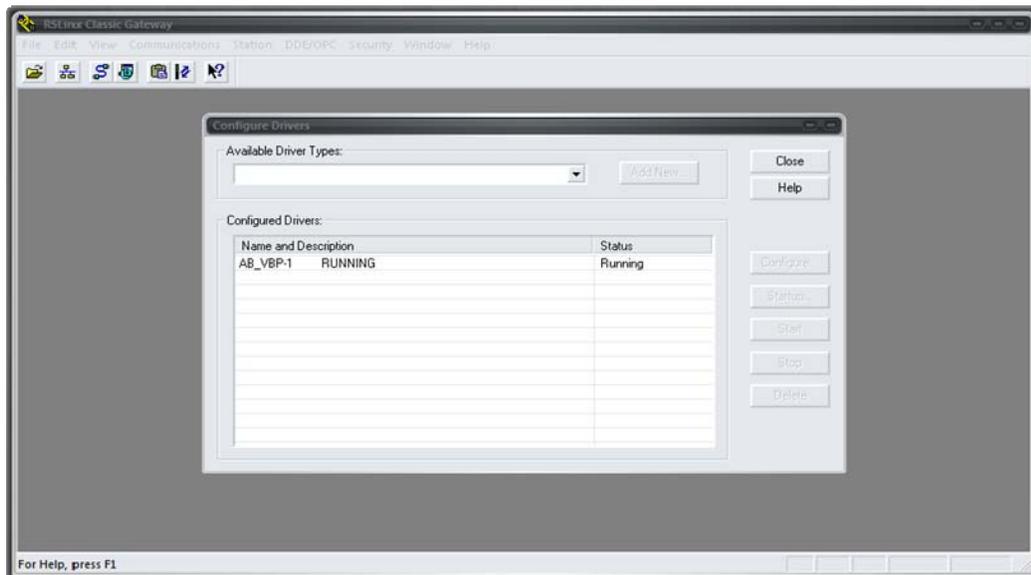
Para realizar esta tarea existen tres diferentes programas: el RSLinx 5000, el RSLinx Classic y el Rockwell BOOTP Utility. Para este proyecto se asignó la dirección IP del controlador por medio del programa RSLinx Classic. Para establecer el IP del controlador con el programa seleccionado se deben de seguir los pasos que se explican a continuación.

1. Realizar la conexión del cable de conexión entre la computadora y el controlador CompactLogix 5332E (1769-L32E).
2. Iniciar el programa RSLinx Classic y presionar el botón RSWho; esto se realiza para desplegar la red Ethernet.
3. Una vez que se tiene acceso a la red, seleccionar el puerto Ethernet del controlador dentro de los dispositivos presentes en la red y dando click derecho buscar la opción "Module Configuration".
4. En la ventana de configuración se accede a la pestaña "Port Configuration". En esta pestaña es donde se ingresa la dirección IP, la máscara de la red, la dirección de salida del Gateway).

- ii. **Establecer comunicación entre el controlador CompactLogix 5332E (1769-L32E), el Panel View CE 700 y la computadora.**

La comunicación entre los dispositivos se realizó por medio del programa RSLinx Classic, ya que éste es el que se encarga tanto de configurar los drivers como de ligar las direcciones IP de los dispositivos con la computadora. Para establecer esta comunicación se realizaron los pasos que se explican a continuación.

1. Primeramente se debe de acceder al programa RSLinx Classic.
2. Una vez en el programa se busca en la pestaña de “Communications” el apartado de “Configure Drivers”.
3. Luego se busca en la pestaña “Available Driver Types” el driver “Ethernet Devices”; esto se hace con la finalidad de instalar los drivers necesarios para que la comunicación entre los dispositivos se pueda realizar por medio de Ethernet.



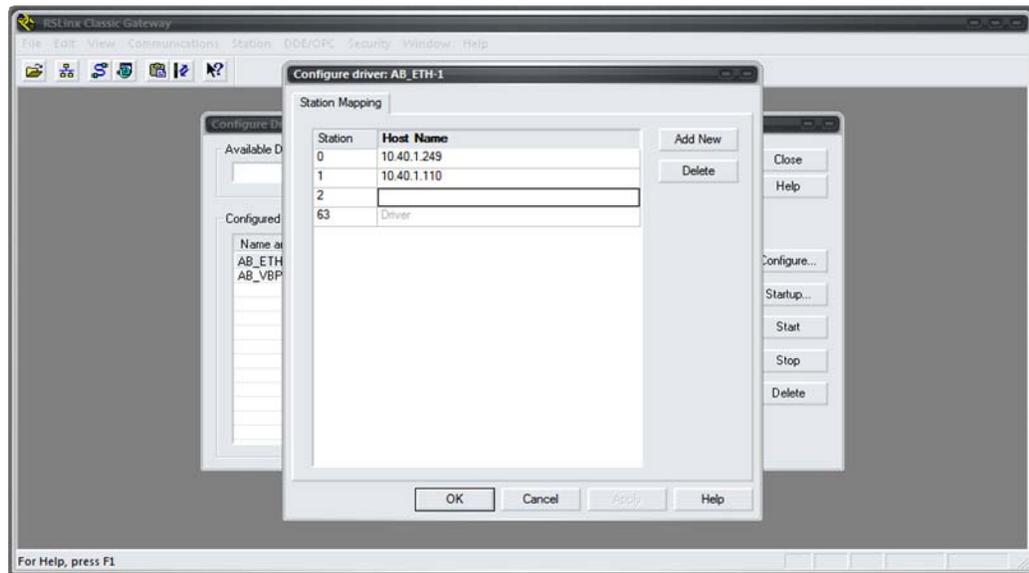
**Figura A-5.1.** Instalación de los drivers Ethernet.

4. Ya que se encuentran los drivers instalados se procede a configurar el driver; esto se realiza añadiendo las direcciones IP de los dispositivos a los cuales se quiere acceder. Para este proyecto se definieron las siguientes direcciones IP.

**Tabla A-5.1.** Direcciones IP de los dispositivos.

Dispositivo	Dirección IP
<b>Panel View CE 700</b>	10.40.1.110
<b>Computadora</b>	10.40.1.135
<b>CompactLogix 5332E</b>	10.40.1.249

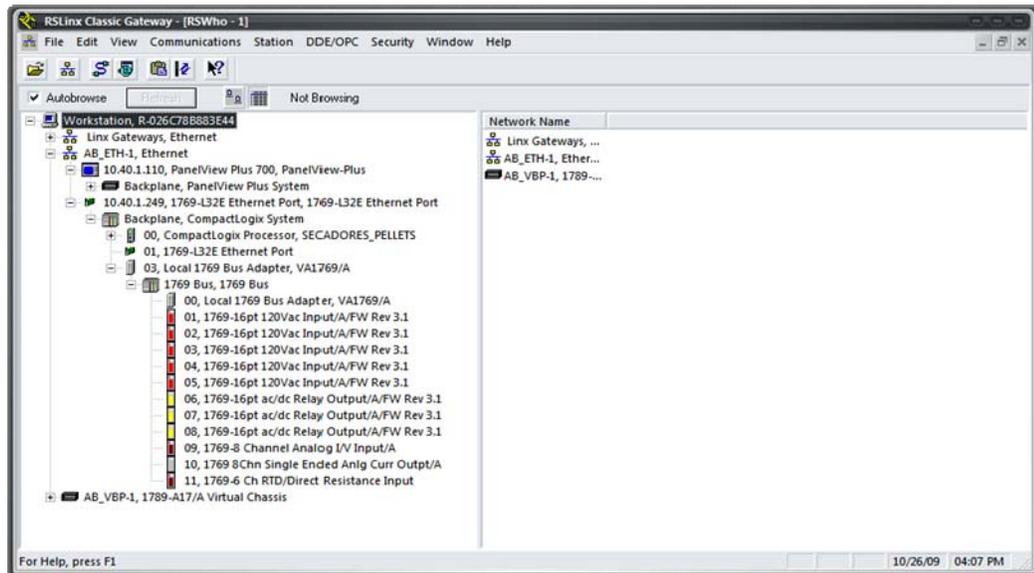
La pantalla resultante una vez que se configura el driver de Ethernet con las direcciones IP de los dispositivos se presenta a continuación.



**Figura A-5.2.** Configuración del driver Ethernet.

5. Para terminar, se debe de comprobar que se dé efectivamente la comunicación entre los dispositivos agregados, para lo cual se debe de volver a la pantalla inicial del RSLinx Classic y presionar el botón RSWho, que muestra las conexiones que están habilitadas por medio del puerto Ethernet.

- Si la configuración se da de manera exitosa en la pantalla del programa se observan los equipos que se encuentran enlazados así como los diferentes módulos añadidos a cada uno de ellos.



**Figura A-5.3.** Dispositivos comunicados por medio puerto Ethernet.

En la figura anterior se puede observar que los equipos que se configuraron en el paso anterior son detectados en la red Ethernet, así como los módulos añadidos a cada uno de estos, por ejemplo el módulo de entradas digitales 1769-IA16 o el módulo de salidas analógicas 1769-OF8.

De haber algún error en la comunicación en el software se observa cual equipo es el que presenta problemas. A continuación se presenta el ejemplo cuando el Panel View Plus 700 no es detectado por el sistema.

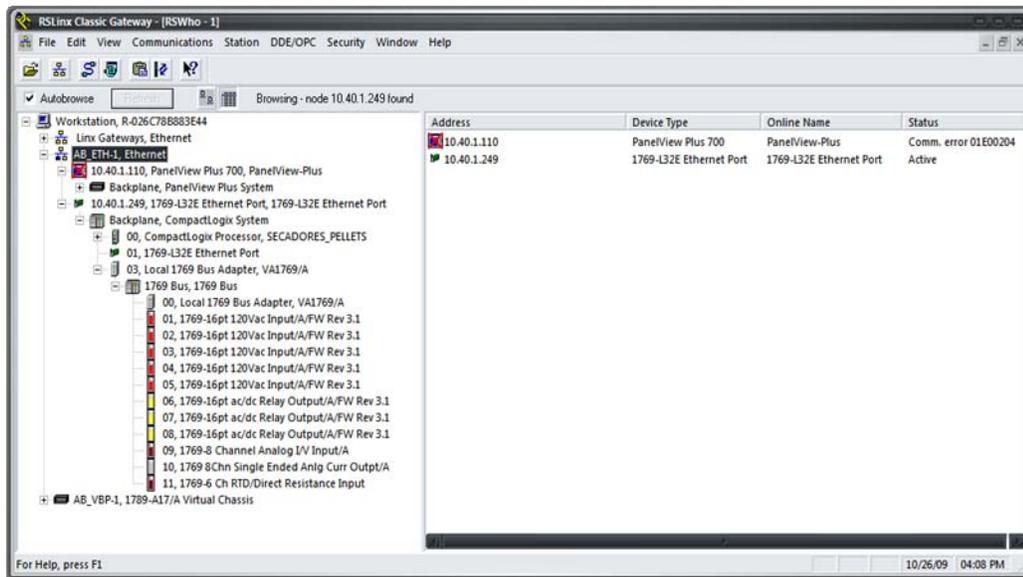


Figura A-5.4. Error en la comunicación con Panel View Plus 700.

## A-6. Equipos del proceso de Secado de la Cáscara.

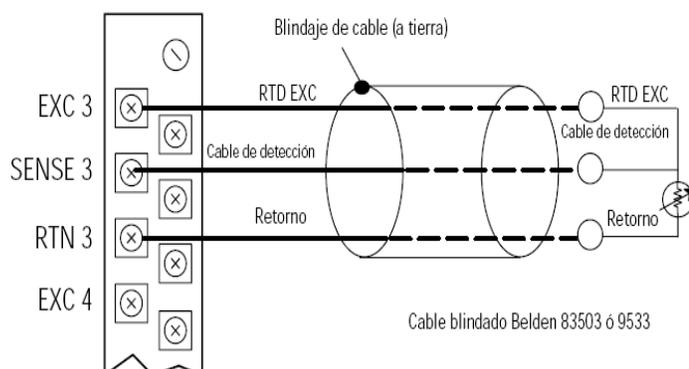
En la siguiente tabla se muestran los equipos que intervienen en el proceso de secado de la cáscara en la planta de “Pellets”.

**Tabla A-6.1.** Equipos del proceso de Secado de la Cáscara.

Secador 30k	Secador 40K
Tornillo Salida Secador	Tornillo Salida Secador
Tornillo Alimentación Secador	Tornillo Alimentación Secador
Ventilador #1 Caja Succión.	Ventilador #1 Caja Succión.
Ventilador #2 Caja Succión.	Ventilador #2 Caja Succión.
Ventilador #3 Caja Succión.	Ventilador #3 Caja Succión.
Ventilador #4 Caja Succión.	Ventilador #4 Caja Succión.
Cilindro Secador	Cilindro Secador
Ventilador Aire Primario	Ventilador Aire Primario
Ventilador Auxiliar	Ventilador Auxiliar
Ventilador Auxiliar	Ventilador Auxiliar
Bomba Bunker Alimentación Pellets.	Bomba Bunker Principal
Bomba Bunker Principal	Bomba Bunker Auxiliar.
Bomba Bunker Auxiliar.	

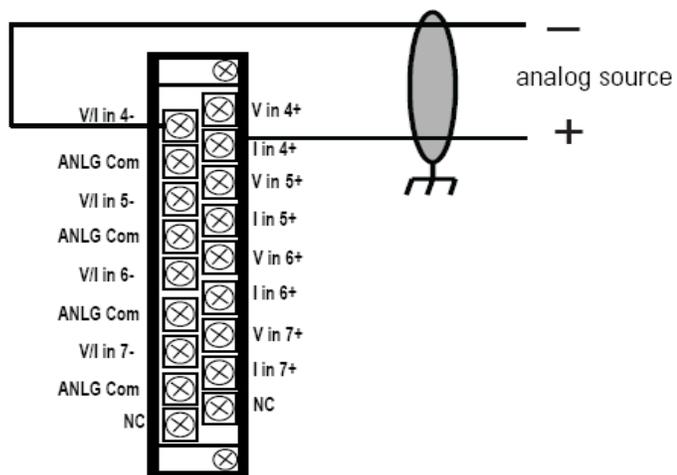
## A-7. Conexión RTD de tres hilos al Módulo 1769-IR6 del controlador CompactLogix.

*Configuración RTD de 3 cables*



**Figura A-7.1.** Conexión de la RTD con el Módulo 1769-IR6 del CompactLogix.[10]

## A-8. Conexión del sensor de pH al Módulo 1769-IF8 del controlador CompactLogix.



**Figura A-8.1.** Conexión del Sensor de pH al modulo 1769-IF8 del CompactLogix.

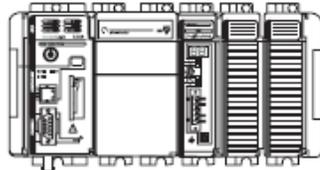
## Anexos.

### Anexo 1. Descripción Técnica del controlador CompactLogix 1769-L32.

#### Instalación del hardware

**Consulte:**

- 11769-L31 CompactLogix Controller Installation Instructions, publicación 1769-IN069
- 1769-L32C, -L35CR CompactLogix Controllers Installation Instructions, publicación 1769-IN070
- 1769-L32E, -L35E CompactLogix Controllers Installation Instructions, publicación 1769-IN020



Para instalar un controlador CompactLogix, siga estos pasos:

✓	Paso de instalación:
<input type="checkbox"/> 1.	Establezca la dirección de nodo (controladores 1769-L32C y 1769-L35CR solamente)
<input type="checkbox"/> 2.	Conecte la batería  Consulte el Capítulo 9 "Mantenimiento de la batería"
<input type="checkbox"/> 3.	Instale una tarjeta 1784-CF64 CompactFlash como memoria no volátil (opcional)  Consulte el Capítulo 8 "Mantenimiento de la memoria no volátil"
<input type="checkbox"/> 4.	Ensamble el sistema
<input type="checkbox"/> 5.	Monte el sistema
<input type="checkbox"/> 6.	Haga las conexiones en serie  Consulte el Capítulo 3 "Conexión directa al controlador mediante el puerto en serie"
<input type="checkbox"/> 7.	Asigne una dirección IP (controladores 1769-L32E y 1769-L35E solamente)
<input type="checkbox"/> 8.	Haga las conexiones de red adicionales  Consulte el Capítulo 3 "Conexión directa al controlador mediante el puerto en serie"
<input type="checkbox"/> 9.	Instale los archivos EDS.
<input type="checkbox"/> 10.	Cargue el firmware del controlador

Figura AX1.1. Especificaciones de la instalación del controlador CompactLogix.

<b>Controlador:</b>	<b>Memoria disponible:</b>	<b>Opciones de comunicación:</b>	<b>Número de tareas aceptadas:</b>	<b>Número de módulos de E/S locales aceptados:</b>
1769-L35CR	1.5 Mbytes	1 puerto ControlNet – admite medios físicos redundantes	8	30
1769-L35E		1 puerto en serie RS-232 (protocolos de usuario o del sistema)		
1769-L32C	750 Kbytes	1 puerto EtherNet/IP	6	16
1769-L32E		1 puerto en serie RS-232 (protocolos de usuario o del sistema)		
1769-L31	512 Kbytes	1 puerto ControlNet	4	
		1 puerto en serie RS-232 (protocolos de usuario o del sistema)		

**Figura AX1.2.** Especificaciones técnicas de los diferentes modelos de la serie CompactLogix.