

UNIVERSIDAD DON BOSCO



**"CONTROLADOR DEL PROCESO
DE MIXTURA VINAZA-AGUA"**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PREPARADO PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA
PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

POR:

**JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO
RAFAEL EDUARDO MAJANO LÓPEZ**

NOVIEMBRE DE 2004
SOYAPANGO – EL SALVADOR – AMÉRICA CENTRAL

UNIVERSIDAD DON BOSCO



RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

LIC. MARIO RAFAEL OLMOS

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN

ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. CARLOS RODOLFO LÓPEZ VEGA

JURADO EVALUADOR

ING. MAURICIO FLORES

ING. VÍCTOR CALLEJAS

ING. EDGARDO CRUZ ZELEDÓN

TUTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. EDUARDO RIVERA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. MAURICIO FLORES

JURADO

ING. VÍCTOR CALLEJAS

JURADO

ING. EDGARDO CRUZ ZELEDÓN

JURADO

ING. CARLOS RODOLFO LÓPEZ

ASESOR

ING. EDUARDO RIVERA

TUTOR

Agradecimientos

Agradezco:

A Dios, por todo.

A toda mi familia, por su paciencia, comprensión y colaboración.

A mis compañeros por su incansable espíritu.

A mis amigos por su colaboración desinteresada.

A mi comunidad, por sus oraciones.

También agradezco el apoyo de las siguientes personas: Ing. Rodolfo López, Ing. Eduardo Rivera, Daniel Majano, Ing. Julio Arroyo e Ing. Rodolfo Perdomo.

Juan José Cáceres Chiquillo.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme dar un paso más.

A mi familia por su apoyo.

A mis compañeros de grupo por su dedicación.

Y a todas las personas que de alguna forma

Contribuyeron a que se realizara este proyecto.

De manera especial agradezco a

Rodolfo Vega, Daniel Majano, familia Cáceres Chiquillo, familia Rubio Toledo.

Rafael Majano

INDICE

Justificación	2
Capítulo I: Generalidades	3
La Vinaza	3
Planta de Mixtura Vinaza – Agua	6
Capítulo II: Lógica de Funcionamiento	8
Operación del Sistema	8
Capítulo III: Flujogramas y Secuencia Lógica del Programa	17
Flujogramas para el Microcontrolador	18
Análisis de Flujogramas del Microcontrolador	23
Flujogramas para la Computadora	25
Análisis de Flujogramas para la Computadora	30
Paro de Emergencia	32
Alarmas y Avisos	32
Consideraciones del Algoritmo de Control	33
Variables del Proceso	33
Cálculo de Variables del Proceso	33
Sistema de Control en Lazo Cerrado	35
Ecuaciones PID Discretizadas	37
Mapa de Almacenamiento de Variables para el Control PID	38
Capítulo IV: Interfaz	40
Características de la Interfase	40

Componentes Adicionales Utilizados	41
Listado de Entradas y Salidas Utilizadas	41
Diagrama de la Interfase	43
Circuitos Acondicionadores de Señal	44
Características Eléctricas Esperadas de Actuadores y Sensores	49
Capítulo V: Procedimiento de Prueba del Sistema	50
Recomendaciones	52
Conclusiones	53
Referencias	54
Apéndice A: Manual del Usuario	
Apéndice B: Glosario	
Apéndice C: Hojas Técnicas del Microcontrolador	
Apéndice D: Servoválvulas	
Apéndice E: Espectrómetro	
Apéndice F: Representaciones Numéricas para el Microcontrolador	
Apéndice G: Tendencias del Sistema para Diferentes Valores de Sp_{ftotal} y $Sp_{KMezcla}$	
Apéndice H: Gráficas de Respuesta del Sistema para Diversos Valores de Constantes del Controlador	
Apéndice I: Programa para Microcontrolador 68HC12 en Lenguaje Ensamblador	
Apéndice J: Programa para Computadora en Lenguaje Visual Basic	

INTRODUCCIÓN

Este documento muestra el diseño final del proyecto "Controlador del Proceso de Mixtura Vinaza – Agua" el cual ha venido evolucionando en varias etapas anteriores.

El proyecto expone el diseño e implementación de un prototipo de controlador, para el proceso de mixtura vinaza-agua, el cual tiene como fin producir un fertilizante para el área agro-industrial aprovechando la vinaza.

La vinaza es un residuo en la destilación de melaza para obtener alcohol. La melaza a su vez es un producto secundario de los ingenios, en la extracción del azúcar, que al igual que la vinaza, contienen considerables niveles de potasio, calcio y magnesio.

En un inicio se explican conceptos generales, entre ellos: La Vinaza, que es el controlador Vinaza – Agua, los alcances y limitantes y cual es el objetivo de su implementación, posteriormente se explican las partes principales de este proyecto, y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones para este sistema.

Las partes principales se mencionan a continuación:

- El software de interfaz visual para el usuario, desarrollado en VISUAL BASIC.
- El software de control, implementado en el microcontrolador. [3][6]
- El hardware, que posee la función de acondicionar las señales, para los diferentes actuadores y sensores.

JUSTIFICACIÓN:

La necesidad de este proyecto surge del ingenio de Pantaleón en Guatemala, que posee una infraestructura de riego de agua en la cual se desea inyectar vinaza de manera controlada, con el fin de manipular tal desecho y además regresar parte de los nutrientes de los derivados de la producción de caña de azúcar al campo de cultivo; pero sin el riesgo de deteriorar los suelos.

En vista de que la vinaza contiene diferentes niveles de potasio según el proceso de destilado y la calidad de la melaza; el proceso de mixtura vinaza-agua no podría ser implementado con un método convencional debido a que la aleatoriedad de potasio en la vinaza implica un sistema capaz de corregir estas variaciones, para obtener una mezcla con un contenido de potasio estable.

Por lo anterior es necesario, implementar un control que asegure un producto final con adecuados niveles de nutrientes (potasio) que vayan en beneficio de las cosechas, ya que un suelo con sobre-concentración ó sub-concentración afectaría el resultado de la siembra.

Debido a que el sistema debe efectuar constantemente el cálculo de ecuaciones, se ha determinado que es más viable un controlador de tipo discreto y no un controlador analógico.

CAPITULO I

GENERALIDADES

La Vinaza

“La vinaza, es un residuo en la destilación de melaza para obtener alcohol. La melaza a su vez, es un producto secundario de los ingenios, en la extracción del azúcar, que al igual que la vinaza, contienen considerables niveles de potasio.

Un campo de cultivo de caña de azúcar se ve notablemente beneficiado con vinaza diluida en agua ya que el potasio es un elemento que enriquece los nutrientes del suelo.” [1]

Investigaciones realizadas por el Ingenio de Pantaleón de Guatemala, han determinado que la vinaza puede ser regada en los campos de cultivo de caña de azúcar en una relación de 1 a 12 Vinaza-Agua dando excelentes resultados. Debido al porcentaje de Potasio que contiene. Otros estudios evidencian que fertilización con vinaza puede sustituir el 55 % del nitrógeno, el 72 % del fósforo (P20s) y el 100 % del potasio (K20), provenientes de la fertilización mineral. [9]

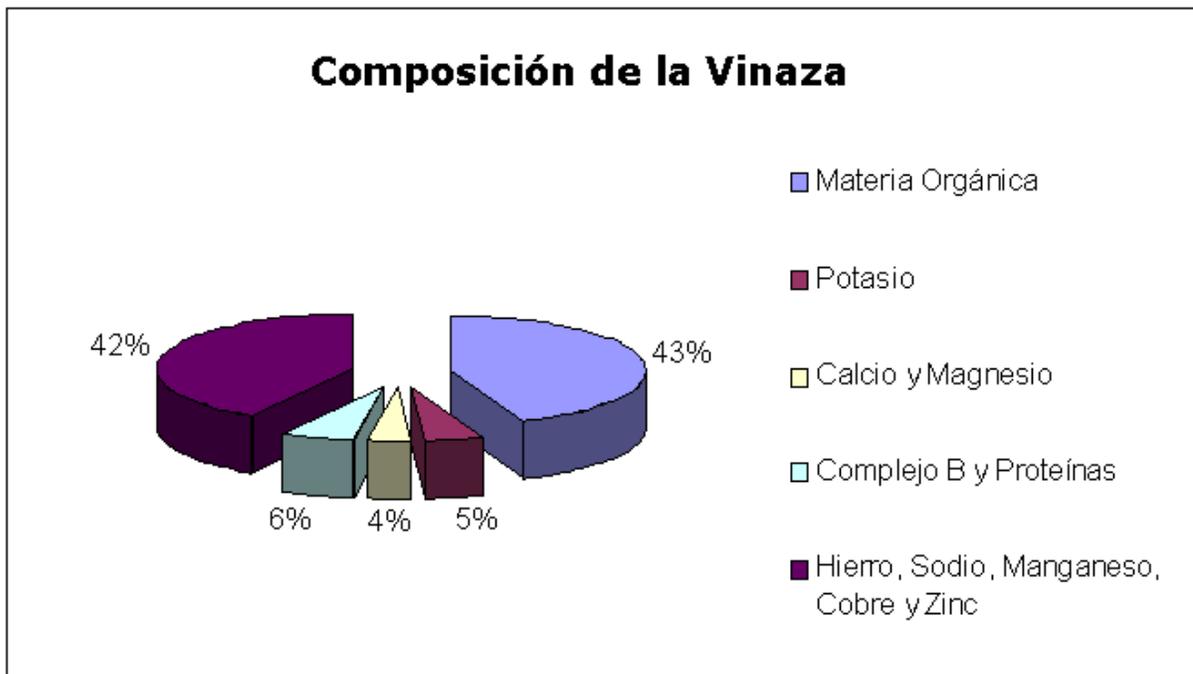


Fig. 1. Composición de la Vinaza

Pero existe el problema de que la vinaza es variable en su concentración de potasio lo cual implica realizar una corrección en la mixtura vinaza-agua.

“La composición de las vinazas depende de una serie de factores, entre los que se encuentran la materia prima trabajada y la forma de haber sido preparado el mosto. La vinaza es rica en nitrógeno, fósforo y potasio; de aquí su elevado poder fertilizante, de donde proviene su principal y más generalizada aplicación. La vinaza tiene coloración verde castaña, turbidez y temperaturas elevadas y una DBO (demanda bioquímica de oxígeno) que oscila entre 7,000 y 20,000 mg/litro.

Cuando la vinaza se descarga directamente en vías de caudal insuficiente, genera efectos desastrosos en la flora y fauna existentes. Su elevada DBO provoca rápido agotamiento del oxígeno en el medio líquido.

Entre 1971 y 1974, un grupo de investigadores brasileños realizó estudios de evaluación de la riqueza mineral de las vinazas. Con base en los resultados de esa evaluación, les fue posible proponer una serie de recomendaciones con miras al uso racional de la vinaza como fertilizante.

La aplicación de la vinaza al suelo es considerada como una fertilización de elevada eficiencia; pues, además de dar a la tierra los nutrientes necesarios, causa una mejora en las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del suelo.” [1] [10]

Debido a la alta DBO de la Vinaza, es necesario diluirla en agua para poder ser regada sobre un campo de cultivo, porque de lo contrario el resultado sería un daño y empobrecimiento de las capacidades del suelo. [10].

Otro aspecto importante del riego de cultivos con vinaza diluida es que puede obtenerse entre 5% y 25% mayor producción de azúcar, comparándose con cultivos tratados con fertilizantes químicos. El estudio que afirma esto, también determina: “Se concluye que los tratamientos aplicados con fertilizante químico en todos los cortes no fueron tan positivos como los de vinaza, posiblemente por su aporte en otros nutrimentos esenciales para el cultivo.” “Estos resultados y los obtenidos en otros estudios similares, permiten concluir que la vinaza es un excelente producto orgánico mejorador del suelo”. [10]

Un estudio de la Universidad del Valle (Colombia), señala: “Las vinazas, consideradas elementos contaminantes, podrán ser utilizadas como fertilizantes. De acuerdo con ensayos realizados por científicos de la Universidad Nacional, sede Palmira, este producto es un excelente

acondicionador de terrenos; además recupera las tierras que han perdido sus atributos por acción de las sales y el sodio.

Según los investigadores, este nuevo fertilizante contiene una composición nutricional, química y biológica que lo convierten en un desecho con inmenso potencial fertilizante para uso agropecuario. Entre los elementos que posee este compuesto se encuentran el calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo y potasio.

<<La vinaza no es otra cosa que agua sucia, dotada con todos los elementos nutricionales que necesita una planta>>, afirmó Alvaro García Ocampo, Ingeniero Agrónomo, especialista en suelos sódicos.

De todas maneras, los investigadores advierten de los riesgos que puede acarrear esta técnica. Por ejemplo, si se combina con agua se pueden quemar los cultivos; debido a esto, se recomienda realizar una mezcla en proporción de 30 partes de agua por una de vinaza.” [11]

De este último artículo de la Universidad Del Valle [11], en comparación a los estudios realizados por el ingenio de Pantaleón de Guatemala, y así mismo a otros estudios, puede observarse que la proporción de mezcla vinaza – agua, depende en gran medida de la calidad de la vinaza. Por lo que en un sentido general puede afirmarse que la proporción vinaza – agua, posee una relación directa con la región geográfica en la que se aplicará el método de riego con vinaza.

Planta de Mixtura Vinaza-Agua

Esta planta tiene como objetivo efectuar el proceso de mixtura vinaza-agua por medio de actuadores que pueden ser manipulados eléctricamente.

El proceso exige controlar los flujos tanto de agua como vinaza para mantener una concentración estable de potasio en el flujo final.

Terminada esta operación, la sustancia resultante estará lista para ser regada en los campos de cultivo de caña de azúcar, y al mismo tiempo se brindará una solución a la utilización de la vinaza.

La planta de Mixtura Vinaza-Agua se presenta a continuación en la Figura 2.

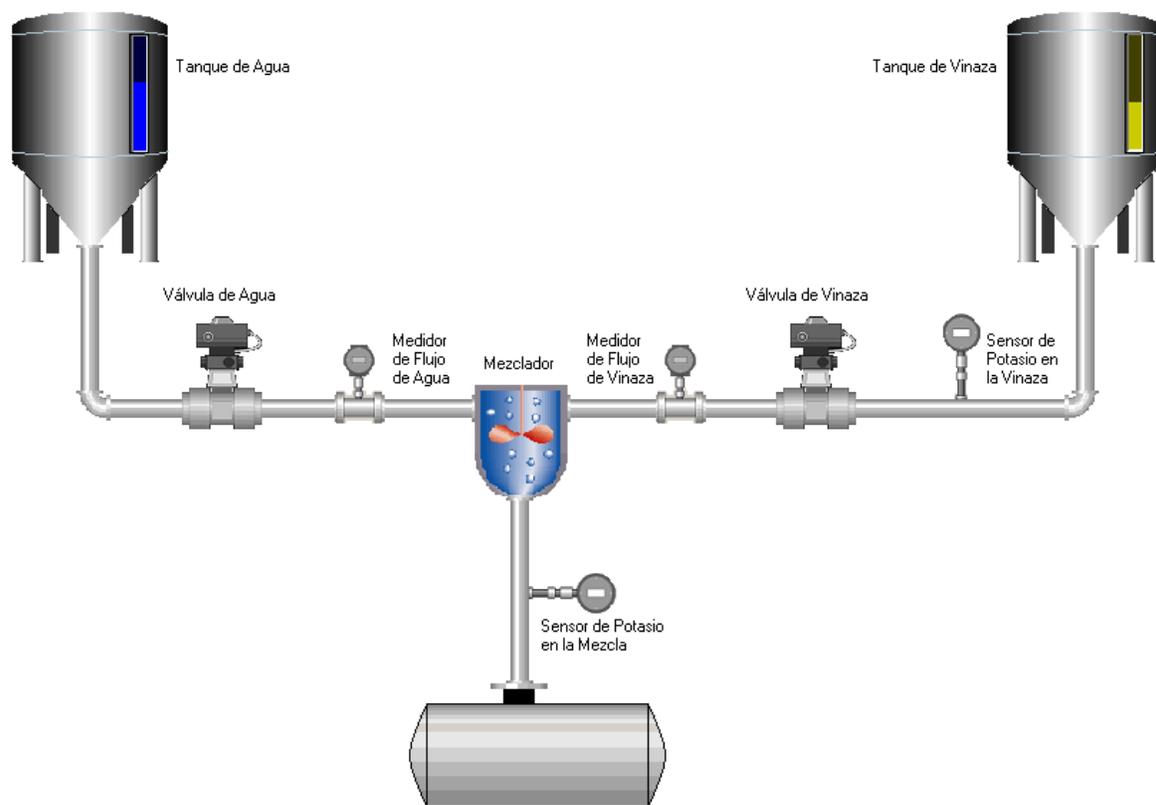


Fig. 2. Planta de Mixtura Vinaza – Agua.

La planta de mixtura consta de dos tanques, uno de vinaza y otro de agua, en los cuales inicia el proceso.

Los valores de apertura de válvulas, son calculados por un dispositivo de control, el cual domina todo el proceso. Este a su vez, necesita medir el porcentaje de potasio en la vinaza, lo que agrega un elemento predictivo al control.

La peculiaridad de este proceso radica en considerar las variaciones del porcentaje de potasio en la vinaza, por eso es necesario monitorear tal valor para que el sistema se ajuste sin tener que hacerlo manualmente.

Los flujos tanto de agua como de vinaza son monitoreados por sensores de flujo, situados después de que los fluidos han pasado por sus respectivas servo-válvulas. Este monitoreo posibilita al sistema para corregir las aperturas de las válvulas de acuerdo al flujo real presente.

Finalmente, el sistema posee un segundo sensor de potasio ubicado en la tubería de terminación del proceso, esto con el propósito de monitorear la variable principal del sistema: el porcentaje de potasio en la mezcla final.

CAPITULO II

LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO

Operación del Sistema

El sistema completo consta de un software para instalar en una computadora y un dispositivo de control (El Microcontrolador [3]) que se comunican por medio de un cable serial DB9.

Con el software instalado, se puede acceder a la aplicación, pero es necesario que exista comunicación entre los dos dispositivos para poder realizar una acción de monitoreo o cambio de control.

La computadora dirige el proceso de comunicación con el dispositivo de control, y juega el papel de *Display de Proceso y Panel de Mando* en tiempo real, es decir que se puede controlar directamente los actuadores de la planta sin necesidad de acudir a otros medios. El dispositivo de control por otra parte, es el encargado de ejecutar el algoritmo de control.

Para expresar de manera más clara la labor del sistema, a continuación se listan las acciones que involucran el funcionamiento normal del mismo. Éstas son incluidas en el "Manual del Usuario" el cual se encuentra en el apéndice A de este documento.

- 1- Conectar el dispositivo de control o interfase a la computadora por medio del puerto Serial COM1, a través de un cable DB9.
- 2- Encender el dispositivo de control.
- 3- Con el programa ya instalado en la computadora, ejecutarlo haciendo doble click en el siguiente icono 
- 4- Inmediatamente después de la presentación del programa se muestra la pantalla de inicio de comunicación. (Figura 3)



Fig. 3. Pantalla de inicio de comunicación.

5- Si la comunicación falla se muestra la siguiente figura:



Fig. 4. Pantalla de comunicación fallida.

6- De lo contrario, si no se muestra la pantalla de comunicación fallida, entonces la comunicación ha sido exitosa y se observa la pantalla principal del sistema. (Ver figura 5)

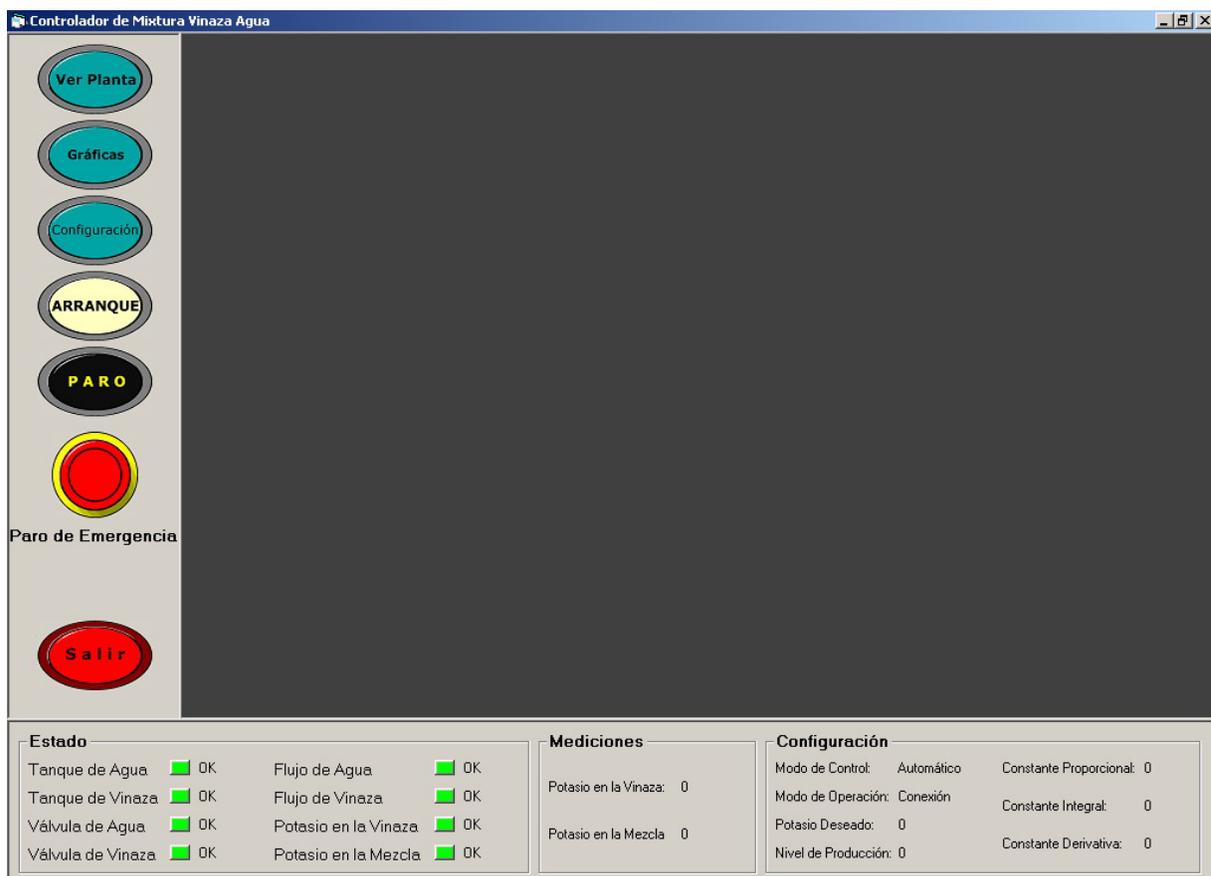


Fig. 5. Pantalla Principal del Sistema

La pantalla principal del sistema posee tres grupos de indicadores ubicados en la parte inferior, los cuales son: Estado, Mediciones, y Configuración. Cada uno de estos conjuntos posee a su vez una serie

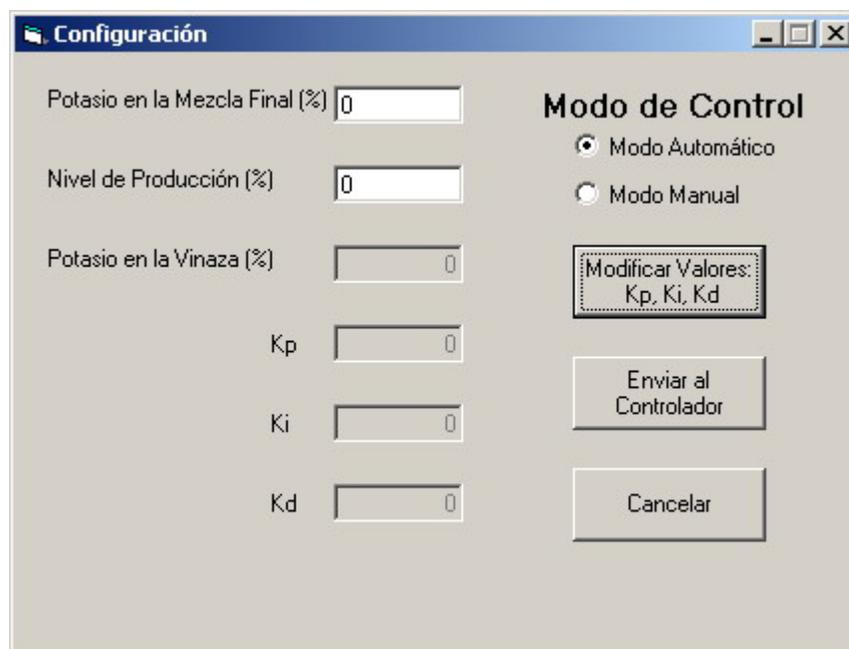
de elementos, que indican el funcionamiento del sistema. Esto se detalla en el "Manual del Usuario" (Apéndice A).

Además de mostrar los tres grupos indicadores, la pantalla principal da acceso a una serie de botones, que permiten efectuar las funciones principales del sistema, estos botones se encuentran en la parte izquierda de la figura 5.

Tanto los indicadores como los botones utilizados en la pantalla principal, cumplen con las especificaciones proporcionadas por la guía GEMMA. [5]

7- Selección de parámetros y modo de operación.

Para ingresar los parámetros de trabajo es necesario ingresar a la ventana de configuración. (Ver figura 6)



The image shows a software window titled "Configuración". On the left side, there are five input fields, each with a numerical value of 0: "Potasio en la Mezcla Final (%)", "Nivel de Producción (%)", "Potasio en la Vinaza (%)", "Kp", "Ki", and "Kd". On the right side, under the heading "Modo de Control", there are two radio buttons: "Modo Automático" (which is selected) and "Modo Manual". Below these are three buttons: "Modificar Valores: Kp, Ki, Kd" (highlighted with a dashed border), "Enviar al Controlador", and "Cancelar".

Fig. 6. Ventana de Configuración

La ventana de configuración posee las selecciones de "Manual / Automático", y las configuraciones para establecer el volumen de producción y el porcentaje de potasio deseado en la mezcla final, además muestra el valor de las constantes proporcional, integral y derivativa del controlador.

El dato "Potasio en la Vinaza (%)", es un indicador del sistema y proporciona el porcentaje de potasio que se ha detectado en la vinaza que

sale del tanque respectivo. (Ver ubicación de "Sensor de Potasio en la Vinaza" en la figura 2).

El parámetro: "Potasio en la Mezcla Final (%)", es un control, por medio del cual se le indica al sistema el contenido de potasio que deberá poseer la mezcla final.

El parámetro: "Nivel de Producción (%)" es un control por medio del cual se le indica al sistema el caudal a producir en porcentaje de las capacidades totales de la planta.

Con estos dos últimos parámetros y por medio de ecuaciones matemáticas (Ec. 3.1 y Ec. 3.2), el sistema de control se encarga de encontrar una relación para obtener la abertura de las válvulas; y así lograr a la salida de la planta la cantidad deseada de mezcla, con el porcentaje de potasio establecido en el parámetro correspondiente.

Los parámetros introducidos por el usuario tienen límites; ya que si se le pide al sistema un porcentaje de potasio en la mezcla mayor que el disponible en la vinaza, entonces, el sistema lo limitará al porcentaje disponible. De manera similar los valores para las constantes del controlador se encuentran delimitadas así:

$$K_p: 0 \Leftrightarrow 20$$

$$K_i: 0 \Leftrightarrow 5$$

$$K_d: 0 \Leftrightarrow 5$$

Para poder cambiar las constantes del controlador, el programa despliega una ventana en la que debe introducirse una contraseña (Ver figura 7), si la contraseña es errónea, se muestra un mensaje indicando que la contraseña no es la correcta y se retorna a la ventana de configuración; si la contraseña es correcta, entonces se muestra la ventana en la que se pueden modificar las constantes K_p , K_i y K_d del sistema. (Figura 8).



Fig. 7. Ventana de Contraseña

En el manual del usuario se especifica cuál es la contraseña por defecto del sistema, ésta contraseña puede ser cambiada haciendo click en el botón: "Modificar Contraseña" de la ventana: "Constantes del Controlador". (Ver figura 8)

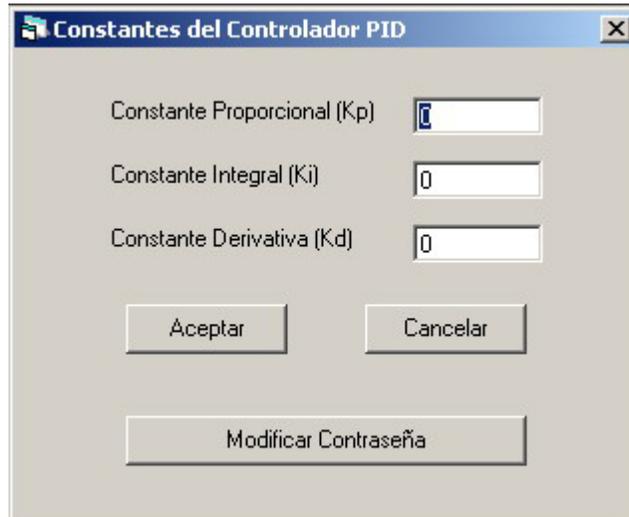


Fig. 8. Ventana para cambiar Constantes del controlador

El objetivo de que el campo de configuración del PID se encuentre protegido por una contraseña es para agregar una medida de seguridad al sistema y que no sea fácilmente modificable por cualquier usuario.

En caso que el usuario olvide o extravíe la contraseña, existe una clave maestra, con la cuál puede cambiarse la contraseña olvidada. Esta clave maestra es conocida únicamente por el programador del sistema.

La Figura 8 muestra la ventana en donde se pueden modificar las constantes K_p , K_i y K_d . Las constantes aceptan números con una precisión de 0.000015258789, que es el inverso de 65536, esto viene de hacer las siguientes equivalencias: un número entero posee como parte fraccionaria

0, esto en el microcontrolador se representa por 0000 hex, la fracción 0.5 dec tiene su equivalencia como 8000 hex, y una unidad se representa por 10000 hex, por lo que FFFF hex, representa el último número fraccionario antes de formar una unidad (0.999984737115). Para mayor detalle ver el apéndice F.

Modos de Operación y Control

El sistema puede trabajar bajo los modos de operación: Conexión y Desconexión. Con el primer modo el sistema esta capacitado para desplegar la información proveniente de la interfase de control y además permite el envío de información (actualización de nuevas consignas). En el modo de operación de desconexión el cable serial DB9 puede ser desconectado, permitiendo que la interfase trabaje de manera independiente; con las limitantes que resultan obvias como lo son: imposibilidad de cambiar los valores de consigna, y la no visualización de las variables provenientes de la interfase.

Al acceder al botón Salir despliega una ventana en la cuál se muestran las opciones:

- Desconexión
- Conexión
- Desconexión y Salir

Con la primera de estas opciones, se hace posible cambiar al modo de operación: Desconexión. Con la segunda opción, el sistema entra al modo de operación: Conexión. Y con la tercera opción, el sistema se desliga de la interfase y cierra el programa de la computadora.

El sistema además cuenta con dos modos de control, que son: Automático y Manual. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Modo Automático:

Este modo de operación debe elegirse en la ventana de configuración, mostrada en la figura 6. El modo de control por defecto del sistema es modo automático por lo que si se desea elegir modo manual deberá seleccionarse en esta pantalla.

En el modo automático, el usuario del equipo puede indicar a que valores desea que se mantengan las variables del proceso.

Una vez presionado el botón enviar al controlador en la pantalla de la figura 6 la planta empieza a funcionar y trata de mantener los valores elegidos por el usuario.

Las variables importantes del proceso se logran visualizar en tiempo real en la pantalla de la computadora, de manera que no exista la necesidad de acudir a medidores externos.

En el modo automático el programa lucirá como muestra la figura 9.

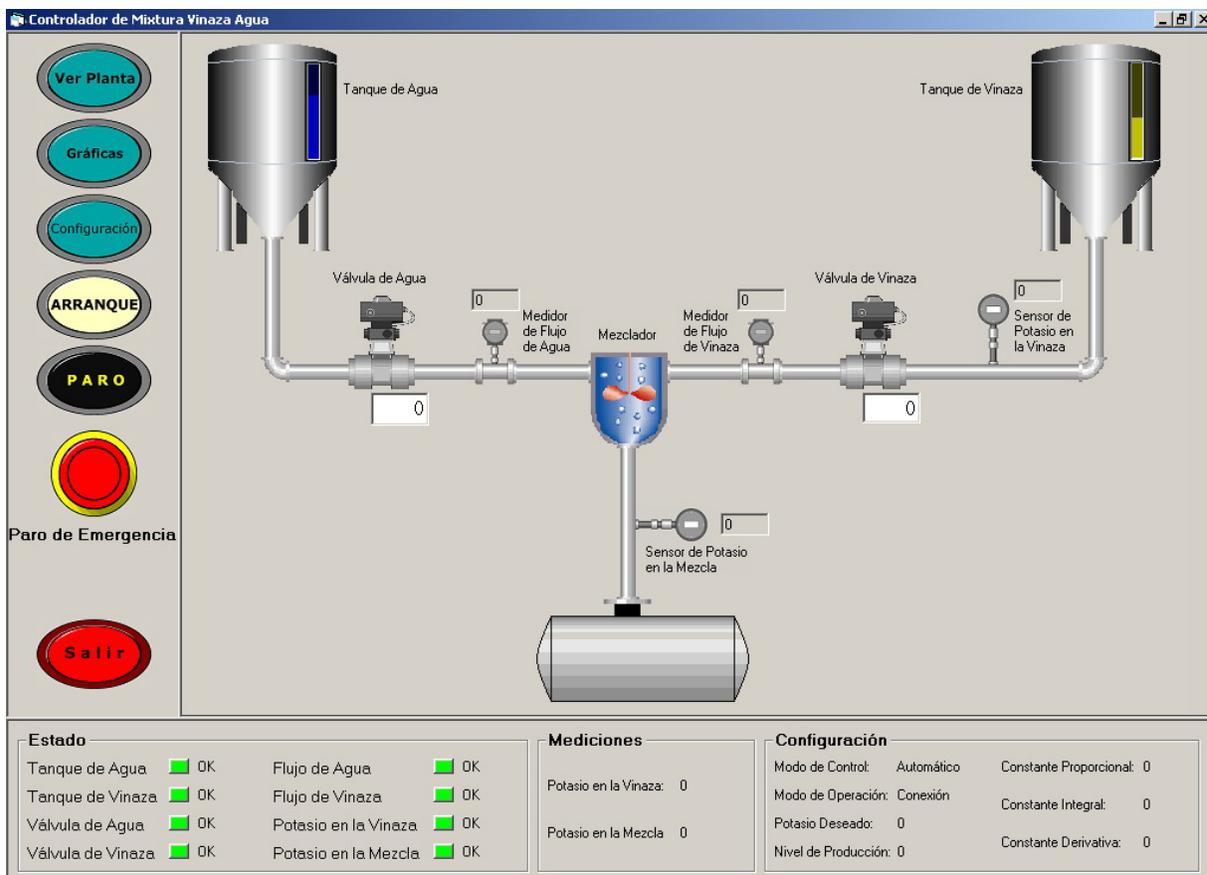


Fig. 9. Pantalla Modo Automático

Modo Manual:

En el modo manual las opciones de control individual se muestran contiguas a cada actuador (ver figura 10), lo que facilita controlar independientemente las válvulas de la planta, además permite visualizar los valores de las variables involucradas en el proceso.

En este modo el sistema se mantiene operando a los valores dados en forma manual por el usuario y manteniendo las alarmas y advertencias que puedan generarse.

En el modo manual el valor de las casillas de *Porcentaje de Potasio de la Mezcla Final*, y *Nivel de Producción Total* queda sin efecto, ya que son parte exclusiva del modo automático.

La pantalla de operación para el modo manual lucirá como muestra la figura 10.

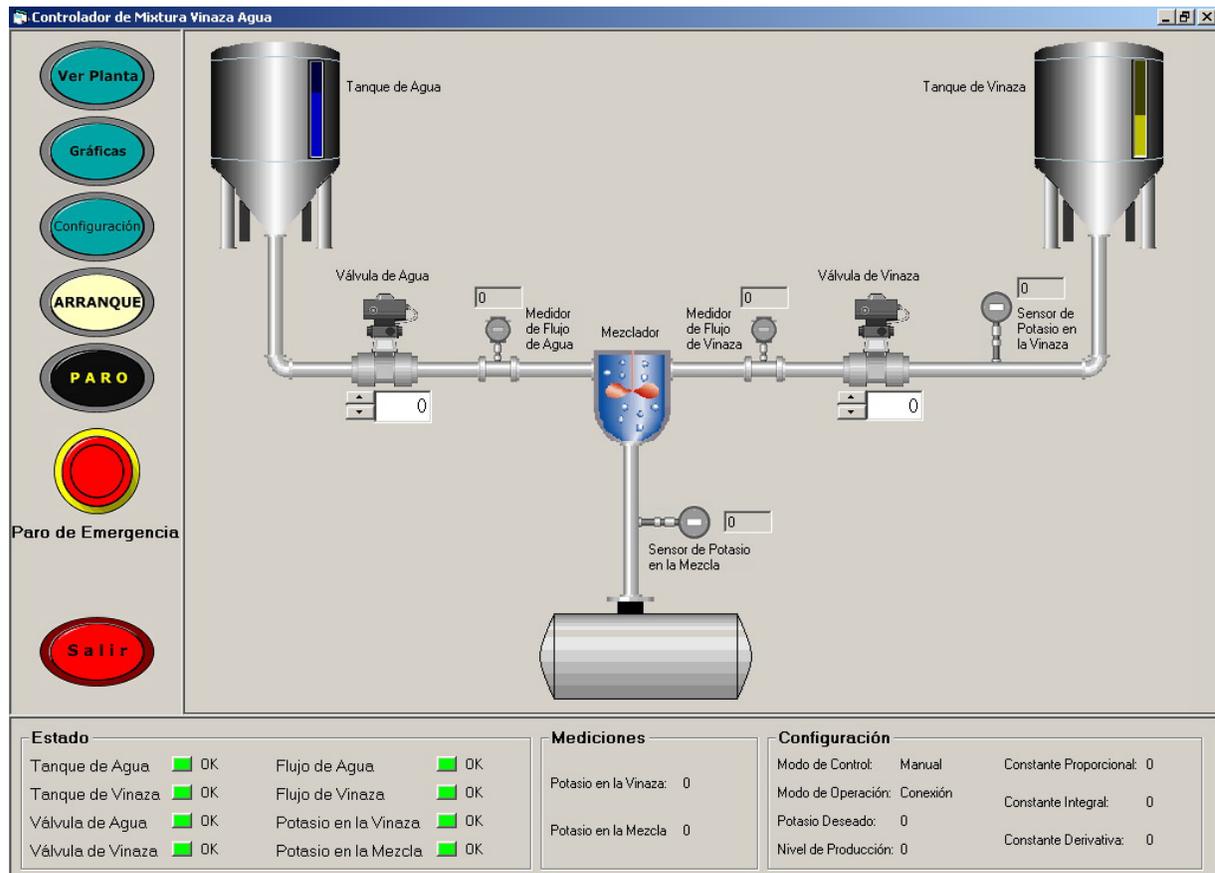


Fig. 10. Pantalla Modo Manual

En ambos modos de control: manual y automático, la información introducida en la pantalla de configuración es enviada al procesador (dispositivo de control) y éste ejecuta lo designado.

Ya que la seguridad juega siempre un papel importante, no solo para las personas si no también para los equipos, existe un paro de emergencia tanto por software como por hardware que deshabilita el sistema y pone las salidas en estado cero; a manera de corregir o *evitar* (en el mejor de los casos), una emergencia. El paro por software se hace efectivo siempre que se presione el botón PARO DE EMERGENCIA, que se encuentra en la pantalla principal del sistema. El paro por software se reestablece presionando nuevamente el botón de paro de emergencia.

El paro por hardware se detalla en el apartado INTERFAZ y consiste de un interruptor de seguridad que al ser presionado deshabilita las salidas poniéndolas en estado cero.

8- Gráficas de Monitoreo

Al presionar el botón graficas se presenta una pantalla que grafica las variables del proceso, esto con el propósito de ilustrar el desarrollo del proceso de mezcla vinaza-agua.

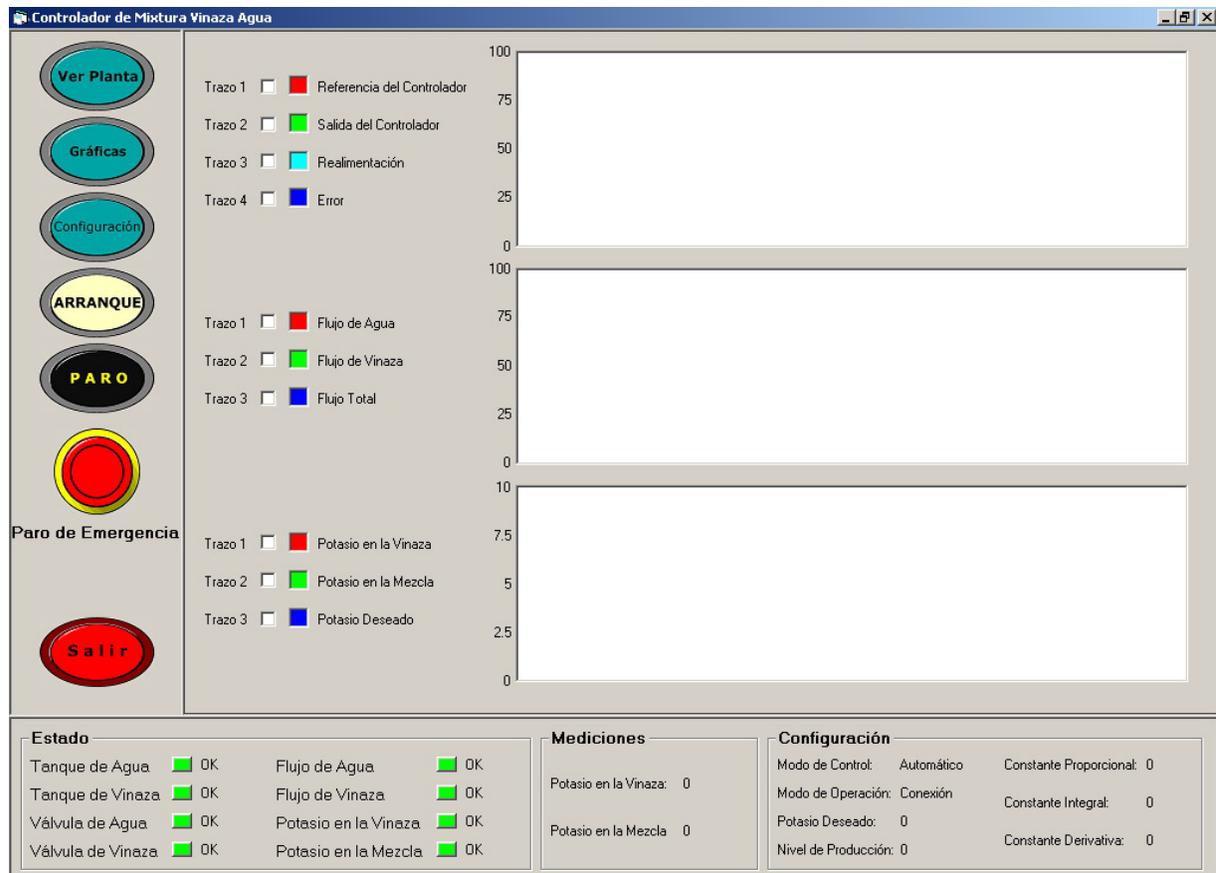


Fig. 11. Gráfica de las Variables del Sistema

En los gráficos es posible el ajuste de escala (en el eje vertical) lo que facilita al usuario la visualización de los datos, además permite ajustar los colores de las gráficas y de los fondos de cada uno de los tres esquemas.

Esta pantalla esta orientada para poder elegir las variables a graficar y las posibilidades de elección se muestran en la misma, eligiendo con un cheque las variables que el usuario desee.

CAPITULO III

FLUJOGRAMAS Y SECUENCIA LÓGICA DEL PROGRAMA

La lógica que hace interactuar las pantallas presentadas anteriormente con el dispositivo de control, es el algoritmo de comunicación. Este contiene las reglas de transferencia de información y éstas se presentan a continuación.

La tabla 3.1 muestra los comandos utilizados para la comunicación entre la computadora y el Microcontrolador y la relación con las partes del programa.

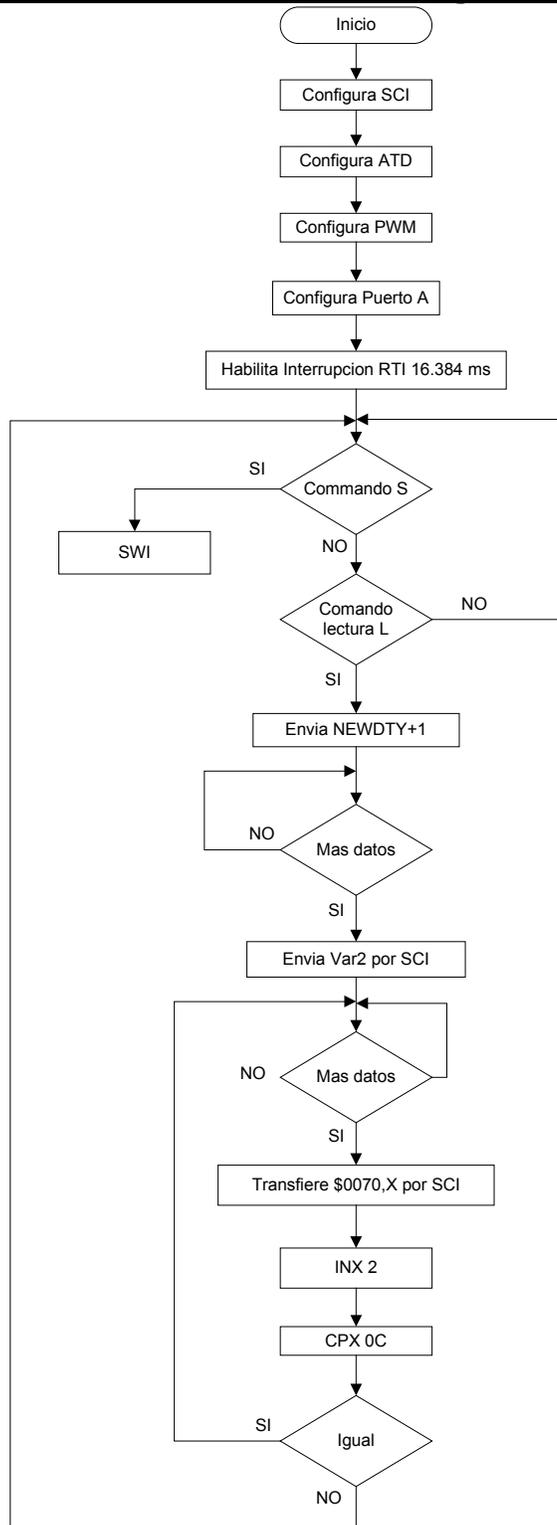
Comando	Significado
S	Comando de la PC hacia el Microcontrolador para salir del programa de control.
L	Comando de la PC hacia el Microcontrolador para comenzar a transferir datos desde el microcontrolador hacia la PC.

Tabla 3.1. Comandos de Comunicación del Sistema.

A continuación se presentan los flujogramas de comunicación y secuencia de control, tanto para los programas del Microcontrolador como para el programa que reside en la computadora.

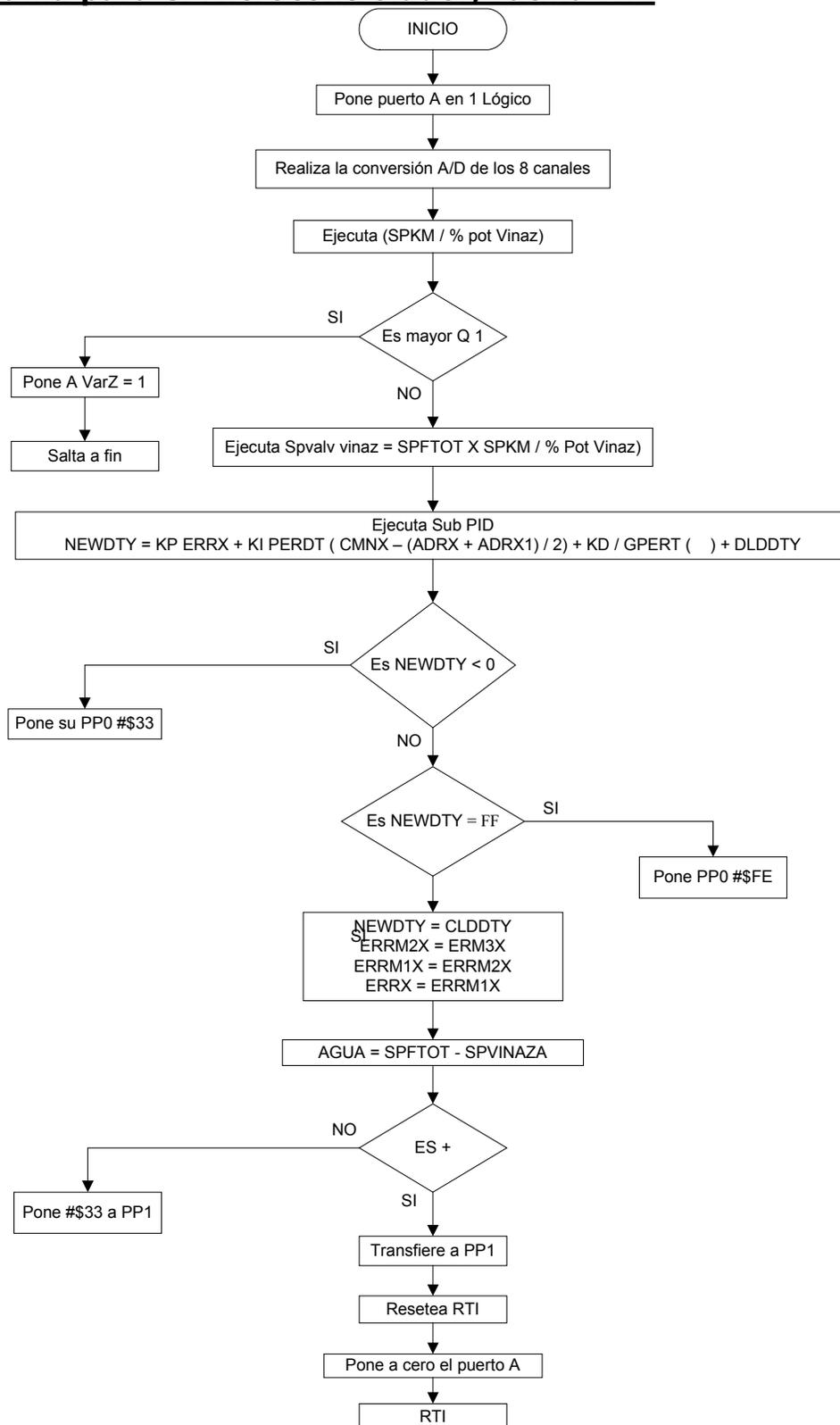
FLUJOGRAMAS

Flujograma para el Microcontrolador Programa Principal



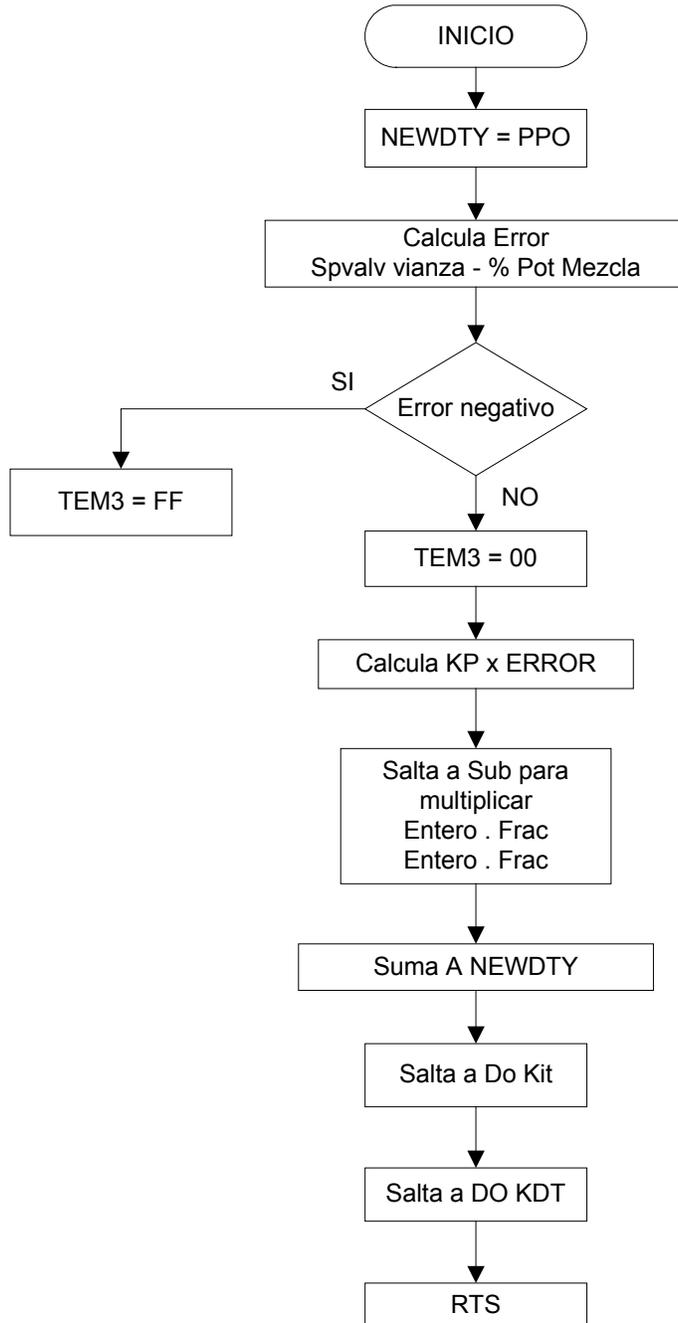
Flujograma 1. Programa Principal.

Flujograma para el Microcontrolador, rutina RTI



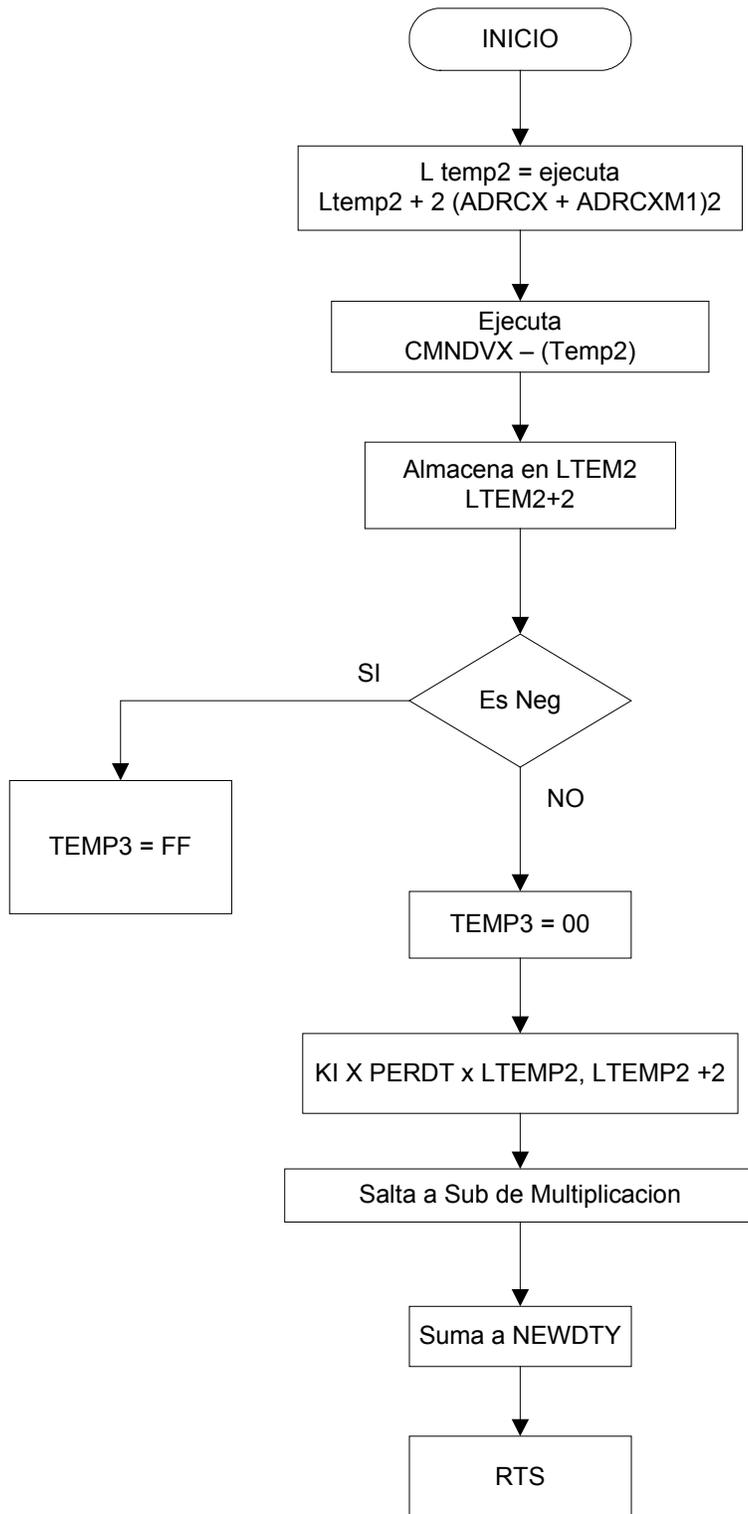
Flujograma 2. Sub-rutina RTI.

Flujograma para el Microcontrolador, rutina PID



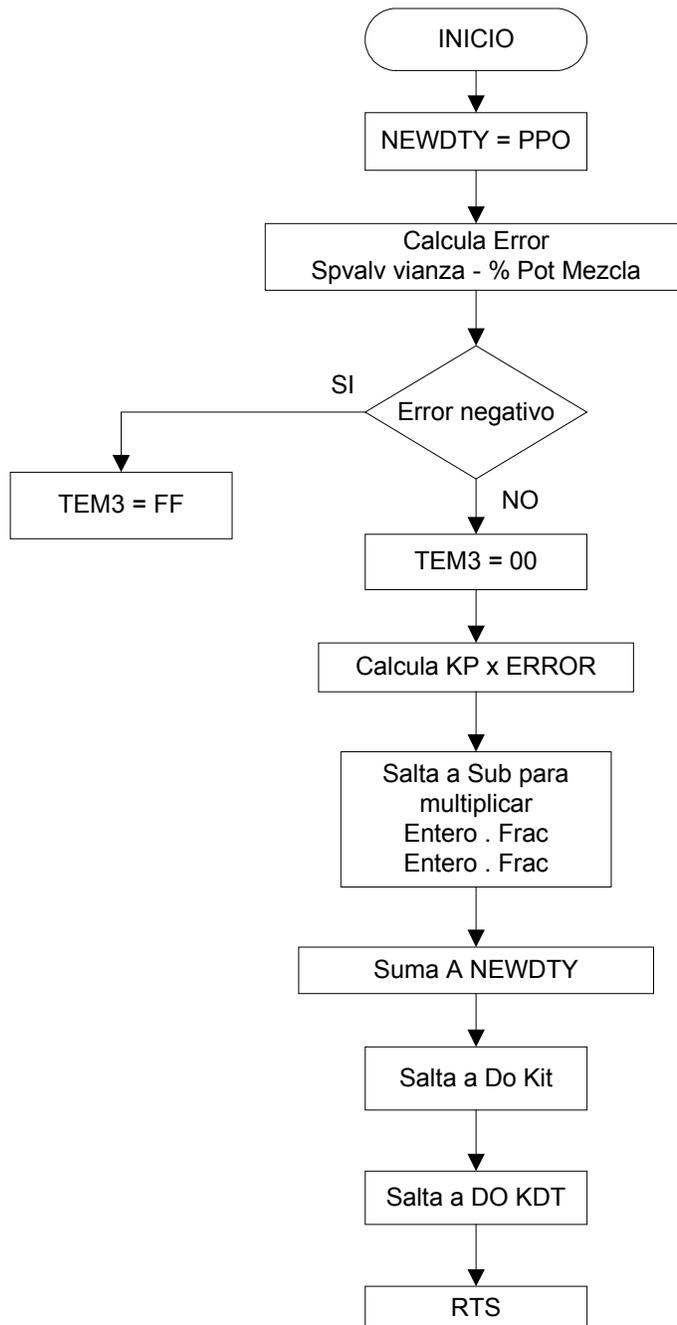
Flujograma 3. Sub-rutina PID.

Flujograma para el Microcontrolador, Kit



Flujograma 4. Sub-rutina Kit.

Flujograma para el Microcontrolador, Kdt



Flujograma 5. Sub-rutina Kdt.

Análisis de los Flujogramas del Microcontrolador

En el flujograma 1, se observa que el programa inicia configurando cada una de las aplicaciones a utilizar, esto se realiza en el siguiente orden:

- Configuración del ATD
- Configuración del Puerto serial
- Configuración del PWM
- Configuración y habilitación de interrupciones RTI

Después que el programa principal ha configurado las aplicaciones a utilizar este se mantiene en un ciclo continuo de verificación de la solicitud de lectura enviada por la computadora.

Una vez recibido el comando de lectura, este envía los datos en orden tal como lo muestra el flujograma 1.

La interrupción por software habilitada antes de entrar al programa principal proporciona el efecto de saltar a la subrutina del cálculo del controlador PID cada 16 ms. Esta herramienta es la que hace posible que se ejecuten prácticamente dos programas al mismo tiempo lo que se conoce como transparencia para el usuario.

El control PID consta básicamente de tres partes principales y algunas subrutinas de cálculos que se considerarán por fines de análisis como secundarias. Las tres partes principales del control PID son:

- Cálculo del termino KP
- Cálculo del termino KI
- Cálculo del termino KD

El objetivo principal del control PID implementado en el microcontrolador es actualizar cada 16ms (tal como lo obliga la interrupción) la ecuación principal del PID (Ec. 3.10).

KP calcula la parte proporcional del sistema y lo suma a la variable NEWDTY, de igual forma KI calcula la parte integral del sistema y lo suma

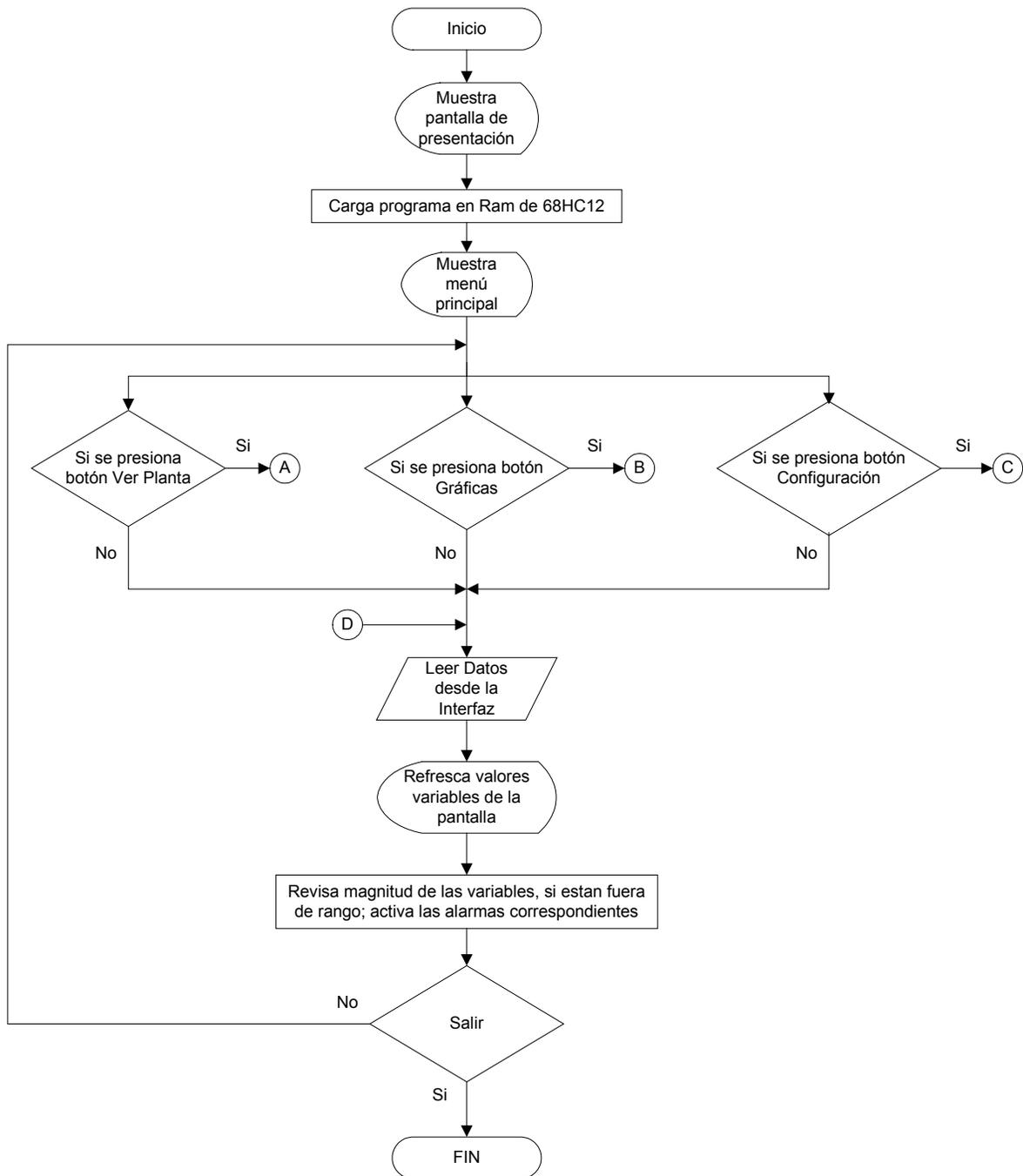
a la variable NEWDTY, y finalmente KD calcula la parte derivativa del control PID y lo suma a la variable NEWDTY.

Como se observa, la variable NEWDTY posee el valor actual del controlador que es asignado a una salida PWM.

Es importante aclarar que este proyecto efectúa un control indirecto de la variable porcentaje de potasio en la mezcla a través de un lazo cerrado de flujo que por conveniencia se aplicó a la válvula de vinaza.

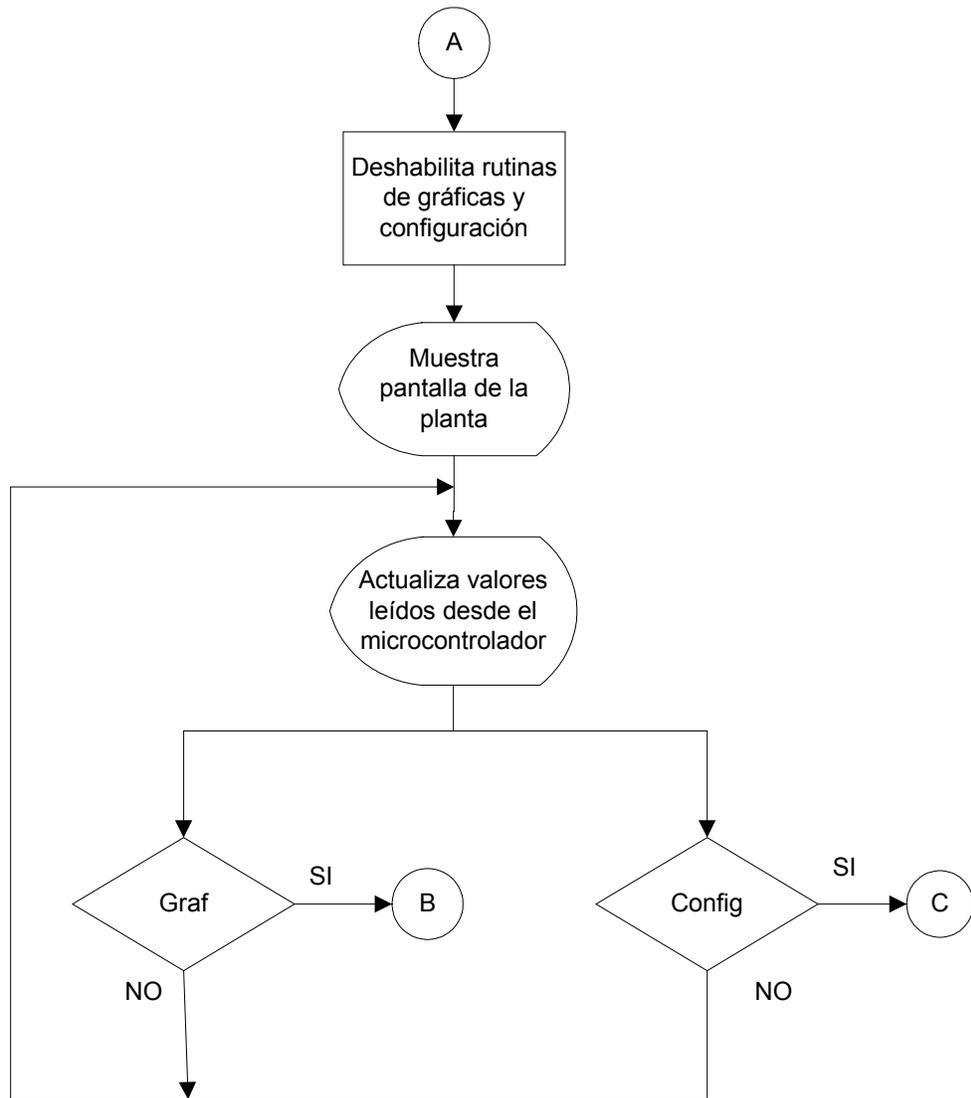
Las ecuaciones 3.1 y 3.2 se encargan de calcular los Set Point tanto de agua como de vinaza, además de relacionar las variables principales a fin de garantizar que la regulación entre las proporciones de los flujos permitidos por cada válvula, aseguren un porcentaje de potasio uniforme en la mezcla final.

Flujograma Principal de la PC



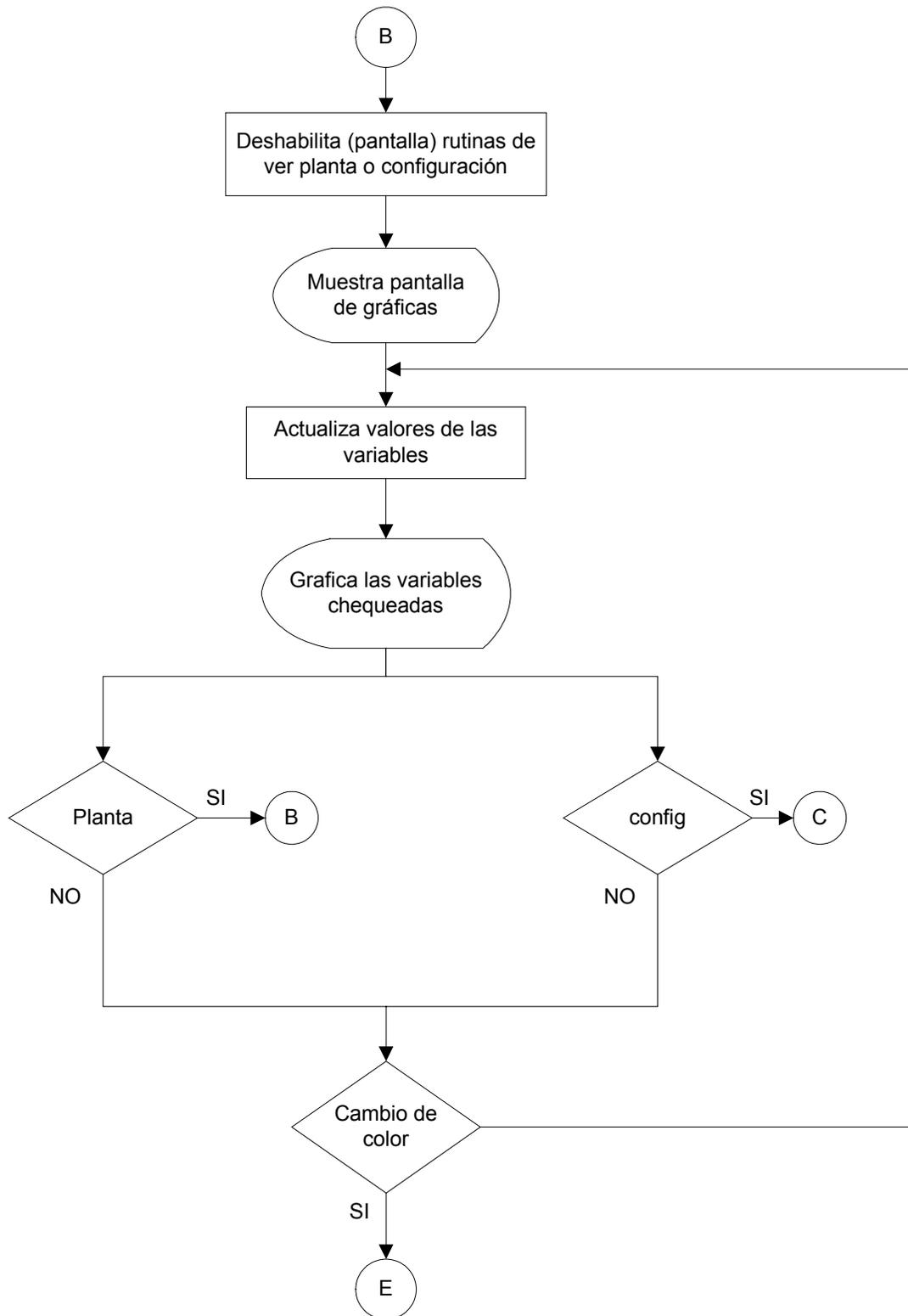
Flujograma 6. Programa Principal PC

Flujograma para PC, Ver Planta



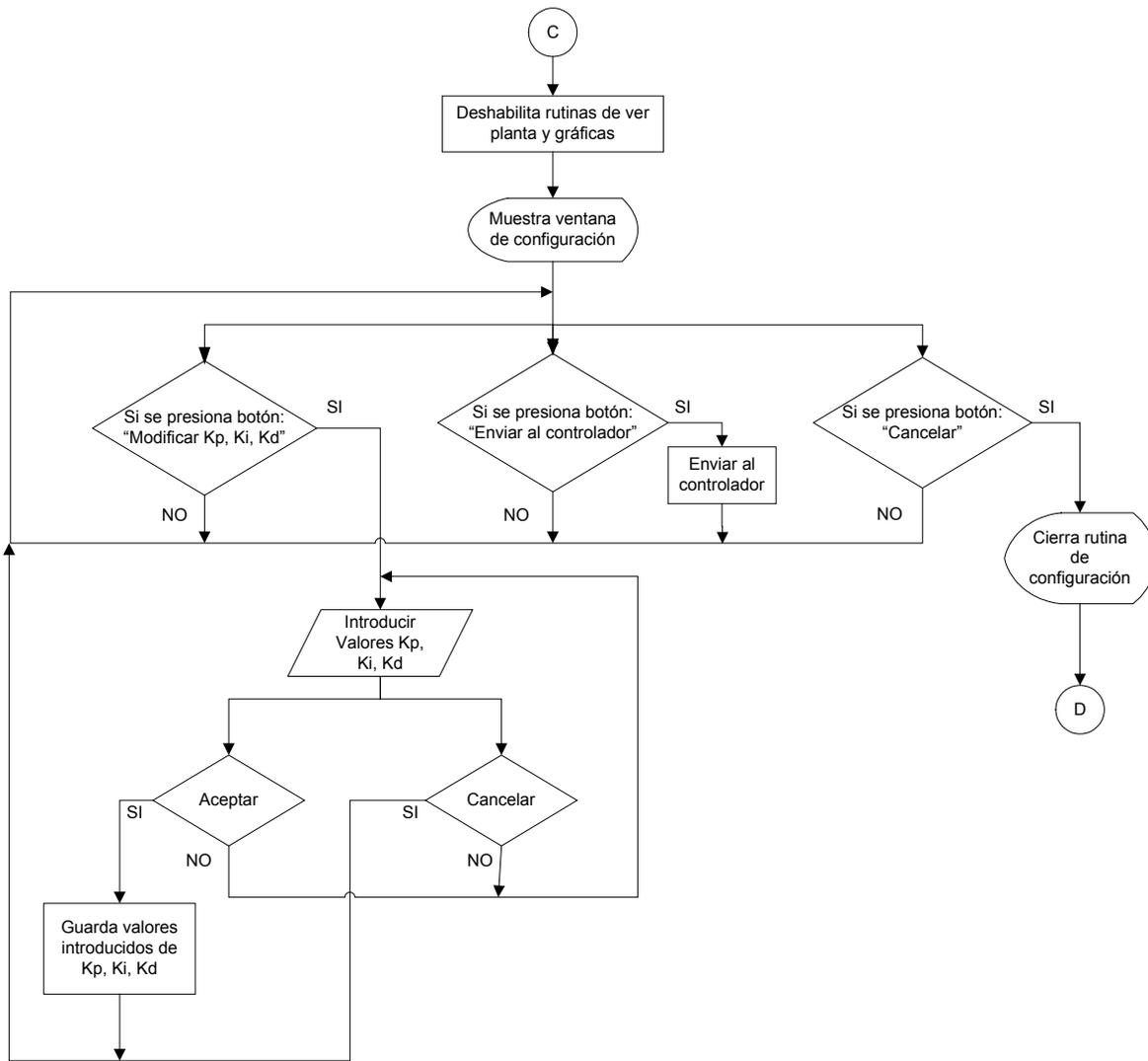
Flujograma 7. Sub-rutina Ver Planta.

Flujograma para PC, Gráficas



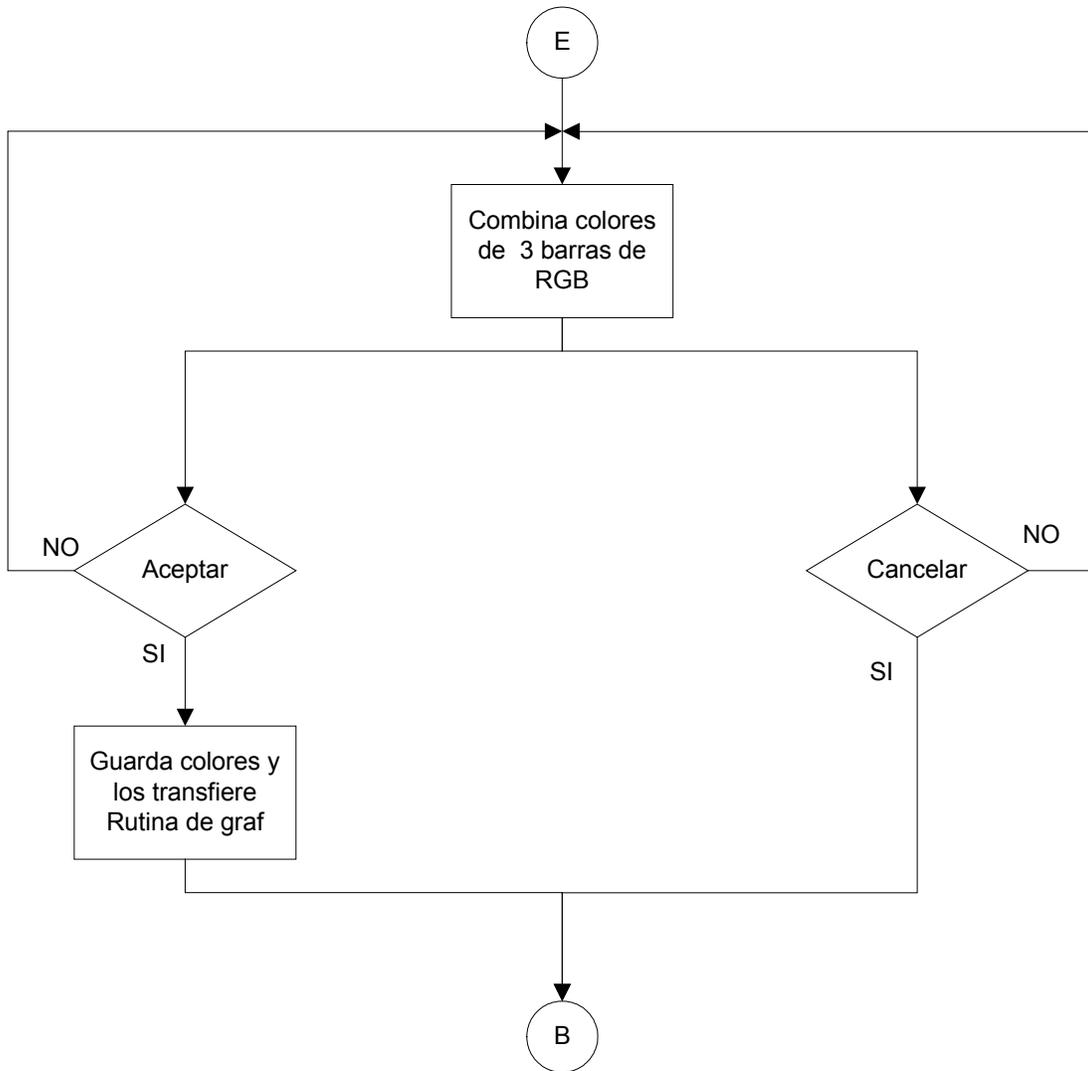
Flujograma 8. Sub-rutina Gráficas.

Flujograma para PC, Configuración



Flujograma 9. Sub-rutina Configuración.

Flujograma para PC Colores



Flujograma 10. Sub-rutina Colores.

Análisis de los Flujogramas de la Computadora

Como se observa en el flujograma 6, después de inicializarse, el programa muestra la pantalla de presentación seguida de la pantalla de verificación de comunicación. Posteriormente se despliega en pantalla el formulario o ventana principal (ver figura 5).

Luego se efectúan las decisiones y saltos a subrutinas, si se ha presionado alguno de los botones. Si no se ha presionado ningún botón, el programa envía un comando de lectura y lee los datos provenientes de la interfaz.

A continuación se efectúa un refrescamiento de los datos mostrados en la pantalla, se evalúan las magnitudes de las variables para determinar si alguna se encuentra en nivel crítico o de alarma, si es así se muestran los mensajes correspondientes.

Finalmente se revisa si se ha presionado el botón salir, si es así, el programa finaliza, en caso contrario el programa se repite desde la decisión de botones presionados.

En el Flujograma 7 se observa que al presionar el botón ver planta en la ventana principal (figura 5) se ejecuta esta subrutina, ésta invoca una función que descarga cualquier ventana secundaria del programa. Luego carga la ventana de la subrutina "Ver Planta" (figura 9). Posteriormente el programa actualiza los valores de las variables leídas desde el programa principal, luego se evalúa si se ha presionado al menos un botón, en caso afirmativo se ejecuta la subrutina correspondiente, y en el caso negativo el programa regresa a actualizar los valores de las variables leídas.

En el Flujograma 8, si se presiona el botón Gráficas en la ventana principal (figura 5), se ejecuta esta subrutina, en la cual primero se llama una función para descargar cualquier ventana secundaria del programa. Posteriormente se carga la visualización de la ventana "Gráficas" (Figura 11). A continuación se actualizan las variables leídas desde la interfase, luego se grafican las variables que han sido chequeadas por el usuario. Posteriormente se verifica si se ha presionado alguno de los botones, si es así, se ejecuta la subrutina correspondiente, en caso contrario el programa regresa a actualizar las variables leídas desde la interfase.

En el Flujograma 9 se observa que al presionar el botón configuración en la ventana principal (figura 5) se ejecuta esta subrutina, ésta invoca una función que descarga cualquier ventana secundaria del

programa. Luego carga la ventana de la subrutina "Configuración" (figura 6). Posteriormente revisa si se ha presionado alguno de los botones: "Modificar Valores K_p , K_i , K_d ", "Enviar al Controlador" o "Cancelar".

Si se presiona el primero de estos botones, el programa despliega una ventana en la cuál se pide una contraseña (figura 7), si la contraseña es incorrecta se muestra una ventana indicando que la contraseña es errónea y el programa retorna a la ventana de configuración, si la contraseña es correcta el programa despliega la ventana: "Constantes del Controlador PID" (figura 8), en donde se pueden modificar los valores de las constantes K_p , K_i y K_d , también puede presionarse el botón "Modificar Contraseña" con el cual es posible cambiar la palabra clave. Al salir de estas ventanas se retorna a la subrutina de Configuración.

Si se presiona el segundo botón "Enviar al Controlador", el programa envía los comandos necesarios y ejecuta ciertas funciones de conversión de datos, para enviar al microcontrolador la información relacionada para su operación. Esta información incluye: el Porcentaje de Potasio en la Mezcla Final, el Nivel de Producción, el Modo de Control (Automático o Manual), y los valores de las constantes K_p , K_i y K_d .

Si se presiona el botón Cancelar, se descarga esta ventana y retorna a la pantalla principal (figura 5).

En el Flujograma 10, se puede observar que: si desde la ventana Gráficas (figura 11) se hace clic sobre el fondo de una de las gráficas o sobre uno de los cuadros indicadores de color de las gráficas, se invoca la subrutina Colores. En esta subrutina primero se almacena y se muestra el color desde el que ha sido llamada (la subrutina), este color puede ser modificado variando la magnitud de una, dos o las tres barras que aparecen, cada una de estas barras representa la intensidad de color del sistema RGB (Rojo, Verde, Azul), si se presiona aceptar el color anterior es sustituido por la nueva combinación, si se presiona cancelar los cambios se descartan y se regresa a la ventana gráficas (figura 11).

Paro de Emergencia

El paro de emergencia tanto para el Microcontrolador como para la computadora no está incluido en los flujogramas mostrados anteriormente, ya que esta función debe ser totalmente independiente del segmento de programa que se está ejecutando.

El paro de emergencia responde a una interrupción (o evento), la cual desvía al programa principal hacia una función de no operación mientras este activo dicho estado.

Al desactivar el paro de emergencia, el equipo permanece detenido hasta que se da un comando de arranque. Esta consideración se ha incluido con el objetivo de priorizar la seguridad, como lo establece la guía GEMMA. [5]

“La Guía GEMMA, Guía para el estudio de los modos de Marchas y Paradas, es una representación organizada de todos los modos o estados en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado”, igualmente representa los saltos o transiciones que se dan de un estado a otro. [5]

Alarmas y Avisos

Las alarmas se hacen notar haciendo cambiar el color del indicador correspondiente del elemento que genere dicha alarma. Éstos se encuentran en la zona de indicadores, en la parte inferior de la pantalla (ver figuras 5, 9, 10 y 11).

Contiguo a cada indicador se hacen presentes los avisos de estado de cada elemento, estos avisos de estado son los siguientes:

OK: Indica que el elemento se encuentra funcionando sin ninguna anomalía.

Advertencia: Hace referencia a un estado en el cual el elemento en cuestión se encuentra operando con alguna anomalía de mediana gravedad, esta anomalía debe ser verificada y de ser posible solucionada.

Alarma: Establece una condición en la que el elemento en cuestión se encuentra operando bajo la incidencia de alguna anomalía grave, la cual debe ser corregida a la mayor brevedad.

CONSIDERACIONES DEL ALGORITMO DE CONTROL

El algoritmo de control se basa prácticamente en las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.10, que relacionan las variables del proceso. A continuación se detallan las variables, seguidas del proceso para efectuar el cálculo de las mismas.

Variables del Proceso

Kvinaz	Indica el porcentaje de potasio que el sensor detecta a la salida del tanque de vinaza
Spkmezcla	Expresa el porcentaje de potasio deseado en la mezcla final
Favinaza	Denota el flujo actual de vinaza
Fagua:	Señala el flujo actual de agua
Spftotal	Indica el flujo total deseado, vinaza + agua
Spfvinaza	Representa la abertura de la válvula de vinaza, donde 100% significa totalmente abierta, y 0% denota totalmente cerrada.
Spfagua	Expresa la abertura de la válvula de agua, donde 100% indica totalmente abierta, y 0% significa totalmente cerrada.

Cálculo de Variables del Proceso

A continuación se presentan las ecuaciones que dan las referencias para las válvulas.

$$Spfvinaza = Spftotal \times \frac{Spkmezcla}{Kvinaz} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$Spfagua = Spftotal - Favinaza \quad \text{Ec. 3.2}$$

Los datos obtenidos en las ecuaciones 3.1 y 3.2 son los valores de referencia para un controlador de lazo cerrado de flujo, el cual hará las correcciones finas en las variables.

Las variables introducidas por el usuario son $Spftotal$ y $Spkmezcla$.

Luego tomando la medición de la variable $Kvinaz$ y efectuando la ecuación 3.1 se obtiene: $Spfvinaza$.

Posteriormente realizando la medición del flujo de vinaza, y evaluando la ecuación 3.2 se obtiene: $Spfagua$.

$Spfvinaza$ y $Spfagua$ son las dos variables que se necesitan para introducirlas a un control PID que corrija las posibles perturbaciones y así obtener un dominio sobre los actuadores. Para mayor información ver el apéndice G.

El control PID está aplicado a la válvula de vinaza, en donde la realimentación es el flujo de vinaza. En este caso no es necesario aplicar un PID a la válvula de agua ya que el sistema se vuelve redundante y podría crear confusión al usuario para ajustar los parámetros de los dos controladores PID.

Sin embargo a continuación se detalla una forma de cómo realizar una realimentación extra al controlador. Esto agrega al sistema una corrección basándose en el contenido de potasio en la mezcla.

La técnica consiste simplemente en agregar un lazo de realimentación al sistema, esta realimentación se lleva a cabo con el sensor de potasio en la mezcla final¹, que está ubicado en la tubería que lleva el agua y la vinaza juntas (Ver figura 2). Esta realimentación es introducida en la ecuación 3.3 para calcular el valor de consigna de la válvula de vinaza. Luego en el controlador es necesario sustituir la ecuación 3.1 por la siguiente:

$$Spfvinaza = \left(Spftotal \times \frac{Spkmezcla}{Kvinaz} \right) + \left((Spkmezcla - S2) \times \left(1 - \frac{Spftotal}{100} \right) \right) \quad \text{Ec. 3.3}$$

En caso que el flujo de agua varíe, el contenido de potasio en la mezcla también lo hará, esto será detectado por S2 (Sensor de Potasio en la Mezcla Final). Con el nuevo valor dado por S2, el sistema realizará el cálculo de $Spfvinaza$ y $Spfagua$ (Ecs. 3.3 y 3.2 respectivamente), hasta obtener el valor deseado de Potasio en la Mezcla Final.

¹ Denominador S2

Sistema de Control en Lazo Cerrado

El algoritmo de mando incorpora un control de lazo cerrado. Que es muy similar al mostrado en la figura 12.

Los sistemas de control en lazo cerrado se conocen también como sistemas de control retroalimentados. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al *controlador* la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal que se desea tener y la señal que se tiene actualmente², el controlador efectúa una acción a fin de reducir el error y llevar la variable que se está controlando a un valor conveniente. [4]

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la retroalimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas. Los sistemas de lazo cerrado son preferibles cuando se presentan perturbaciones impredecibles. [4]

El control utilizado para este proyecto es de tipo PID, es decir que cuenta con una componente proporcional, una componente integral y una componente derivativa, las cuales pueden ser modificadas por el usuario.

La figura 12 muestra un esquema convencional de control en lazo cerrado, de donde se hace evidente la similitud con el esquema de la figura 13, la cuál muestra un lazo cerrado de control discretizado. [7]

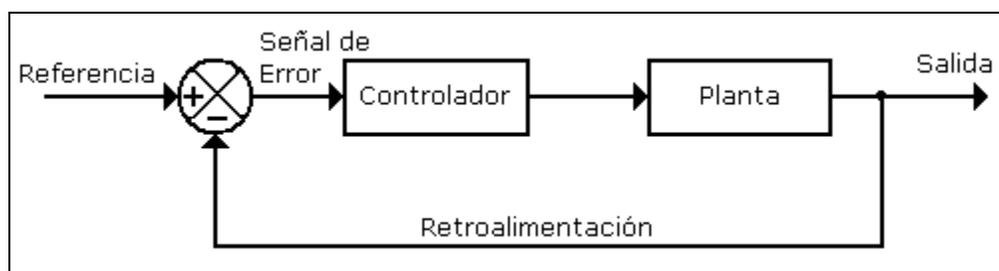


Fig. 12. Esquema de Control Convencional en Lazo Cerrado. [7]

² Conocida como señal de retroalimentación.

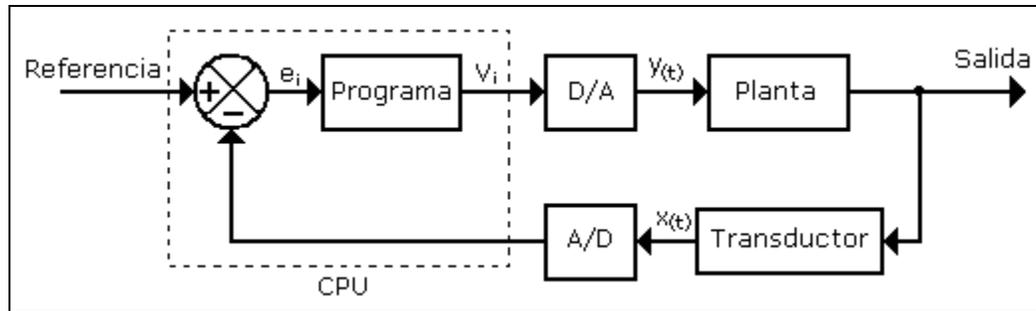


Fig. 13. Esquema de Control Discretizado en Lazo Cerrado. [7]

$$y(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

$y(t)$ = Acción del Controlador

$e(t)$ = Señal de Error

Las relaciones entre el tiempo integral (T_i) y derivativo (T_d) y K_i y K_d se definen por:

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Las diferentes partes del controlador poseen las siguientes características:

- Acción Proporcional K_P :
 - Un valor alto de esta componente puede causar oscilación en el sistema. Además, ante un error de estado estacionario la componente proporcional no realiza ninguna acción para corregirlo.
- Acción Derivativa K_D :
 - Añade sensibilidad.
 - Responde a la tasa de cambio del error, y puede producir una significativa corrección antes que la magnitud de dicho error crezca significativamente.
 - Causa problemas si el sistema es "ruidoso", aunque no existan cambios en el error de estado estacionario.

- Acción Integral KI
 - Elimina o reduce el error de estado estacionario.

Ecuaciones PID Discretizadas [6]

“Para discretizar la ecuación del controlador es necesario establecer equivalencias numéricas adecuadas para una computadora.

$$\frac{d e(t)}{dt} \approx \frac{e(t) - e(t-1)}{T} \quad \text{Ec 3.7} \quad \text{y} \quad \int_0^t e(t) dt \approx T \sum_0^t e(i) \quad \text{Ec 3.8}$$

Derivada Integral

Partiendo de la ecuación 3.4 se tiene:

$$x(t) = Kp e(t) + Ki \int_{t=0}^t [Gd - G(t)] dt + Kd \left. \frac{d e(t)}{dt} \right|_{t=T} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Para introducir el tiempo discreto se hace $t = kT$, en donde $k = 1, 2, \dots, n$ y $T =$ periodo de muestreo y actualización del control si $t_0 = (k-1)T$ la integral evaluada desde $(k-1)T$ hasta kT puede ser aproximada utilizando la regla de integración trapezoidal. La derivada del termino de error es simplemente la tasa de cambio del error, pero esto puede entorpecer la señal en un cierto período. Utilizando un promedio de cuatro puntos para encontrar el término de diferencia, es una manera práctica de realizar este cálculo en un microprocesador.

La forma de la ecuación que puede ser ejecutada directamente en el microcontrolador es:

$$x(t) = KP e(t) + KI \left(Gdt - \frac{T}{2} (G(Kt) + G[(k-1)T]) \right) + \frac{KD}{6T} ((e(kT) - e(k-3)) + 3(e(k-1) - e(k-2)))$$

Ec. 3.10

Este termino es añadido a la salida actual y puesto en los registros de escritura analógica en el comienzo del siguiente ciclo de cálculo.” [6]

Mapa de Almacenamiento de Variables para el Control PID

La tabla siguiente muestra las localidades de memoria utilizadas en el cálculo de las variables del control PID. Estas localidades son importantes ya que la subrutina de control del Microcontrolador hace referencia directa a cada localidad.

PWDTY0	equ \$0050	Salida Analógica para Válvula de Vinaza
PWDTY1	equ \$0051	Salida Analógica para Válvula de Agua
ADR0H	equ \$0070	Resultado de la conversión de PAD0 sensor potasio en mezcla final
ADR1H	equ \$0072	Resultado de la conversión de PAD1 sensor potasio en vinaza
ADR2H	equ \$0074	Resultado de la conversión de PAD2 flujo de agua
ADR3H	equ \$0076	Resultado de la conversión de PAD3 flujo de vinaza
ADR4H	equ \$0078	Resultado de la conversión de PAD4 nivel tanque agua
ADR5H	equ \$007A	Resultado de la conversión de PAD5 nivel tanque vinaza
ERRX	equ \$0800	Error
ERRM1X	equ \$0802	Error anterior
ERRM2X	equ \$0804	Error anterior
ERRM3X	equ \$0806	Error anterior
KP	equ \$0808	Parte entera
KPFRAC	equ \$080A	Parte fraccionaria
KI	equ \$080C	Parte entera
KIFRAC	equ \$080E	Parte fraccionaria
KD	equ \$0810	Parte entera
KDFRAC	equ \$0812	Parte fraccionaria
SPKM	equ \$0814	porcentaje de potasio en la mezcla
SPFTOT	equ \$0816	Set Point flujo total
PERDTFRAC	equ \$0818	Periodo
VAR1	equ \$081A	Variable temporal

VAR2	equ \$081B	Estatus de PID
INT56	equ \$081C	Variable temporal
FC56	equ \$081E	Variable temporal
TEMP1	equ \$0820	Variable temporal
TEMP2	equ \$0822	Variable temporal
TEMP3	equ \$0824	Variable temporal
TEMP4	equ \$0826	Variable temporal
ADRCX	equ \$0828	Flujo vinaza
ADRCXM1	equ \$082A	Flujo de vinaza anterior
CMNDVX	equ \$082C	Set Point de la Válvula Vinaza
KPTRM	equ \$082E	Termino KP
KITRM	equ \$0832	Termino KI
KDTRM	equ \$0836	Termino KD
LTEMP1	equ \$083A	Variable temporal
LTEMP2	equ \$083E	Variable temporal
LTEMP3	equ \$0842	Variable temporal
LTEMP4	equ \$0846	Variable temporal
LTEMP5	equ \$084A	Variable temporal
LTEMP6	equ \$084E	Variable temporal
LTEMP7	equ \$0852	Variable temporal
LTEMP8	equ \$0856	Variable temporal
LTEMP9	equ \$085A	Variable temporal
LTEMPA	equ \$085E	Variable temporal
FCINT56	equ \$0862	Variable temporal
INTFC56	equ \$0866	Variable temporal
OLDDTY	equ \$086A	Valor anterior del PID
NEWDTY	equ \$086E	Valor actual del PID

CAPITULO IV

INTERFAZ

La interfase es un equipo electrónico capaz de efectuar la función de control en el proceso de mixtura vinaza agua, y de interactuar entre la computadora y los sensores y actuadores.

Características de la Interfase

- Manejo de un protocolo de comunicación estándar.
- Capacidad de almacenar información (un programa de control y sus respectivas variables).
- Compatibilidad eléctrica con sensores y actuadores del “estándar industrial 4 a 20 mA.” [8]
- De dimensión compacta y práctica.
- Precio accesible comparado con sistemas similares.

Después de analizar varias opciones que ofrece la tecnología actual, se decidió utilizar un microcontrolador. Para mayor información ver el Apéndice C.

Además parte del concepto es no depender del tiempo de respuesta del computador y orientar cada parte del sistema en una función específica.

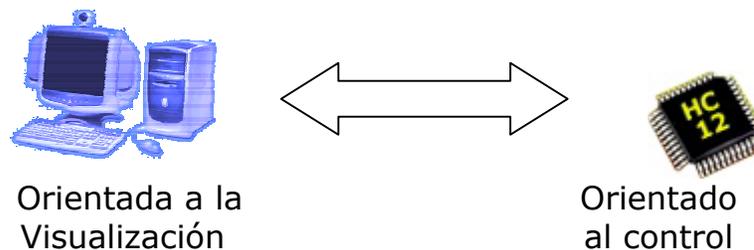


Fig. 14. Orientación de los Componentes del Sistema.

El microcontrolador trabaja con señales máximas de 5 voltios las cuales se acondicionan por medio de circuitos externos a señales de 4 – 20 mA para entradas y salidas analógicas. Para el caso de las entradas digitales, se acoplarán al microcontrolador circuitos para poder aceptar un formato de 0VDC y 24 VDC como 0 y 1 lógicos. Las salidas digitales son por relé.

Como se puede ver en la figura 15, el microcontrolador esta interconectado con algunos componentes adicionales que conforman la interfase.

Componentes Adicionales Utilizados

En el diagrama de la figura 15 se observa que las entradas y salidas tanto analógicas como las digitales están interfazadas con el microcontrolador por medio de acondicionadores de señal. Ya que el microcontrolador trabaja directamente con señales de voltaje máximas de 5V.

En vista de que el microcontrolador no dispone de salidas analógicas, se utilizan convertidores de voltaje a corriente, los cuales se conectan a un puerto PWM del microcontrolador PP0 y PP2.

Al igual que las entradas analógicas, las salidas analógicas han sido calculadas para un máximo de 20 mA, respetando la compatibilidad industrial. [8]

Por último, se utilizan para las salidas digitales, contactos de relés, ya que éstos agregan posibilidades de manipular otro tipo de voltajes, lo cual es común en el campo de trabajo.

Listado de Entradas y Salidas Utilizadas.

A continuación se presenta un detalle de las entradas y salidas del circuito de control, junto con los terminales de conexión³ a sensores y actuadores, con los cuales interactuará el sistema. Para mayor referencia, ver la figura 15.

³ Se hace referencia al nombre de los pines en la tarjeta del microcontrolador.

Entradas analógicas

- PAD0 Medidor de potasio en el producto final
- PAD1 Medidor de potasio en la vinaza
- PAD2 Medidor de flujo de agua
- PAD3 Medidor de flujo de vinaza
- PAD4 Medidor de nivel del tanque de agua
- PAD5 Medidor de nivel del tanque de vinaza

Entradas digitales

- PA5 Reserva
- PA6 Reserva

Salidas analógicas

- PPO Válvula reguladora para el flujo de agua
- PP1 Válvula reguladora para el flujo de vinaza

Salidas digitales

- PA0 Agitador
- PA1 Reserva
- PA2 Reserva
- PA3 Reserva
- PA4 Reserva

Diagrama de la Interfase

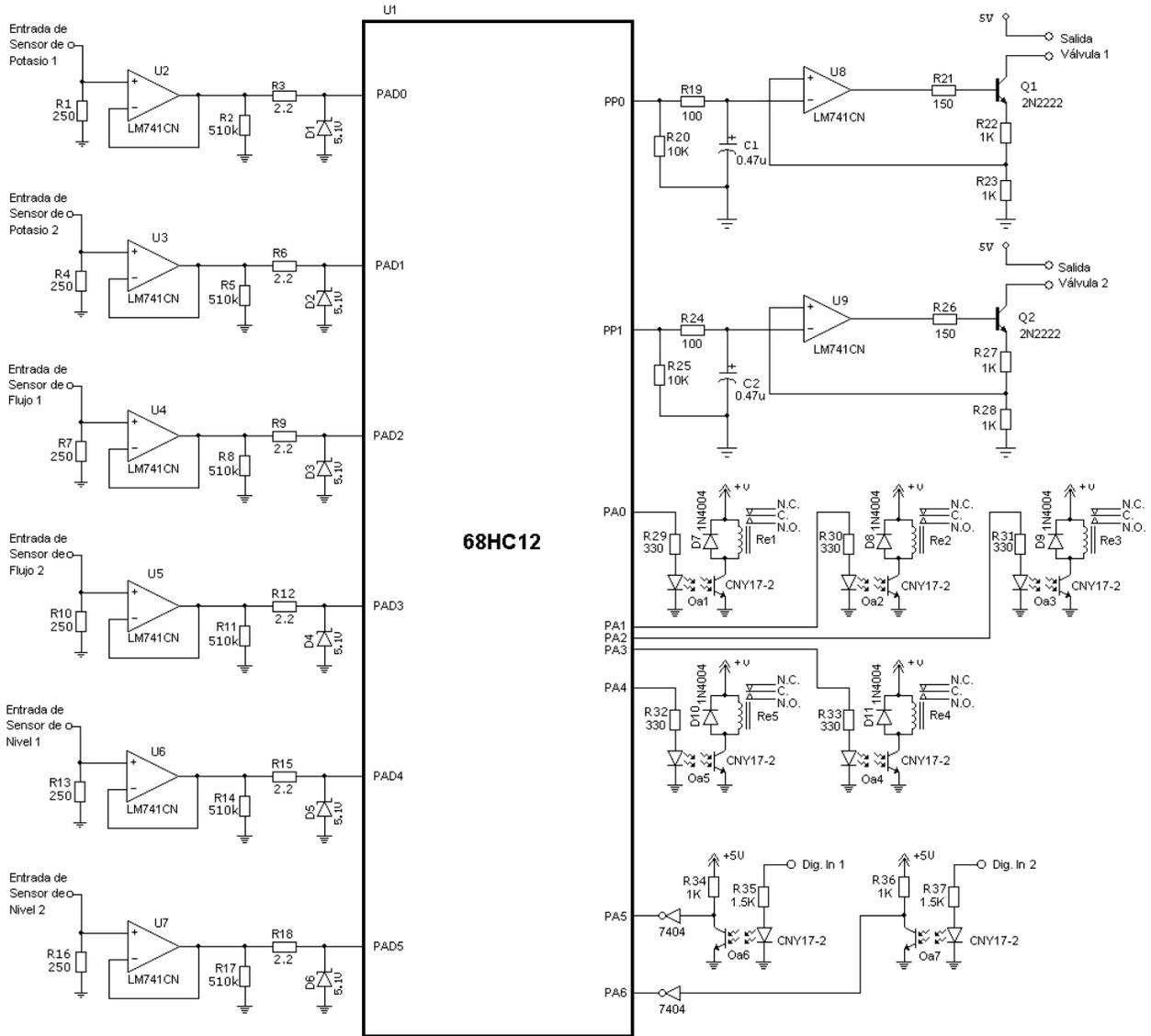


Fig. 15. Diagrama Esquemático de la Interfase

El circuito de la interfase de control posee como elemento central la tarjeta de evaluación que contiene al Microcontrolador, representada en el diagrama esquemático de la figura 15 por el bloque U1.

A partir del bloque U1 se efectúan una serie de conexiones con otros circuitos próximos a éste; el resultado es un circuito capaz de leer 6

valores analógicos y 2 digitales, y de escribir 2 canales analógicos y 5 digitales.

Circuitos Acondicionadores de Señal

Entradas Analógicas:

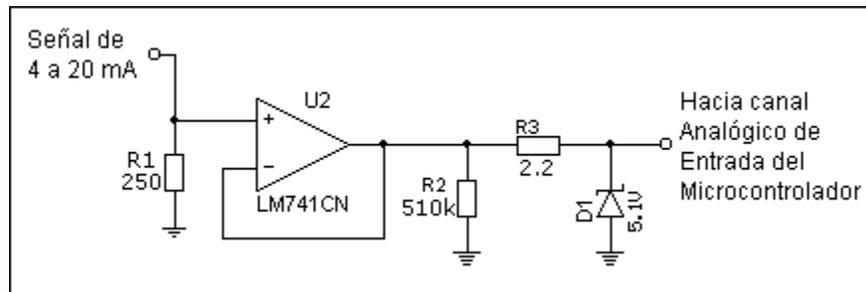


Fig. 16. Acondicionador de Señal para Entrada Analógica

Los seis circuitos repetitivos localizados a la izquierda de U1 en la figura 15, conforman los acondicionadores de señal para los canales analógicos de entrada de U1, éstos últimos designados por "PAD" junto al número de canal.

La figura 16, muestra un circuito que acomoda una señal de 4 A 20mA, para ser leída por uno de los canales analógicos del Microcontrolador⁴.

El circuito consta de un amplificador operacional en configuración de seguidor de voltaje. La entrada no inversora del amplificador es excitada por el voltaje presente en R1, que es producido por la corriente de entrada en el rango de 4 a 20 mA. Para obtener el valor de R1, es necesario considerar que las variaciones de corriente de entrada deben proporcionar un voltaje proporcional que no exceda 5V, para esto se aplica la ley de Ohm con el valor de 20mA y 5V, obteniendo un valor de resistencia de 250 Ohms, por lo tanto el voltaje en sus extremos varía de 1V a 5V proporcionalmente a las variaciones de 4 a 20mA de entrada. De lo anterior puede afirmarse que a la salida del amplificador operacional U2 se obtendrá un voltaje comprendido entre 1V y 5V. Si este voltaje es 0V evidencia que el sensor o el cable se encuentran defectuosos, esto se concluye debido a la ausencia de corriente. [2]

La señal resultante del seguidor de voltaje pasa por el arreglo formado por R2, R3 y D1.

⁴ El Microcontrolador utilizado cuenta con un puerto de entradas analógicas de 8 canales.

R2 es una resistencia de polarización, por lo tanto no debe tener un valor bajo, debido a que esto reduciría el voltaje a la salida de U2, para este diseño se escogió el valor de 510K Ohms para R2. R3 tiene la función de absorber cualquier excedente de voltaje que pueda dañar las entradas del microcontrolador, sin embargo no puede tener un valor alto debido a que restaría voltaje y daría una lectura errónea al microcontrolador. R3 se escogió de 2.2 Ohms, ya que con este valor la caída de voltaje en sus extremos para condiciones normales de operación resulta despreciable, sin embargo, si se tuviera por ejemplo una corriente de 35mA de entrada, se generaría un voltaje de 8.75 V de entrada, este también estaría presente en los extremos de R2; en los extremos de R3 se tendría la diferencia de 8.75V y 5.1V, (voltaje limitado por el diodo Zener D1), es decir: 3.65V, para lo cuál, R3 se encuentra disipando una potencia de 6.05 W. Ya que en el peor de los casos U2 proporcionara 12V, se tendría una caída de voltaje en R3 de 6.9V, y una potencia de 21.64W, debido a esto R3 requiere ser de 25W de potencia.

Si se sabe que R3 tiene un valor de 2.2 Ohm, y R2 un valor de 510 KOhm, entonces puede observarse que esta configuración de dos resistencias y el diodo Zener D1, no permiten que a la salida del circuito se pueda encontrar un voltaje superior a 5.1V. Si a la entrada del circuito se aplicara por error una corriente mayor a 20 mA, entonces, a la salida del amplificador operacional se obtendría un voltaje superior a 5V, el cual se vería reflejado en los extremos de R2, pero ya que D1 limita el voltaje a 5.1V, la diferencia de voltajes recae sobre R3, asegurando que al microcontrolador no le sea aplicado un sobrevoltaje. [2]

El funcionamiento de los circuitos para el resto de entradas analógicas es similar al explicado.

Salidas Analógicas:

Los dos circuitos ubicados en la parte superior derecha de la figura 15, conforman las dos salidas analógicas que posee el sistema. Estos circuitos se han conectado al puerto PWM del microcontrolador, específicamente a las terminales PP0 y PP1.

La siguiente figura ilustra el circuito que utiliza el sistema para obtener una salida analógica.

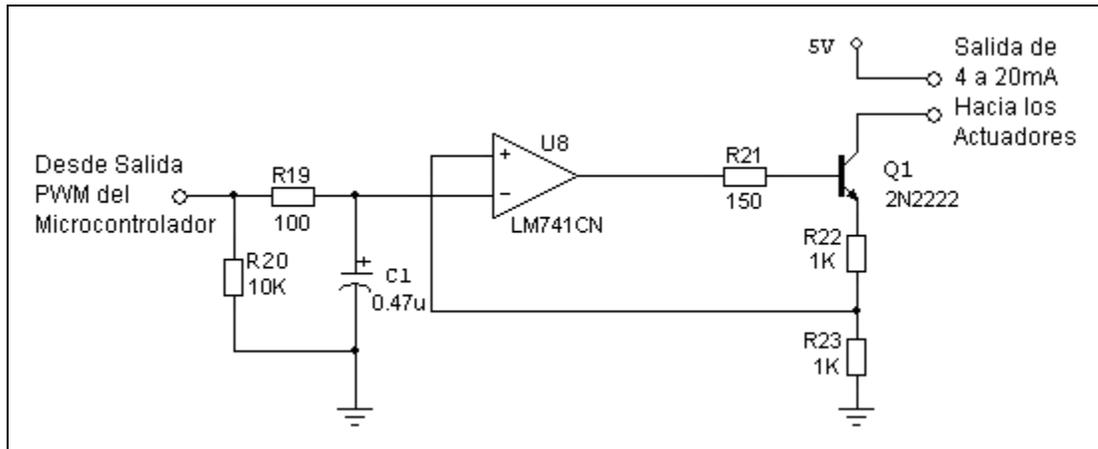


Fig. 17. Acondicionador de Señal para Salida Analógica

R20 es una resistencia de descarga del capacitor (C1), R19 y C1 conforman un filtro pasabajos, para filtrar las señales provenientes del PWM del microcontrolador.

La idea de incluir un filtro formado por R19 y C1 es botar la señal pulsante generada por el PWM y convertirla en una señal continua que varíe de 1 a 5V.

Ya que el PWM esta configurado para una frecuencia de 490 HZ se tiene que calcular un filtro que abarque las señales debajo de esta frecuencia por lo tanto se tiene.

$$XC = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Para C1 = 0.47 uF y una frecuencia de 490 Hz

$$XC = \frac{1}{0.00144701} = 691.0766$$

Para una resistencia de R19 = 100, se tiene una atenuación de 12.6% del valor de entrada lo cual es razonable.

R22 y R23 es necesario que se calculen para obtener la mitad del voltaje de alimentación por lo que se eligen de igual valor con el cuidado de no obtener un valor muy alto entre las dos. Para este caso se eligieron ambas de un valor de 1K Ohms.

Q1 es un transistor de propósito general y hace la misma función de un potenciómetro, es decir que varía su resistencia para poder regular la corriente entre colector y emisor. A fin de no dañarlo es conveniente conectarle a su base una resistencia de acople.

Si las corrientes de colector variaran entre 4 y 20mA, las corrientes de base variaran asumiendo un beta típico de 90 entre 44.4 uA y 222.2 uA.

Para un valor de R21 de 150 Ohms se tiene por ley de Ohm que el máximo voltaje aplicado a la base será de 33.3 mV lo cual asegura que no se dañara.

El funcionamiento del circuito es el siguiente:

Por medio del puerto PWM se obtiene una señal variante en su ciclo de trabajo lo cual es controlado por el algoritmo de control PID, esta señal que varia en su voltaje promedio entre 0 y 5 V es filtrada por medio de R19, R20 y C1. [2]

Una vez filtrada la señal esta es convertida a una señal de corriente que varía de 0 a 20 mA proporcionalmente de acuerdo a la señal de 0 a 5V de entrada. Dicha variación es efectuada por Q1, U8, R21, R22 y R23. Por medio de software es posible hacer que el voltaje de salida del microcontrolador varía de 1 a 5V y no de 0 a 5V, de esta manera se consigue que el valor mínimo de salida sean 4mA. [2]

Salidas Digitales:

Los cinco circuitos conectados al puerto "PA" desde el bit 0 hasta el bit 4, constituyen las salidas digitales del sistema, las cuales poseen accionamiento de contactos.

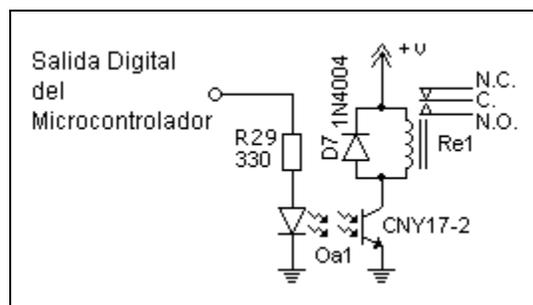


Fig. 18. Acondicionador de Señal para Salida Digital

La figura 18 muestra el circuito correspondiente a una de las salidas digitales del sistema. El circuito consta de un optoacoplador (Oa1) que es excitado por uno de los bits del puerto "PA" a través de la resistencia R29.

El valor de R29 (330 Ohms) ha sido determinado por las recomendaciones de polarización del fabricante del optoacoplador.

En consecuencia cuando Oa1 entra en saturación activa el Relé Re1, dando como resultado la activación de los contactos de esta salida.

Los restantes cuatro circuitos, correspondientes a los bits "PA1" a "PA4" operan de igual forma que el circuito de la figura 18.

Entradas Digitales:

Los últimos dos circuitos, que se encuentran en la parte inferior derecha de la figura 15, son los acondicionadores de señal para las entradas digitales del sistema.

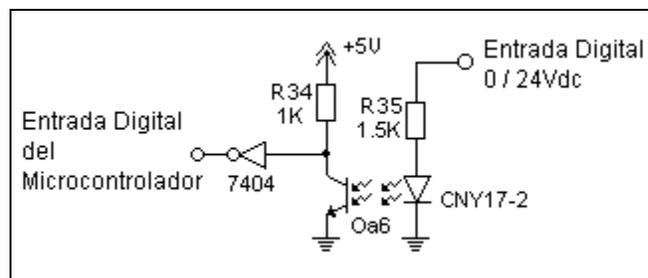


Fig. 19. Acondicionador de Señal para Entrada Digital

En el circuito de la figura anterior puede observarse el acondicionamiento de señal para las entradas digitales del sistema. El circuito consta de un optoacoplador (Oa6) que recibe una señal a través del terminal entrada digital y que se mantiene en corte o saturación en concordancia con la terminal mencionada, ya sea que esta presente un 0 o un 1 digital (de 24Vdc), respectivamente.

El valor de R35 (330 Ohms) ha sido determinado por las recomendaciones de polarización del fabricante del optoacoplador.

R34 es una resistencia de polarización, por lo cuál se ha determinado que su valor sea de 1 K Ohm.

Si el optoacoplador se encuentra en corte se obtendrá en su colector un voltaje de aproximadamente 5V, que se transformará en 0 gracias al inversor. Si el optoacoplador se encuentra en saturación, se reflejará en el

Colector un voltaje de 0V, que se transformará en un 1 lógico a la salida del inversor.

El otro circuito de entrada digital posee el mismo funcionamiento que el de la figura 19.

Características Eléctricas Esperadas de Actuadores y Sensores

Al referirnos al proceso de mixtura vinaza – agua, resulta evidente que para regular los flujos de líquidos se necesitan válvulas, y en vista que se busca automatizar tal proceso por medio de un sistema electrónico, resulta necesario poseer válvulas que puedan responder a variaciones eléctricas. Dichas válvulas se simularán al momento de la prueba del sistema.

En la actualidad existen compañías que han desarrollado sistemas de válvulas que varían su posición (nivel de abertura) proporcionalmente a una señal eléctrica.

Al considerar esto, se ha determinado que los actuadores del sistema de control serán válvulas proporcionales controladas eléctricamente, las cuales deben cumplir con el estándar 4 a 20 mA. [8]

Los sensores de flujo y de potasio también deben proporcionar una señal que cumpla con el estándar industrial de 4 a 20 mA [8].

Los apéndices D y E contienen información respectivamente de un tipo de válvula proporcional que puede ser utilizada con este sistema y de espectrómetros de masas como medidores de potasio en una sustancia.

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DEL SISTEMA

El sistema ha sido probado utilizando LabVIEW® como simulador de planta ya que este programa ofrece la ventaja de poseer “funciones de transferencia” de válvulas reales y permite monitorear gráficamente dichas respuestas. El enlace entre el controlador vinaza – agua será galvánico con una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments© que interactúa con LabVIEW.

Los sensores de potasio se simulan generando señales analógicas desde la tarjeta National Instruments con el fin de que el sistema completo (controlador vinaza – agua) demuestre su funcionalidad de control.

Tanto la pantalla de pruebas como el programa de simulación se muestran a continuación en las figuras 20 y 21.

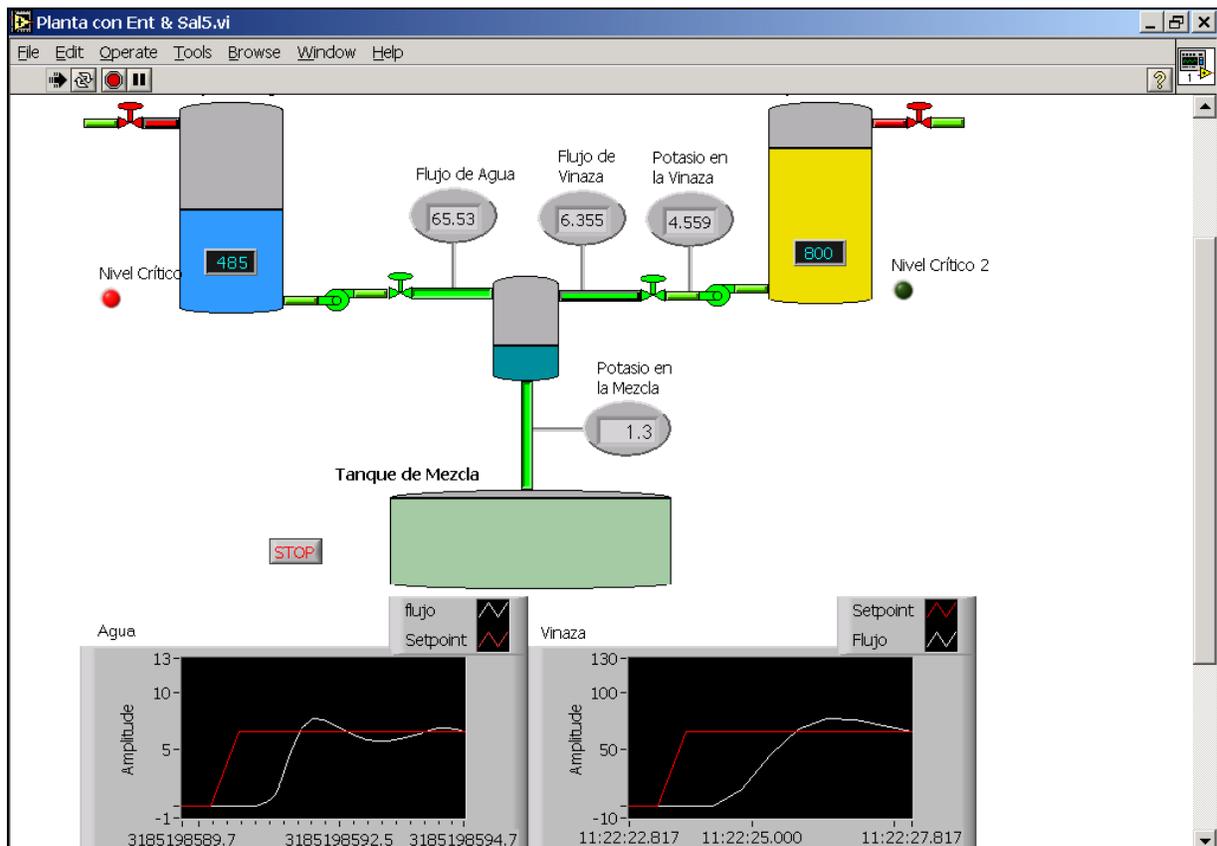


Fig. 20. Panel frontal en LabVIEW.

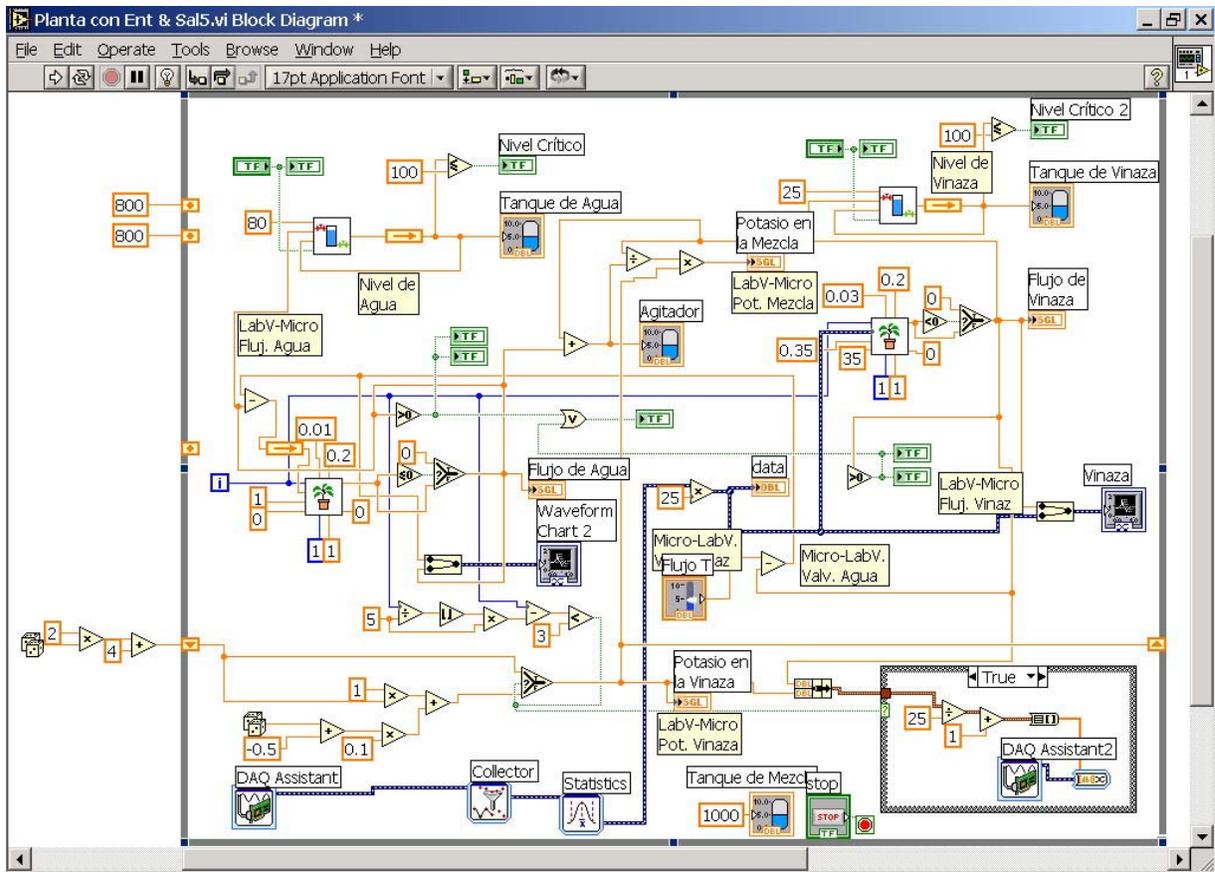


Fig. 21. Panel esquemático en LabVIEW.

RECOMENDACIONES

- Se ha notado que el controlador PID se vuelve inestable con valores altos de la constante K_D , por lo que se recomienda asignarle un valor bajo o anularla en ciertos casos; los valores que mostraron buenos resultados en las pruebas realizadas fueron $K_P=0.12$, $K_I=6$, y $K_D=0$.
- Los cambios en las constantes del controlador PID deben ajustarse para poder proporcionar una respuesta suave, ya que el control va orientado a válvulas las cuales no reaccionan de manera rápida.
- El algoritmo de control ha sido resumido a un solo control PID ya que cumple con la función de control de manera eficiente, además esto agrega mas facilidad para el usuario en el ajuste del sistema.
- Para que el controlador sea menos vulnerable ante las perturbaciones externas, puede agregarse un lazo de realimentación de potasio, que se explica en la sección "Cálculo de Variables del Sistema" del Capítulo 3.
- Las dimensiones de la planta deben ir acorde a los niveles de producción que se desean alcanzar, aunque por lo general serán altos debido a la cantidad de vinaza que se forma. Por lo tanto se recomienda utilizar tuberías de diámetros arriba de 4 pulgadas y que estén acorde a las dimensiones de los sensores de flujo y actuadores que existen en el mercado para evitar posibles atascamientos, a menos que por fines de investigación se elijan valores mas pequeños de tuberías.
- Para evitar daños a la planta se recomienda pasar la vinaza por un proceso de filtrado antes de someterla al proceso de mixtura, debido a que la vinaza contiene sólidos que podrían afectar el funcionamiento de los medidores de flujo y las válvulas.

CONCLUSIONES

- El controlador de mixtura vinaza - agua es una propuesta concreta al problema del desecho de la vinaza lo cual cumple con las expectativas propuestas desde el inicio de este diseño.
- El diseño del control (software y hardware) posee la flexibilidad de ajustarse a flujos máximos, niveles máximos, etc. Por lo tanto esto representa una ventaja para el sistema ya que no se limita a una planta de capacidades específicas si no más bien a capacidades variables las cuales son criterio del fabricante de la máquina.
- Debido a que el sistema debe efectuar constantemente el cálculo de ecuaciones, se ha determinado que es más viable un controlador de tipo discreto y no un controlador analógico.
- El establecer un sub-protocolo de comunicación, mejoró notablemente la transferencia de información entre el microcontrolador y el programa de la computadora.
- Al realizar diversas pruebas en la planta simulada en LabView, se determinó que el controlador se adapta de manera más satisfactoria para procesos lentos.
- La guía GEMMA resulta ser una gran herramienta debido a que proporciona un criterio ordenado para el diseño de proyectos automatizados.
- El uso de un microcontrolador agregó grandes mejoras al diseño de la interfase, además permitió realizar un controlador que puede operar de manera "fuera de línea" con la computadora.

REFERENCIAS

- [1] Asociación Azucarera de El Salvador. "Estudio de la reactivación de las plantas productoras de alcohol etílico anhidro en El Salvador a partir de diferentes mieles producidas en los ingenios azucareros", Diciembre 2000.

- [2] MALVINO, Albert Paul. "Principios de Electrónica", 3ª Ed. Mc.Graw Hill 1989. México.

- [3] Motorola. "M68HC12 & HCS12 Microcontrollers", Rev. 3. Abril 2002.

- [4] OGATA, Katsuhiko. "Ingeniería de control Moderna" 3ª Ed. Prentice Hall 1998. México

- [5] PIEDRAFITA MORENO, Ramón. "Ingeniería De La Automatización Industrial". 2ª Ed. Ampliada Y Actualizada. Alfaomega Ra-ma. Febrero 2004. México.

- [6] "PID Routines for MC68HC11K4 and MC68HC11N4 Microcontrollers"
<http://poly.polytechnique.fr:8080/binets/robot/elec/an1215.pdf>
23 Agosto 2004.

- [7] "Discrete Digital Control"
http://www.me.psu.edu/lamancusa/mechatronics/ppt/dig_control.ppt
23 Agosto 2004.

- [8] "Application Note AN104, Dataforth Corporation"
http://www.dataforth.com/catalog/bb/152_138011998.pdf
14 Octubre 2004.

[9] "Evaluación Preliminar de la Vinaza en la Productividad de la Caña de Azúcar Y Sobre Algunas Propiedades de un Suelo de la Planicie del Turbio"

<http://pegasus.ucla.edu.ve/ccc/resumen/agronomia/ca2-25-ag.htm>

12 Junio 2004.

[10] "Evaluación de la Vinaza Como Fertilizante Potásico en la Caña de Azúcar Y su Efecto Sobre las Propiedades Químicas de un Suelo de Atenas, Alajuela"

http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_X/a50-2388-III_175.pdf

12 Junio 2004.

[11] "La vinaza, de contaminante a fertilizante"

<http://mafalda.univalle.edu.co/~aupec/AUPEC/junio96/vinaza.html>

12 Junio 2004.

APENDICE A

MANUAL DEL USUARIO

- 1- Conectar el dispositivo de control o interfase a la computadora por medio del puerto Serial COM1, a través de un cable DB9.
- 2- Encender el dispositivo de control.
- 3- Con el programa ya instalado en la computadora, ejecutarlo haciendo doble click en el siguiente icono 
- 4- Inmediatamente después de la presentación del programa se muestra la pantalla de inicio de comunicación. (Figura A.1)



Fig. A.1. Pantalla de inicio de comunicación.

- 5- Si la comunicación falla se muestra la siguiente figura:



Fig. A.2. Pantalla de comunicación fallida.

6- De lo contrario, si no se muestra la pantalla de comunicación fallida, entonces se entiende que la comunicación ha sido exitosa y se observa la pantalla principal del sistema. (Ver figura A.3)

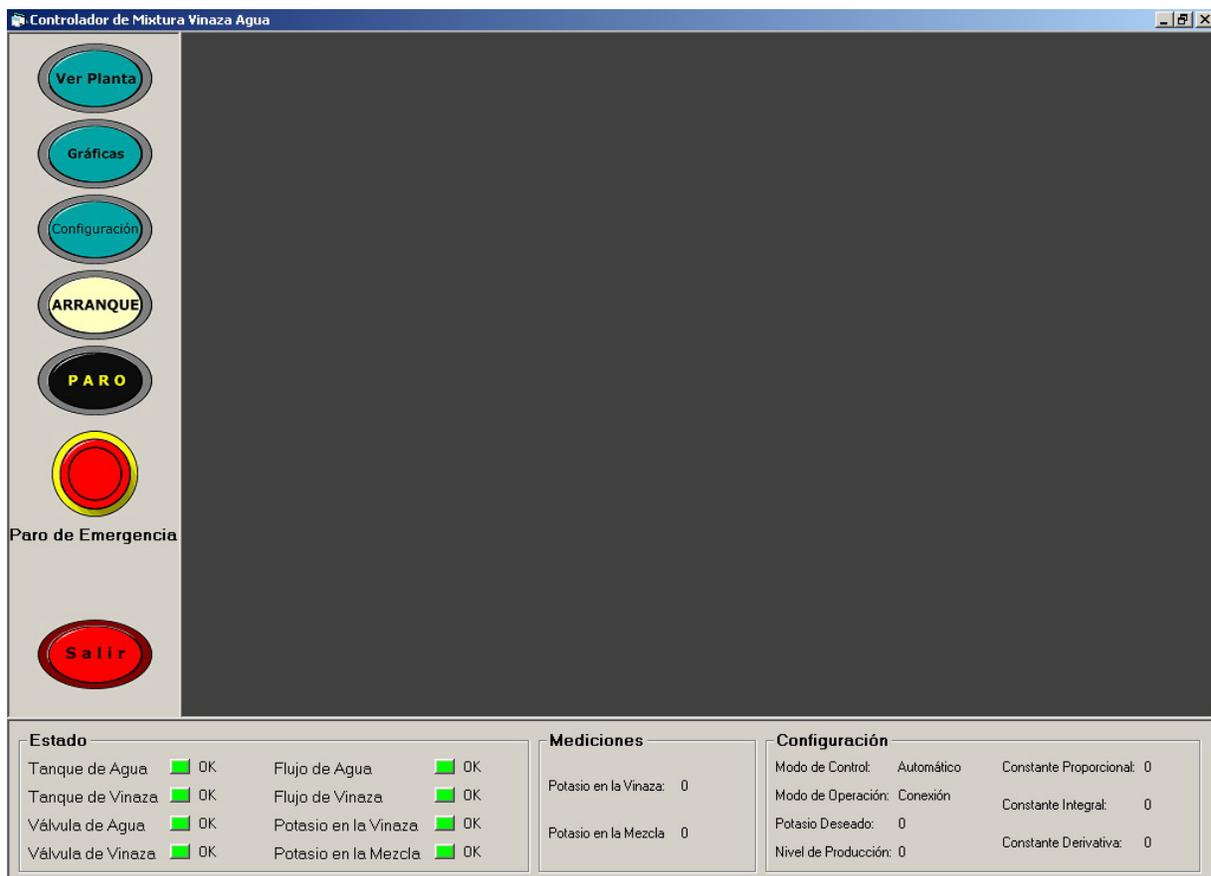


Fig. A.3. Pantalla Principal del Sistema

La pantalla principal del sistema posee tres grupos de indicadores ubicados en la parte inferior, los cuales son: Estado, Mediciones, y Configuración. Cada uno de estos conjuntos posee a su vez una serie de elementos, que indican el funcionamiento del sistema.

El grupo de estado contienen los indicadores de los niveles de los tanque de agua y de vinaza, indicadores para las válvulas (agua y vinaza), e indicadores para los sensores tanto de potasio como los de flujo.

En la sección de mediciones se encuentran los niveles de potasio detectados en la vinaza y en la mezcla final

El grupo indicador de Configuración muestra los modos de control y operación que se encuentran ejecutando, además indica los valores de las referencias o consignas del nivel de producción y del potasio

deseado en la mezcla final, también se muestran los valores de las constantes del controlador (K_p , K_i y K_d).

Además de mostrar los tres grupos indicadores, la pantalla principal da acceso a una serie de botones, que permiten efectuar las funciones principales del sistema, estos botones se encuentran en la parte izquierda de la figura A.3.

Con el botón "Ver planta" se accesa a la ventana que muestra un esquema de la planta en donde se pueden visualizar las magnitudes de todas las variables que se ven involucradas en el proceso de mixtura.

Con el botón "Gráficas" se accede a una pantalla en la cual es posible graficar las variables del sistema.

Con el botón Configuración se accesa a la ventana mostrada en la figura A.4, en la cual se especifican los valores de operación del sistema.

También se cuenta con los botones de Arranque, Paro y Paro de Emergencia. Con el primero el sistema entra en funcionamiento, con el botón Paro, el sistema se detiene, y con el botón paro de emergencia el sistema se detiene de inmediato, y espera hasta recibir una señal de arranque.

Tanto los indicadores como los botones utilizados en la pantalla principal, cumplen con las especificaciones proporcionadas por la guía GEMMA.

7- Selección de parámetros y modo de operación.

Para ingresar los parámetros de trabajo es necesario ingresar a la ventana de configuración. (Ver figura A.4)

La ventana de configuración posee las selecciones de manual / automático, y las configuraciones para establecer el volumen de producción y el porcentaje de potasio deseado en la mezcla final, además muestra el valor de las constantes proporcional, integral y derivativa del controlador.

El dato "Potasio en la Vinaza (%)", es un indicador del sistema y proporciona el porcentaje de potasio que se ha detectado en la vinaza que sale del tanque respectivo.



Fig. A.4. Ventana de Configuración

El parámetro: "Potasio en la Mezcla Final (%)", es un control, por medio del cual se le indica al sistema el contenido de potasio que deberá poseer la mezcla final.

El parámetro: "Nivel de Producción (%)" es un control por medio del cual se le indica al sistema el caudal a producir en porcentaje.

Los parámetros introducidos por el usuario tienen límites; ya que si se le pide al sistema un porcentaje de potasio en la mezcla mayor que el disponible en la vinaza, entonces, el sistema lo limitará al porcentaje disponible. De manera similar los valores para las constantes del controlador se encuentran delimitadas.

La máxima precisión que el sistema acepta es de: 0.00001558

Para poder cambiar las constantes del controlador, el programa despliega una ventana en la que debe introducirse una contraseña (Ver figura A.5), si la contraseña es errónea, se muestra un mensaje indicando que la contraseña no es la correcta y se retorna a la ventana de configuración; si la contraseña es correcta, entonces se muestra la ventana en la que se pueden modificar las constantes K_p , K_i y K_d del sistema. (Figura A.6). La contraseña por defecto del sistema es "123456". Esta puede ser cambiada haciendo click en el botón "Modificar Contraseña" en la ventana de introducción de las constantes del controlador. (Figura A.6)



Fig. A.5. Ventana de Contraseña

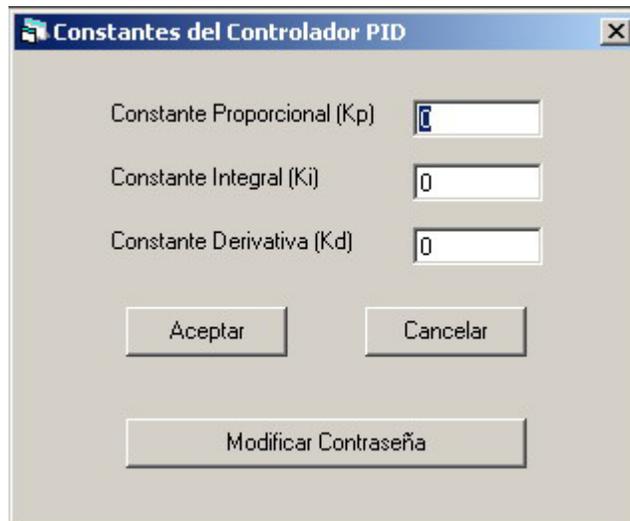


Fig. A.6. Ventana para cambiar Constantes del controlador

El objetivo de que el campo de configuración del PID se encuentre protegido por una contraseña es solo para agregar una medida de seguridad al sistema y que no sea fácilmente modificable por cualquier usuario.

En caso que el usuario olvide la contraseña, existe una clave maestra, con la cuál puede sobrescribirse la contraseña anterior. Esta clave maestra es conocida únicamente por el programador del sistema.

Modos de Operación y Control

El sistema puede trabajar bajo los modos de operación: Conexión y Desconexión. Con el primer modo el sistema esta capacitado para

desplegar la información proveniente de la interfase de control y además permite el envío de información (actualización de nuevas consignas). En el modo de operación de desconexión el cable serial DB9 puede ser desconectado, permitiendo que la interfase trabaje de manera independiente; con las limitantes que resultan obvias como lo son: imposibilidad de cambiar los valores de consigna, y la no visualización de las variables provenientes de la interfase.

Al acceder el botón Salir despliega una ventana en la cuál se muestran las opciones:

- Desconexión
- Conexión
- Desconexión y Salir

Con la primera de estas opciones, se hace posible cambiar al modo de operación: Desconexión. Con la segunda opción, el sistema entra al modo de operación: Conexión. Y con la tercera opción, el sistema se desliga de la interfase y cierra el programa de la computadora.

El sistema además cuenta con dos modos de control, que son: Automático y Manual. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Modo Automático:

Este modo de operación debe elegirse en la pantalla de configuración mostrada en la figura A.4. El modo de control por defecto del sistema es modo automático por lo que si se desea elegir modo manual deberá seleccionarse en esta pantalla.

En el modo automático, el usuario del equipo puede indicar a que valores desea que se mantengan las variables del proceso.

Una vez presionado el botón enviar al controlador en la pantalla de la figura A.4 la planta empieza a funcionar y trata de mantener los valores elegidos por el usuario.

Las variables importantes del proceso se logran visualizar en tiempo real en la pantalla de la computadora, de manera que no exista la necesidad de acudir a medidores externos.

En el modo automático el programa lucirá como muestra la figura A.7.

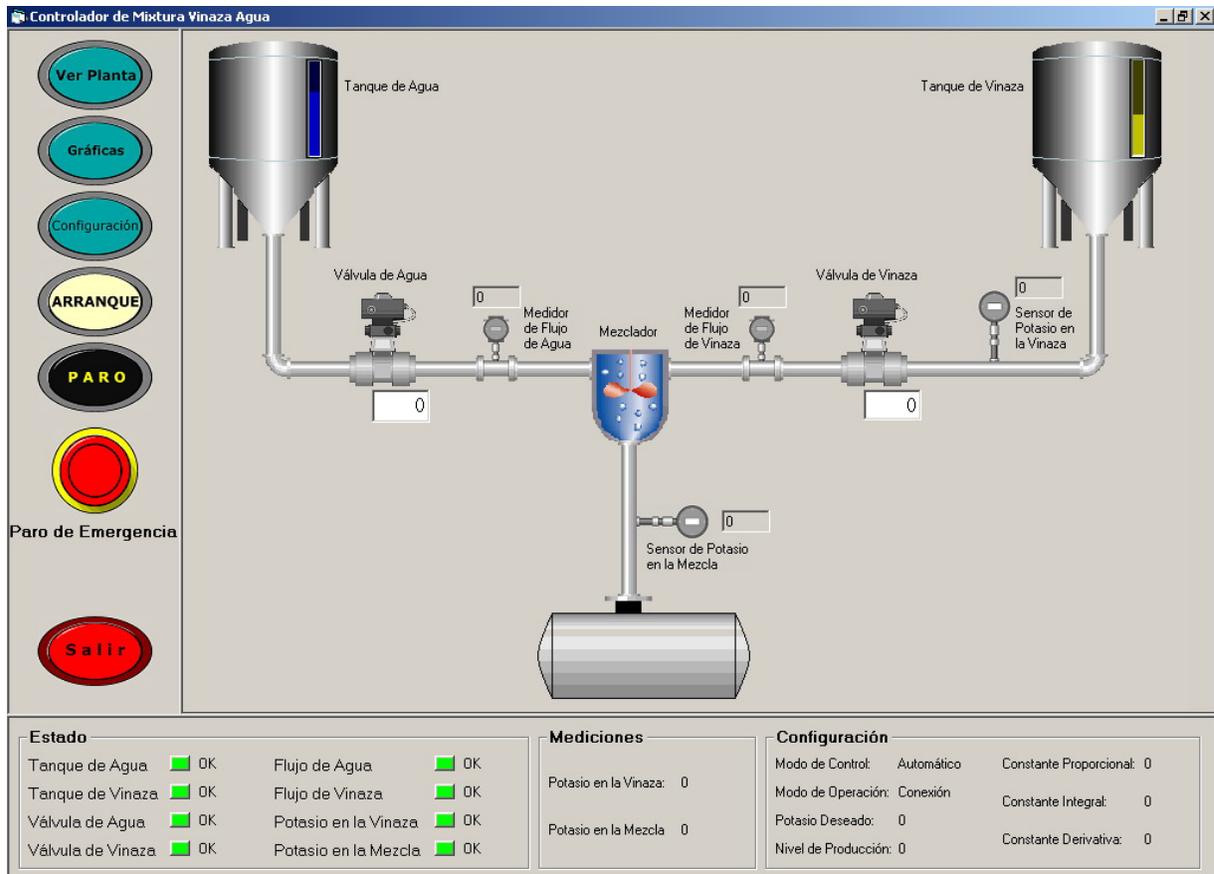


Fig. A.7. Pantalla Modo Automático

Modo Manual:

En el modo manual las opciones de control individual se muestran contiguas a cada actuador (ver figura A.8), lo que facilita controlar independientemente las válvulas de la planta, además permite visualizar los valores de las variables involucradas en el proceso.

En este modo el sistema se mantiene operando a los valores dados por el usuario y manteniendo las alarmas y advertencias que puedan generarse.

En el modo manual el valor de las casillas de *Porcentaje de Potasio de la Mezcla Final*, y *Nivel de Producción Total* queda sin efecto, ya que son parte exclusiva del modo automático.

La pantalla de operación para el modo manual lucirá como muestra la figura A.8.

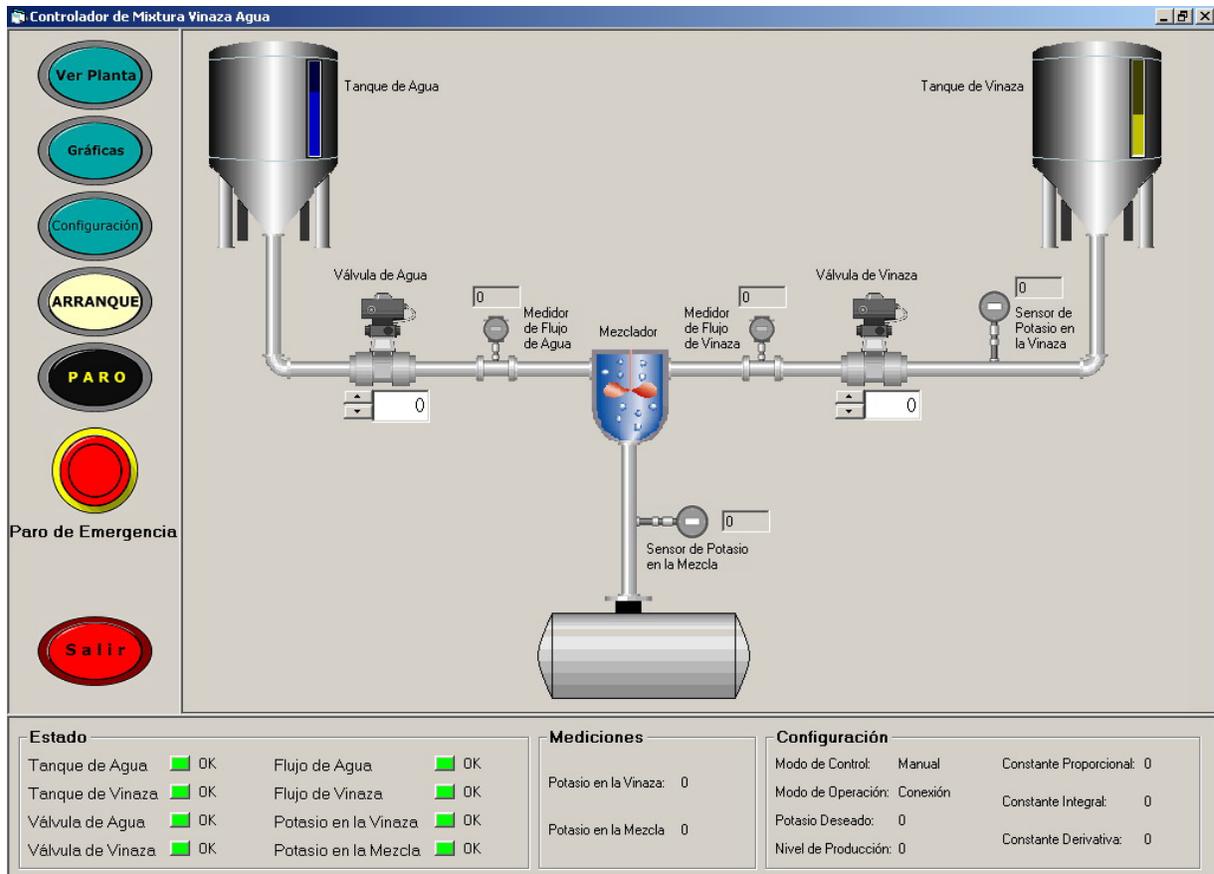


Fig. A.8. Pantalla Modo Manual

En ambos modos de control: manual y automático, la información introducida en la pantalla de configuración es enviada al procesador (dispositivo de control) y éste ejecuta lo designado.

Ya que la seguridad juega siempre un papel importante, no solo para las personas si no también para los equipos, existe un paro de emergencia tanto por software como por hardware que deshabilita el sistema y pone las salidas en estado cero; a manera de corregir o *evitar* (en el mejor de los casos), una emergencia. El paro por software se hace efectivo siempre que se presione el botón **PARO DE EMERGENCIA**, que se encuentra en la pantalla principal del sistema. El paro por software se reestablece presionando nuevamente el botón de paro de emergencia.

8- Gráficas de Monitoreo

Al presionar el botón **graficas** se presenta una pantalla que grafica las tendencias de las variables del proceso, esto con el propósito de ilustrar el desarrollo de la mixtura vinaza-agua.

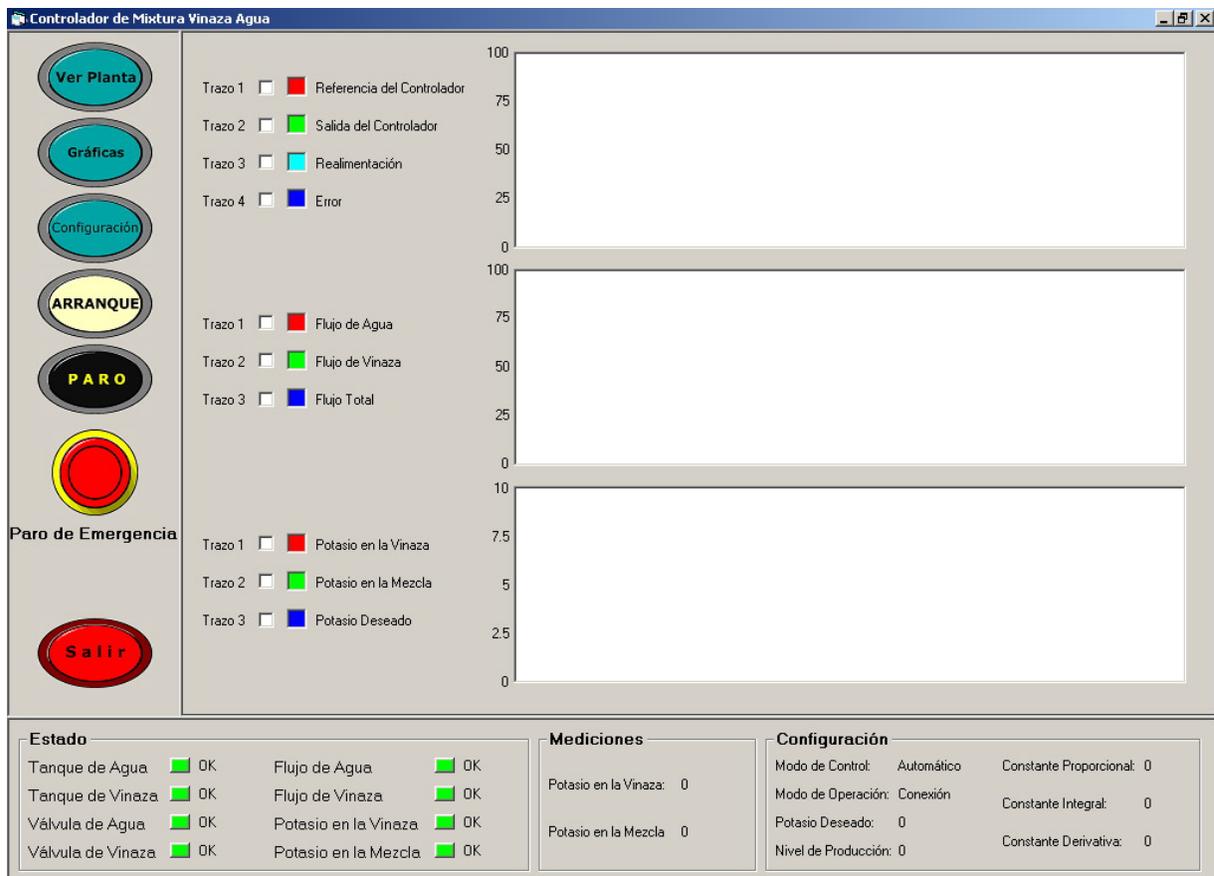


Fig. A.9. Gráfica de las Variables del Sistema

Con el botón "Gráficas" se accede a una pantalla en la cual es posible graficar las variables del sistema. Las variables están distribuidas en tres gráficas, según la relación que guardan entre ellas. La escala vertical de las gráficas puede ser modificada, haciendo clic sobre el número superior de la escala e ingresando un nuevo valor máximo, ó también haciendo clic sobre el número inferior de la escala e ingresando un nuevo valor mínimo. Los colores de las gráficas también pueden ser cambiados haciendo clic sobre el cuadro de color que identifica a una de las variables. El fondo de las gráficas se puede cambiar de color haciendo clic sobre el gráfico.

En los gráficos es posible el ajuste de escala (en el eje vertical) lo cual facilita al usuario la visualización de los datos, además permite ajustar los colores de las gráficas y de los fondos de cada uno de los tres esquemas.

Esta pantalla esta orientada para poder elegir las variables a graficar y las posibilidades de elección se muestran en la misma eligiendo con un cheque las que el usuario desee.

APENDICE B

GLOSARIO

Algoritmo: Es un Método para resolver un problema mediante una serie de pasos precisos , definidos y finitos. Un algoritmo es una serie de operaciones detalladas ,en otras palabras un algoritmo es un conjunto de reglas para resolver una cierta clase de problemas y se puede formular de muchas formas con el cuidado de que no exista ambigüedad.

Automático: (1) Pertenciente o relativo al autómatas. (2) Dicho de un mecanismo: Que funciona en todo o en parte por sí solo. (3) Que sigue a determinadas circunstancias de un modo inmediato y la mayoría de las veces infalible. Después de su mala gestión, el cese fue automático. (4) Maquinal o indeliberado. (5) Especie de corchete que se cierra sujetando el macho con los dientes de la hembra, que actúan como un resorte. (6) Ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos.

Automatización: (1) Una tecnología que permite a una aplicación cliente crear y controlar un objeto mediante las propiedades y los métodos del objeto expuesto. (2) Se le denomina así a cualquier tarea realizada por máquinas en lugar de personas. Es la sustitución de procedimientos manuales por sistemas de cómputo.

Cable serial DB9: Cable conector entre dos dispositivos del estándar de comunicación Serial.

Controlador: Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador automático produce la señal de control se denomina acción de control.

Destilación: proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles.

Destilar. Separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras más fijas, enfriando luego su vapor para reducirla nuevamente a líquido.

Discretizar: La discretización de una variable consiste en asignarle un cierto número de valores discretos, luego, en general se cumple que mientras mayor es la cantidad de valores asignados, mayor será la precisión de los resultados obtenidos en la resolución numérica del modelo. Por lo recién mencionado es que la resolución numérica de un modelo requiere de un gran número de cálculos, los cuales se pueden realizar mediante simulación computacional.

Fertilizante: Sustancia que dispone la tierra para que dé más fruto.

Flujograma: Es un esquema para representar gráficamente un algoritmo. Se basan en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de operación. Para hacer comprensible los Diagramas a todas las personas, los símbolos se sometieron a una normalización, o lo que es en realidad se hicieron símbolos casi universales, ya que, en un principio cada usuario podría tener sus propios símbolos para representar sus procesos en forma de Diagrama de Flujo. Esto trajo como consecuencia que solo el que conocía sus símbolos, los podía interpretar.

GEMMA: Guía para el estudio de los modos de Marchas y Paradas

Ingenio (industria): en sentido amplio, cualquier máquina o artificio. En América, el término se emplea en la industria azucarera, pues se denomina ingenios a los molinos de caña de azúcar y, por extensión, a las haciendas en las que se encuentran.

Interfaz o interfase: de un objeto es la parte de un objeto accesible desde su exterior, que nos permite utilizarlo y consultar su estado interno. La vamos a utilizar como medio de comunicación entre el objeto y cualquier ente que quiera comunicarse con él.

LabView®: Es el ambiente de desarrollo gráfico para crear pruebas escalables y flexibles, medidas y aplicaciones de control rápidamente y al mínimo costo. Con la ingeniería y ciencia de LabView® de interfase con señales del mundo real, analiza datos para información de medidas, y comparte resultados y aplicaciones. Teniendo en cuenta la experiencia, LabView® hace un desarrollo rápido y fácil para todos los usuarios.

Melaza: Líquido viscoso, de color castaño oscuro y sabor muy dulce, que queda como residuo de la fabricación del azúcar de caña o remolacha. Las melazas son la parte no cristalizable del azúcar. Formadas por un 67% de sacarosa, junto con algo de glucosa y fructosa, las melazas se utilizan también para fabricar alcohol industrial, para cocinar y para alimentar al ganado. La melaza negra es el producto de melazas refinadas de azúcar de remolacha o caña.

Microcontrolador: Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, se emplea para realizar una tarea determinada para la cual ha sido programado. Dispone de procesador, memoria para el programa y los datos, líneas de entrada y salida de datos y suele estar asociado a múltiples recursos auxiliares. Puede controlar cualquier cosa y suele estar incluido en el mismo dispositivo que controla.

Mixtura: (1) Mezcla, juntura o incorporación de varias cosas. (2) Pan de varias semillas. (3) Poción compuesta de varios ingredientes.

mg/litro: miligramos de oxígeno por litro de fluido (vinaza)

PID: La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional-integral-derivativa (PID). Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

Potasio: (ceniza de pote, término acuñado en 1807 por H. Davy, 1778-1829, químico y físico inglés que lo descubrió). Elemento químico de número atómico 19. Metal muy abundante en la corteza terrestre; se encuentra en forma de sales, generalmente silicatos, en muchos minerales y en el agua del mar. De color blanco argénteo, blando y con punto de fusión muy bajo, su hidróxido, la potasa, era conocido de antiguo como el álcali vegetal. Es un oligoelemento fundamental en el metabolismo celular, y algunos de sus derivados se usan como fertilizantes. (Símbolo K).

Referencia: Base o apoyo de una comparación, de una medición o de una relación de otro tipo.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la trasmite adecuadamente.

Turbidez: Calidad de turbio.

Turbio: (1) Mezclado o alterado por algo que oscurece o quita la claridad natural o transparencia. (2) Dicho de tiempos o circunstancias: Revueltos, dudosos, azarosos. (3) Dicho de la visión, del lenguaje, de la locución, etc.: Confusos, poco claros. (4) Deshonesto o de licitud dudosa. (5) Heces de un líquido, principalmente del aceite o del vino.

Variables: Una variable es un nombre asociado a un elemento de datos que está situado en posiciones contiguas de la memoria principal, y su valor puede cambiar durante la ejecución de un programa. Toda variable pertenece a un tipo de dato concreto. En la declaración de una variable se debe indicar el tipo al que pertenece. Así tendremos variables enteras, reales, booleanas, etc.

Vinaza: (1) Es un producto cuyo origen proviene de la caña de azúcar y se obtiene de la fermentación y destilación de las melazas. Tiene un alto contenido de materia orgánica, minerales, elementos esenciales para las plantas (micro-elementos y macro-elementos). No contiene elementos patógenos ni tóxicos. (2) La Vinaza es el desecho industrial que resulta de la melaza de la caña de azúcar, utilizada en la destilación del alcohol. Como contaminante es diez veces mayor que las otras aguas de la destilería que son tratadas mediante un proceso de oxigenación. (3) La Vinaza es un alto contaminante que requiere de un tratamiento especial y el proceso se inicia en el mismo momento del corte de la caña de azúcar.

APENDICE C

Datos técnicos del Microcontrolador 68HC12

68HC12 Overview



68HC12 Central Processor Unit (CPU12)

At the core of the 68HC12 is CPU12, a high-speed 16-bit evolution of the 68HC11 architecture that is designed to maintain complete source-code compatibility with the 68HC11 core. The 68HC12 fully supports all internal registers, instructions, addressing modes, and operating modes of the 68HC11.

Additional features and benefits include:

- Up to 8 MHz bus speed at 5 V
 - Up to 5 MHz bus speed at 3 V
- 64 new instructions, 20-bit Arithmetic Logic Unit (ALU), instruction queue, and 7 new indexed addressing modes
- 16-bit data paths
- 64 Kbytes of linear and paged memory addressing capability, enabling access to more than 4 Mbytes of program space and 1 Mbyte of data space
- Call and Return from Call (RTC) instructions for efficient paged addressing
- High-level language (HLL) optimization

- Fast math capabilities (16 x 16 MUL, 32 ÷ 16 DIV, EMACS)
- Fuzzy logic instructions for simplified programming, reduced code size, and faster code execution
- Low-power wait and stop modes

Flexible Modular Design

A standard bus interface-the Lite Module Bus (LMB) designed for low power- is used to connect the CPU12 to specialized peripheral modules. The LMB is similar to the Intermodule Bus (IMB) found on the 68HC16, 68300, and MPC500 Families, allowing Freescale to leverage existing, proven peripheral modules to develop new 68HC12 derivatives.

Low Power, Low Voltage, Low Noise

The 68HC12 runs at up to 8 MHz and was designed for extended voltage range operation as well as low-power consumption. Devices operate from 3.0 V to 5.5 V.

Low-power operation is achieved through:

- Stop and wait modes
- Ability to shut down peripherals
- Phase-Locked Loop (PLL) system clock on some derivatives
- Fewer bus interface and address lines
- Signals propagated on the bus only as needed
- Programmable output drivers on most I/O ports reduce noise and power consumption

Background Debug Mode (BDM)

The 68HC12 offers the Freescale's Background Debug(tm) in-circuit debug capability used to decrease time-to-market. This enhanced, patented version of the Background Debug Mode found on our 68HC16 and 68300 microcontrollers replaces conventional debug modes. It allows non-intrusive, real-time read/write capability to the memory and registers for faster code debugging. It also allows FLASH re-programmability in the field for diagnostics and upgrades of customer end products. Background Debug Mode features/benefits include:

- Single-wire communication protocol
- Simple commands used to debug while in-circuit

- In-circuit programming of FLASH EEPROM and byte-erasable EEPROM

FLASH EEPROM Memory

Some derivatives of the 68HC12 Family feature on-chip non-volatile FLASH EEPROM memory that is bulk erasable and supports byte or aligned word operations. In addition, fast termination is assured with single-cycle access speed, and an optional 1 to 2 Kbytes of protected boot block is available. This innovative, 16-bit wide memory subsystem offers many benefits, including:

- In-circuit programming through Background Debug Mode
- Field re-programmability
- Fast programming and erase times
- Faster time to market
- Production units that can be customized at end of process

Byte Erasable EEPROM Memory

The 68HC12 Family also features on-chip byte-erasable EEPROM for enhanced programming flexibility with no separate supply voltage required. This integrated non-volatile memory solution enables:

- Storage of calibration information
- Self-adjusting or self-adapting systems
- Data logging for historical or secure data
- Jump tables and code patches

High Performance Timer

The 68HC12 timer provides flexibility, performance, and ease of use. The system is based on a free-running, 16-bit counter with a programmable prescaler, overflow interrupt, and separate function interrupts.

Additional M68HC12 timer features include:

- Multiple timer channels
 - Each channel configurable for either input capture or output compare functions
- Real-time periodic interrupts

- Computer Operating Properly (COP) watchdog protection against software failures
- Pulse accumulator for external event counting or gated time accumulation
- An optional PWM offering up to four channels and up to 16-bit PWM outputs
- Optional event counter system for advanced timing operations

Analog-to-Digital Converter (ADC)

The ADC periodically samples external analog signals and produces corresponding digital values. Typical applications are measuring analog inputs like battery voltage, temperature, pressure, and fluid levels.

- Linear successive approximation
- 8-bit or 10-bit resolution
- Single or continuous conversion modes
- Multiple result registers
- Selectable ADC clock
- Analog multiplexer allows variable number of channels with a single ADC

Pulse-Width Modulation

The 68HC12 Family offers a selection of Pulse-Width Modulation (PWM) options to support a variety of applications. Up to four PWM channels can be selected to create continuous waveforms with programmable rates and software selectable duty cycles from 0 to 100%.

Serial Peripheral Interface (SPI)

The SPI communicates synchronously over short distances (usually on a single PCB) at high speed. The SPI allows the microcontroller to communicate with peripheral devices such as a simple shift register, a serial EEPROM, or a complete LCD or ADC subsystem.

- Full-duplex, three-wire synchronous transfers
- Master or slave operation
- Maximum master bit frequency is bus frequency divided by 2
 - Maximum bit rate of 4 MHz for an 8 MHz system clock

- Maximum slave bit frequency is bus frequency
 - Maximum bit rate of 8 MHz for an 8 MHz system clock
- Four programmable master bit rates
- Programmable clock polarity and phase
- End of transmission interrupt flag

Serial Communications Interface (SCI)

The SCI is a serial UART-type asynchronous communications system. The SCI can be used for communications between the microcontroller and a terminal, a computer, or in network of microcontrollers. A typical SCI application is long-distance communications (RS-232).

- Standard mark/space non-return-to-zero format
- Full-duplex operation
- Double buffering of both transmitter and receiver
- Separately enabled transmitter and receiver
- Programmable 8-bit or 9-bit character length
- Advanced error detection at 1/16 of a bit time
- Baud rate generator with programmable baud rates
- Idle line and address mark wakeup methods
- Receiver framing error detection
- Break send capability
- Optional hardware parity checking and generation
- Separate transmitter, receiver, and error interrupt vectors

Freescale Scalable CAN Module (MSCAN)

The Controller Area Network, or CAN, protocol is a serial communication protocol originally developed by Robert Bosch GmbH for use in serial communication networks in vehicles. Several major auto manufacturers are either currently using CAN networks in their vehicles or are developing them for future vehicles. In addition, CAN is becoming very popular for use in factory-floor automation-type industrial networks.

The Freescale Scalable CAN module (MSCAN) is an advanced

communications controller implementing the CAN protocol with these features:

- Implementation of CAN version 2 parts A and B
- Standard (11-bit) and extended (29-bit) data frames
- 0 to 8 bytes data length
- Programmable bit rate up to 1 Mbps
- Support for remote frames
- Double buffered receive
- Triple buffered transmit with internal prioritization using a "local priority" concept
- Flexible maskable identifier filter supports alternatively two full size extended identifier filter, four 16-bit filters, or eight 8-bit filters
- Programmable wakeup functionality with integrated low-pass filter
- Programmable loopback mode supports self-test
- Separate signaling and interrupt capabilities for all CAN receiver and transmitter error states (warning, error passive, bus-off)
- Programmable MSCAN clock source (either the CPU bus clock or the crystal oscillator output)
- Low-power sleep mode

SAE J1850 Byte Data Link Control Module (BDLC-D)

The BDLC-D is an advanced serial communication multiplex bus controller operating according to the SAE J1850 Class B protocol. Typical applications of the BDLC module are in automobiles where multiple BDLC MCUs can communicate over a single or dual wire bus, eliminating the weight and bulk of wire harnesses and adding diagnostic capability.

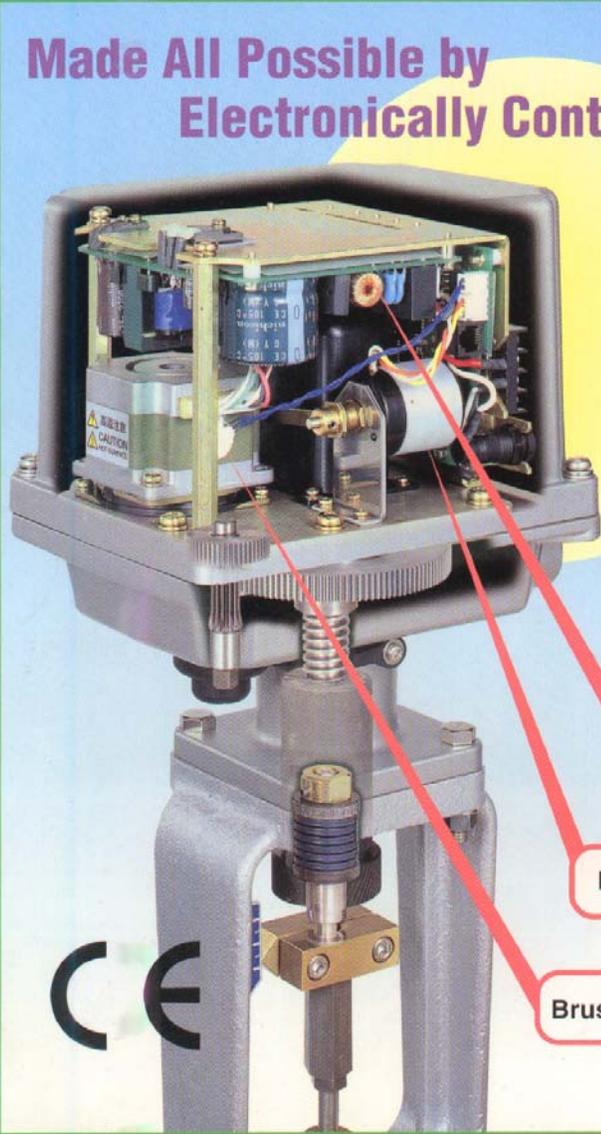
- SAE J1850 compatible
- 10.4 kbps variable pulse width (VPW) bit format
- Digital noise filter
- Collision detection
- Hardware cyclical redundancy check (CRC) generation and

checking

- Two power-saving modes with automatic wakeup on network activity
- Polling and CPU interrupts available
- Receive and transmit block mode supported
- Supports 4x receive mode (41.6 kbps)
- Digital loopback mode
- Analog loopback mode
Supports in-frame response (IFR) types 0, 1, 2, and 3

APENDICE D

Servo Válvula Proporcional



DIGITAL VALVE ACTUATOR

SERVO-TOP II

Made All Possible by Electronically Controlled Actuator.

- Brushless stepping motor and angle sensor enhance durability and reliability.
- 1/1000 resolution.
- Starts by a small deviation.
- Force caused by flow pressure in valve is absorbed by the screw shaft. (unaffected from the process)
- Opening/closing speed, adjustable with hand held configurator.
- Direct or reverse action selectable.
- Wide split range available.

Superb CPU against the harsh environment
(Operating temperature -40 to 70°C)

Brushless angle sensor

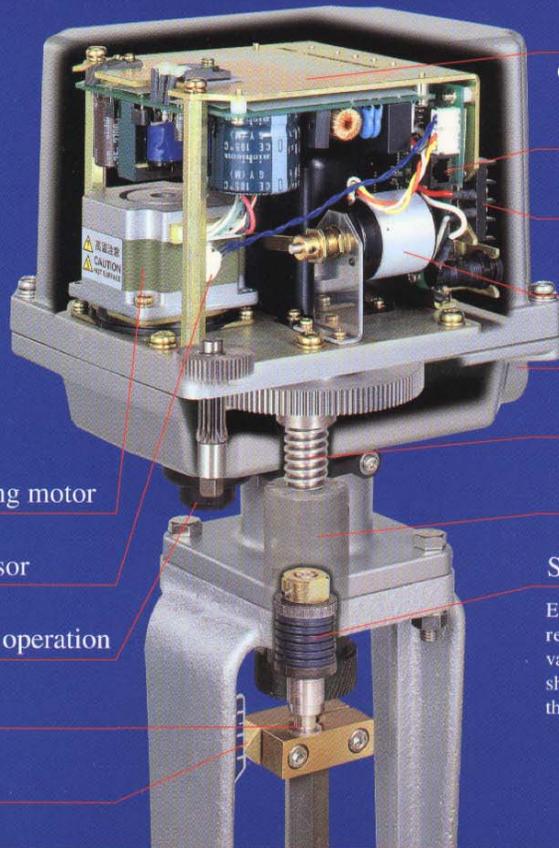
Brushless stepping motor

M-SYSTEM CO.,LTD.

EC-4857
July 2000

SERVO-TOP II

Digital Valve Actuator **Servo-Top II**



Superb CPU against the harsh environment
Operating temperature - 40 to 70°C

Modular jack

M3 screw terminal block

Brushless angle sensor

Wiring conduit

Screw shaft

Output stem

Brushless stepping motor

Temperature sensor

Stem for manual operation

Stem button

Indicator

Sealing spring mechanism

Equipped with the sealing spring to retain the sealing pressure at the valve's closing position. To assure tight shut off, the sealing spring is used at the full open and full closed position.

Long-life Operation by Brushless Mechanism.



◀ Brushless Angle Sensor

Brushless angle sensor is using the electromagnetic induction to detect the positioning between a fixed coil and a moving coil. Because it has no sliding mechanical contact, the brushless angle sensor assures the high reliability and long-life operation.



▶ Brushless Stepping Motor

High power stepping motor is brushless, which maintains the high reliability.

Various Safety Features Prevents the Mechanical Defaults.

■ Overload Protection

Overload protection function detects alien substance which valve catches; when detecting it, Servo-Top II outputs an alarm signal and stops power supply to the motor.

■ Restarting Timer

Prevents from hunting in case it detects an abnormal temperature increase in the motor. Adjustable range is within 1 to 30 seconds.

It's Digital,
programming is easy to do
with numerical values.

#1 Direct data input.



With the programming unit PU-2A connected, the parameters listing on right page can be programmed.

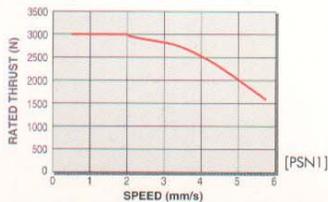


Visually the setting is possible with the buttons inside the unit.

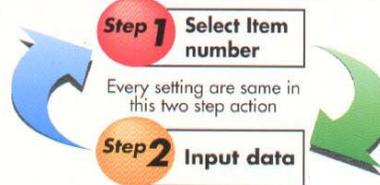
Up button
Down button

#2 Speed adjustable to open and close the valve.

By changing item No. 19 with the hand held programmer (PU-2A), the speed to open and close the valve is adjusted.



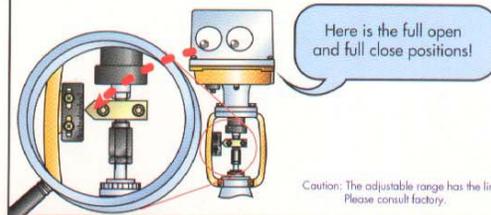
Simply, Two step action takes care of the settings for various parameters for the actuator:



ITEM No.	ITEM	USABLE RANGE	MINIMUM INCREMENT
10	Full-open position	8 - 100	0.1
11	Full-closed position	0 - 92	0.1
12	Full-open limit	75 - 105	0.1
13	Full-close limit	-5 - 25	0.1
14	Full-open output	75 - 100	0.1
15	Full-closed output	0 - 25	0.1
16	Split ON/OFF	0 or 1	
17	Split type LO/HI	0 or 1	
18	Split point	30 - 70	0.1
19	Opening/closing speed limit	1 - 50	1
20	Deadband	0.5 - 5	0.1
21	Restart limiting timer	1 - 30	1

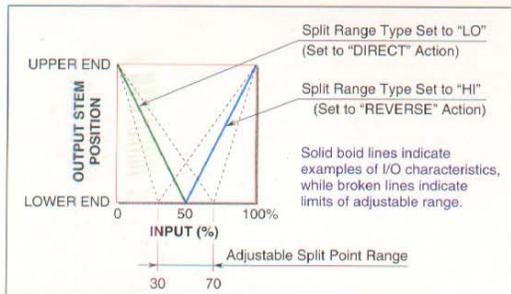
#3 The positioning of full open and full close can be adjustable depending on the size of yoke.

After assembling with the valve, the manual switches are used to force open and close. Commands can be given to memorize the full open and full close positions.



Caution: The adjustable range has the limit. Please consult factory.

Split Range is Available for Wide Range.



Equipped the Necessary Signals as Standard.



M-SYSTEM WARRANTY

1. What is covered.

M-System Co., Ltd. ("M-System") warrants, to the original purchaser only of new M-System products purchased directly from M-System, or from M-System's authorized distributors or resellers, for its own use not for resale, that the M-System products shall be free from defects in materials and workmanship and shall conform to the specifications set forth in the product catalogue applicable to the M-System products for the Warranty Period (see Paragraph 5 below for the Warranty Period of each product).

THE ABOVE WARRANTY IS THE ONLY WARRANTY APPLICABLE TO THE M-SYSTEM PRODUCTS AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

2. What is not covered.

This warranty does not cover any M-System product which has been: (1) modified, altered or subjected to abuse, misuse, negligence or accident; (2) improperly installed or installed in conjunction with any equipment for which it was not designed; or (3) damaged or destroyed by disasters such as fire, flood, lightning or earthquake.

In no event shall M-System be liable for any special, incidental, consequential or other damages, costs or expenses (including, but not limited to, loss of time, loss of profits, inconvenience or loss of use of any equipment).

3. Remedies.

If a defective product is returned to M-System in accordance with the procedures described below, M-System will, at its sole option and expense, either: (1) repair the defective product; (2) replace the defective product; or (3) refund the purchase price for the defective product paid by the purchaser. Except as otherwise provided by applicable state law, these remedies constitute the purchaser's sole and exclusive remedies and M-System's sole and exclusive obligation under this warranty.

4. Warranty Procedure.

If the purchaser discovers a failure of the M-System products to conform to the terms of this warranty within the Warranty Period, the purchaser must promptly (and, in any event not more than 30 days after the discovery of such failure) notify the relevant party as described below either by telephone or in writing at the below address to obtain an Authorized Return (AR) number and return the defective product to the relevant party. The designated AR number should be marked on the outside of the return package and on all correspondence related to the defective product. The purchaser shall return, at purchaser's expense, defective products only upon receiving an AR number. In order to avoid processing delays, please be sure to include: copies of the original purchase order and sales invoice; the purchaser's name, address and phone number; the model and serial numbers of the returned product; and a detailed description of the alleged defect.

5. Warranty Period.

Signal Conditioner:	36 months from the date of purchase.
M-Rester:	12 months from the date of purchase.
Valve Actuator:	18 months from the date of shipment from M-System or 12 months from the date of its installation, whichever comes first.
Other Products:	12 months from the date of purchase.

From the United States of America, Canada and Mexico:
M-SYSTEM TECHNOLOGY, INC.

15028 Beltway Drive
Addison, TX 75001
Phone: (972) 385-2277

From all other countries:
M-SYSTEM CO., LTD.
5-2-55, Minamitsumori, Nishinari-ku,
Osaka 557-0063 JAPAN
Phone: (06) 6659-8201

• Specifications subject to change without notice.

M-SYSTEM CO., LTD.

5-2-55, Minamitsumori, Nishinari-ku, Osaka 557-0063 JAPAN
Tel: (06)6659-8201 Fax: (06)6659-8510
www.m-system.co.jp

EUROPE

Zinkvallaan 17, B-2620 Hemiksem BELGIUM
Tel: (03)887-7469 Fax: (03)877-1792

U. S. A. / CANADA / MEXICO

M-SYSTEM TECHNOLOGY, INC.

15028 Beltway Drive, Addison, TX 75001
Phone: (972)385-2277 Fax: (972)385-2299
Toll Free: 800-544-3181

www.m-system.com

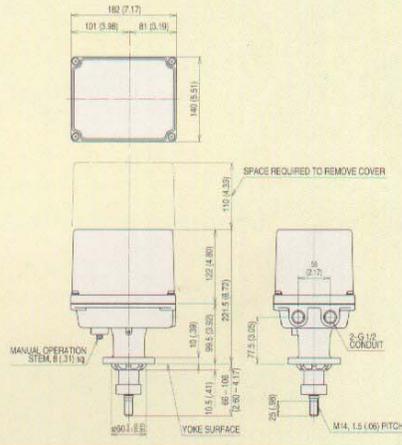
GENERAL SPECIFICATIONS

Model	PSN1	PSN3
Stroke	3.2-4.0 mm [0.13"-1.57"]	4.8-20 mm [0.19"-0.79"] 9.6-40 mm [0.38"-1.57"] 14.4-60 mm [0.57"-2.36"]
Sealing spring	1500 N use 3000 N use	1500 N use 3000 N use 5000 N use
Environmental protection		IP 55
Action		direct or reverse, user-selectable with DIP SW.
Housing material		Aluminum alloy
Wiring conduit		G 1/2 female
Terminal block		M3 screw terminal
Motor		Stepping motor
Output stem type		M14 male screw, pitch 1.5
Input signal		4-20 mA DC, 1-5 V DC Split ranges can be selected.
Adjustments		0-25 % for zero, 75-100 % for span, 0.5-5.5 % for deadband
Emergency operation		External contact for compulsory opening or closing.
Position output		4-20 mA DC, $\leq 300 \Omega$
Sequential control output		30 V DC @ 100 mA (full open, -closed, or alarm)
Power input		100-120 V AC* 200-240 V AC* 24 V DC
Operating temperature		-5 to +55 °C (23 to 131 °F)
Vibration		2 G max.
EU norm		EN 50081-2, EN 50082-2

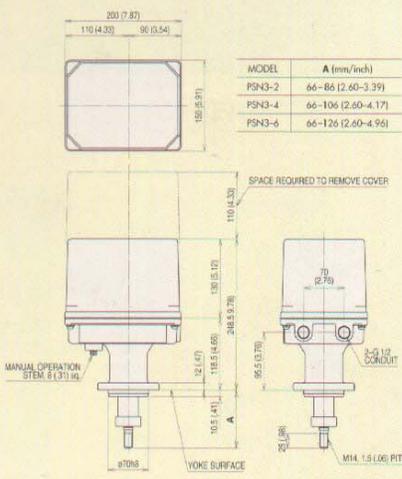
*CE marking not available.

EXTERNAL DIMENSIONS mm (inch)

• PSN1



• PSN2

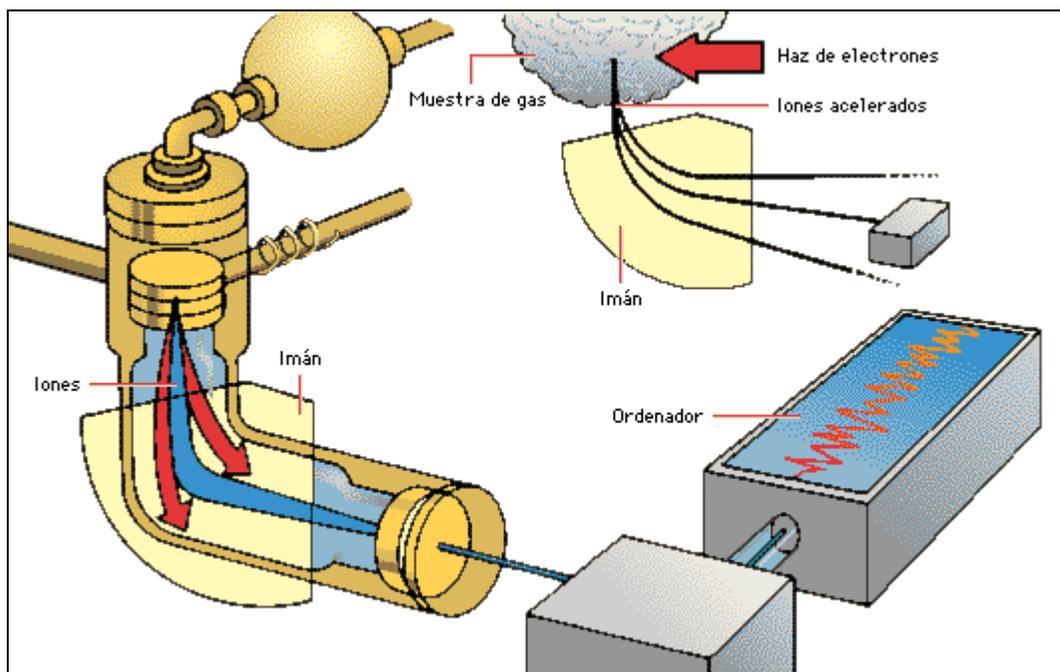


APENDICE E

Espectrómetro de masas

Espectrómetro de masas, aparato que convierte moléculas en iones, y que separa estos iones en función de su proporción de masa y carga. Los espectrómetros de masas se utilizan para identificar átomos e isótopos, y determinar la composición química de una muestra.

Si bien hoy día se utilizan varios tipos de espectrómetros de masas, todos ellos están relacionados con el dispositivo desarrollado en 1919 por el físico británico Francis William Aston. El instrumento de Aston usaba un haz fino de iones con carga positiva, que se desviaba en primer lugar mediante un campo eléctrico y que a continuación se desviaba en la dirección opuesta con un campo magnético. La cantidad de partículas resultantes de la deflexión se registraba en una placa fotográfica, y dependía de su masa y velocidad. Cuanto mayor era la masa del ion, menor era su deflexión. Aston midió las masas moleculares de los isótopos de muchos elementos, y comprobó la abundancia relativa de éstos en la naturaleza.



© Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Figura E.1. Espectrómetro de masas

En un espectrómetro de masas se ioniza una muestra de gas mediante un haz de electrones y se aceleran los iones hacia un imán, que los separa según su masa (*arriba a la derecha*). Los iones con una masa determinada llegan al detector, que suele estar conectado a un ordenador o computadora que procesa los datos (*abajo*).

Todos los espectrómetros de masas cuentan con cuatro características comunes: (1) un sistema para introducir la sustancia que se desea analizar en el instrumento, (2) un sistema para ionizar la sustancia, (3) un acelerador que dirige los iones hacia el instrumento de medida y (4) un sistema para separar los distintos iones analizados y para registrar el espectro de masas de la sustancia.

El Espectrómetro De Masas De Deflexión Magnética

Este tipo de espectrómetro de masas crea iones con carga positiva a partir de una muestra y acelera los iones utilizando un campo electrostático. Un campo magnético desvía los iones en función de su masa, y chocan contra el detector aquéllos que tienen una masa determinada. Los iones de menor masa se desvían demasiado y no alcanzan el detector, mientras que los iones más pesados no se desvían lo suficiente. La intensidad del campo magnético varía lentamente, para que el detector pueda medir las proporciones relativas de todos los componentes de la muestra. El detector suele estar conectado a un ordenador que procesa toda esta información.

Aplicaciones De Los Espectrómetros

Los espectrómetros de masas pueden proporcionar un alto grado de resolución como ayuda a los análisis de mezclas complejas. Por ejemplo, los productos del refinado y procesamiento del petróleo, que contienen normalmente hidrocarburos muy similares, son difíciles de separar con métodos de análisis químico convencionales, pero pueden ser aislados y analizados con un espectrómetro de masas. Se consigue una mayor precisión con espectrómetros de masas en serie, que consisten en varios espectrómetros colocados uno tras otro. En el campo de la biología molecular, los espectrómetros en serie (con dos espectrómetros de masas) permiten determinar en pocos minutos la secuencia lineal de los aminoácidos de una proteína. Estos espectrómetros de masas son más de mil veces más precisos que un dispositivo único, lo que hace que resulten muy útiles para analizar cantidades muy pequeñas de compuestos biológicos con masas moleculares muy altas. Los dispositivos más sensibles que pueden emplearse en la espectrometría de masas son los aceleradores electrostáticos en serie, que comprenden varios espectrómetros de masas dispuestos en serie y conectados a un potente acelerador electrostático de partículas.

ESPECTRÓMETRO DE MASAS DE BAJA RESOLUCIÓN

DESCRIPCIÓN:

Marca: Fisons

Modelo: MD 800

- Cromatógrafo de gases mod.: GC 8060 con inyectores capilares un split/splitless automático y un on-column.
- Detector de ionización NPD (sin llama)
- Espectrómetro de masas mod. MD800
- Sistema de tratamiento de datos MASSLAB, incluyendo ordenador e impresora.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- DETECTOR DE SOBREMESA MD800
 - . Ionización por impacto electrónico
 - . Sistema turbomolecular de bombeo 60 l/s
 - . La sensibilidad de la ionización por impacto electrónico es medida utilizando 1 µl de una solución de 10 pg/µl de hexaclorobenceno en n-hexano
 - . La señal ruido es $m/z = 284$ generada de varios scans repetidos. En un rango de masas de 50 a 350 amu en 0,5 seg.
 - . Relación señal ruido ? 50: IRMS
 - . Analizador de cuadrupolo
 - . Rango de masas de 2 a 800 amu.
 - . Resolución 2000 m/z a 800 m/z
- CROMATÓGRAFO DE GASES ULTRA-TRACE
 - . Dos inyectores: Cold on-column y Split/Splitless
 - . Muestreador automático AS.800
 - . Sistema de salida de gases
 - . Software para inyección de grandes volúmenes
- SISTEMA DE DATOS MASSLAB

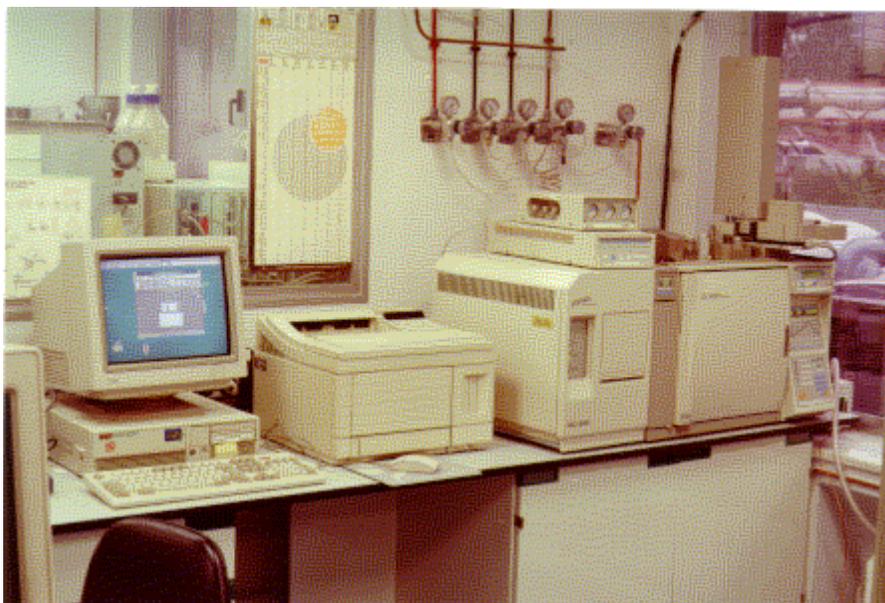


Figura E.2. Espectrómetro de Masas de Baja Resolución.

ESPECTROMETRO DE MASAS DE ALTA RESOLUCIÓN

DESCRIPCIÓN:

Marca: Fisons

Modelo: AutoSpec Ultima

Detección de trazas mediante GC/MS de alta resolución

- Cromatógrafo de Gases Hewlett Packard serie II Plus directamente acoplado al espectrómetro

. Temperatura de la interfase GC/MS regulada

. Controlador automático de presión

. Programa de temperaturas y calentadores de interfase bajo total control del ordenador.

. Robot de muestreador automático A 200S

. Inyector split-splitless

- Fuente de Impacto Electrónico (EI)

. Visión de la fuente

- Bombas difusoras en la fuente y en la válvula de aislamiento así como en el analizador

- Electroimán

- Proceso de datos con interfase de adquisición

. Modelo WAX station 4000. 60 con 16 MB de memoria

. Monitor de 16"

- Impresora láser Digital DEClasser 2100 plus

- Software VG Opus V.3.5.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Resolución: Hasta 80.000 en modo EI con un 10% de Valle

Rango de masas: 2000 Dalton a 8Kv de energía

Sensibilidad: Probada al metil estearato $m/z=298,3$ en modo Impacto electrónico

1000 resolución: 5×10^{-7} C/ μ g

10000 resolución: 5×10^{-8} C/ μ g

La señal ruido evaluado se basa en la anchura del pico cromatográfico a la mitad de la altura a los 2 segundos.

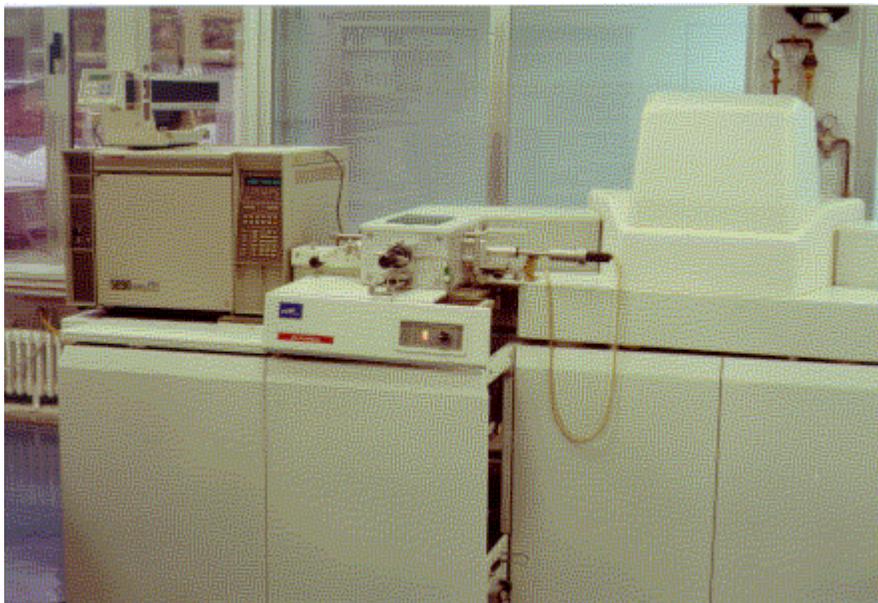


Figura E.3. Espectrómetro de Masas de Alta Resolución.

APENDICE F

Representaciones Numéricas en el Microcontrolador

Decimal	16-Bit Hexadecimal
+32,767	\$7FFF
•	•
•	•
+1	\$0001
0	\$0000
-1	\$FFFF
-2	\$FFFE
•	•
•	•
-32,768	\$8000

Tabla F.1. Representación de Números Signados

Decimal	16-Bit Hexadecimal
+0.99998	\$FFFF
•	•
•	•
+0.5	\$8000
+0.25	\$4000
+0.125	\$2000
+0.0625	\$1000
+0.03125	\$0800
+0.015625	\$0400
•	•
•	•
+0.0000153	\$0001

Tabla F.2. Representación de Fracciones

APENDICE G

Tendencias del Sistema para Diferentes Valores de Spftotal y SpKMezcla Abertura de la Válvula de Vinaza

		SpKMezcla																					
		0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25	
Spftotal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
	0.10	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
	0.15	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25	0.25
	0.20	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.23	0.25	0.27	0.28	0.30	0.32	0.33	0.33
	0.25	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.38	0.40	0.42	0.42
	0.30	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.48	0.50	0.50
	0.35	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53	0.55	0.58	0.58
	0.40	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53	0.57	0.60	0.63	0.67	0.67
	0.45	0.00	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34	0.38	0.41	0.45	0.49	0.53	0.56	0.60	0.64	0.68	0.71	0.75	0.75
	0.50	0.00	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.83
	0.55	0.00	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.28	0.32	0.37	0.41	0.46	0.50	0.55	0.60	0.64	0.69	0.73	0.78	0.83	0.87	0.92	0.92
	0.60	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.00
	0.65	0.00	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.70	0.76	0.81	0.87	0.92	0.98	1.00	1.00	1.00
	0.70	0.00	0.06	0.12	0.18	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.58	0.64	0.70	0.76	0.82	0.88	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.75	0.00	0.06	0.13	0.19	0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.63	0.69	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.80	0.00	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	0.40	0.47	0.53	0.60	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
0.85	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71	0.78	0.85	0.92	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
0.90	0.00	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.45	0.53	0.60	0.68	0.75	0.83	0.90	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
0.95	0.00	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.55	0.63	0.71	0.79	0.87	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1.00	0.00	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Tabla G.1. Abertura de la Válvula de Vinaza vrs. Spftotal vrs. SpKMezcla

Datos para una concentración de 15% de Potasio en la Vinaza

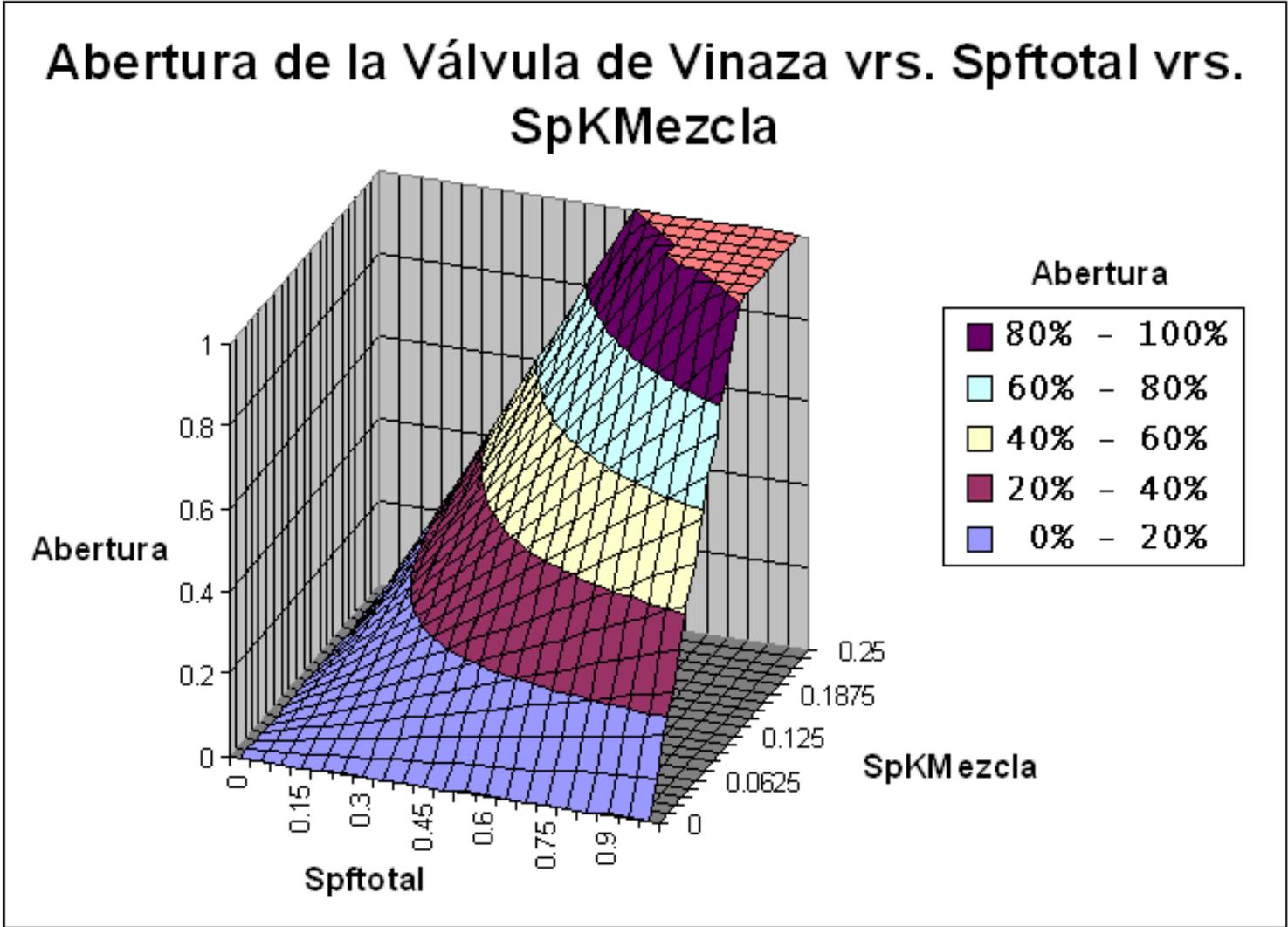


Figura G.1. Abertura de la Válvula de Vinaza vrs. Spftotal vrs. SpKMezcla

Abertura de la Válvula de Agua

		SpKMezcla																				
		0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25
Spftotal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.20	0.20	0.18	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.25	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.30	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.35	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.40	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.23	0.20	0.17	0.13	0.10	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.45	0.45	0.41	0.38	0.34	0.30	0.26	0.23	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.50	0.50	0.46	0.42	0.38	0.33	0.29	0.25	0.21	0.17	0.13	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.55	0.55	0.50	0.46	0.41	0.37	0.32	0.28	0.23	0.18	0.14	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.60	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.65	0.65	0.60	0.54	0.49	0.43	0.38	0.33	0.27	0.22	0.16	0.11	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.70	0.70	0.64	0.58	0.53	0.47	0.41	0.35	0.29	0.23	0.18	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.75	0.75	0.69	0.63	0.56	0.50	0.44	0.38	0.31	0.25	0.19	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.80	0.80	0.73	0.67	0.60	0.53	0.47	0.40	0.33	0.27	0.20	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.85	0.85	0.78	0.71	0.64	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.21	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.90	0.90	0.83	0.75	0.68	0.60	0.53	0.45	0.38	0.30	0.23	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.95	0.95	0.87	0.79	0.71	0.63	0.55	0.48	0.40	0.32	0.24	0.16	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.00	1.00	0.92	0.83	0.75	0.67	0.58	0.50	0.42	0.33	0.25	0.17	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Tabla G.2. Abertura de la Válvula de Agua vrs. Spftotal vrs. SpKMezcla

Datos para una concentración de 15% de Potasio en la Vinaza

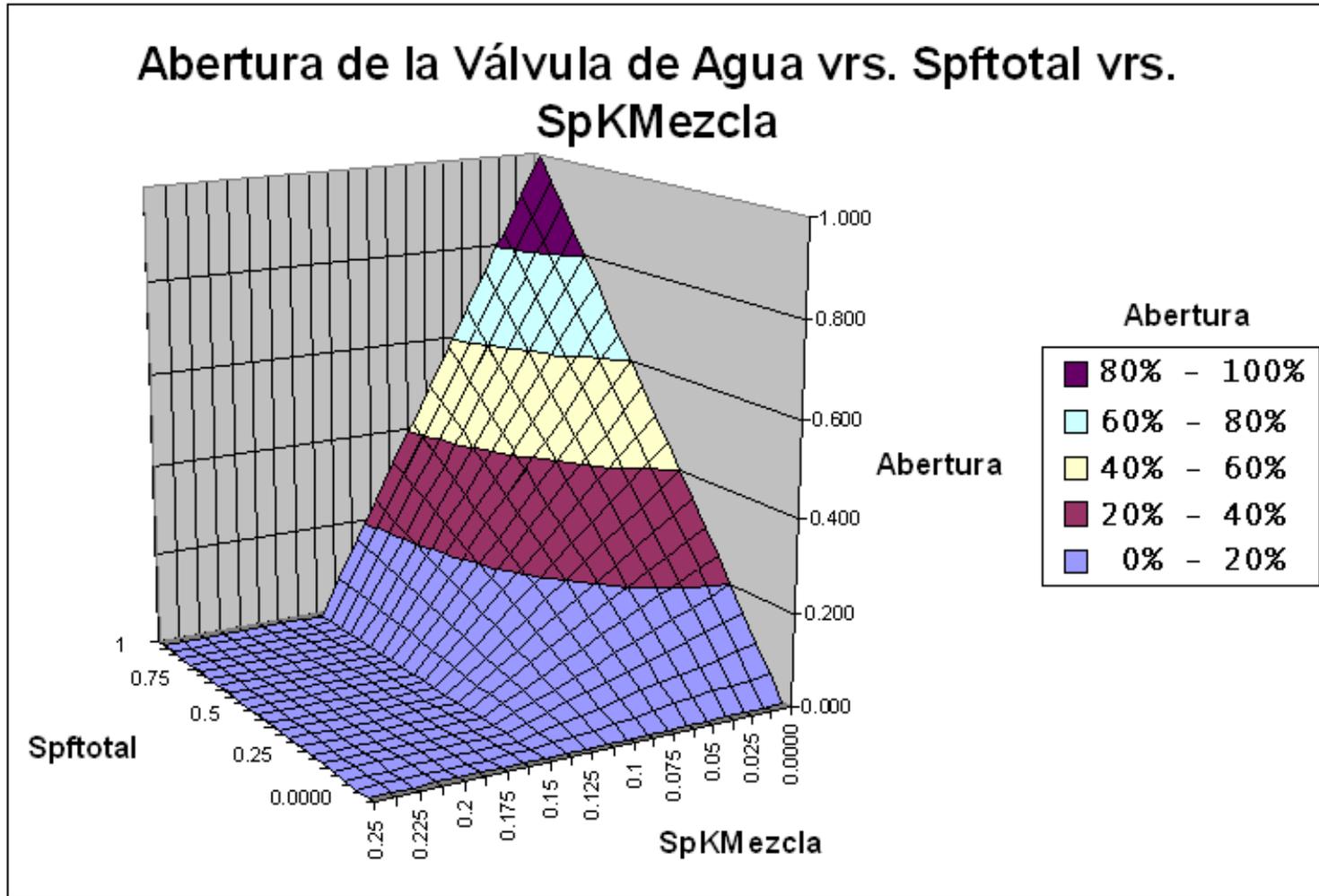


Figura G.2. Abertura de la Válvula de Agua vrs. Spftotal vrs. SpKMezcla

APENDICE H

Gráficas de Respuesta del Sistema para Diversos Valores de Constantes del Controlador⁵

Para las tres figuras (H.1, H.2, H.3) el trazo amarillo representa la referencia y el trazo azul es la respuesta del sistema.

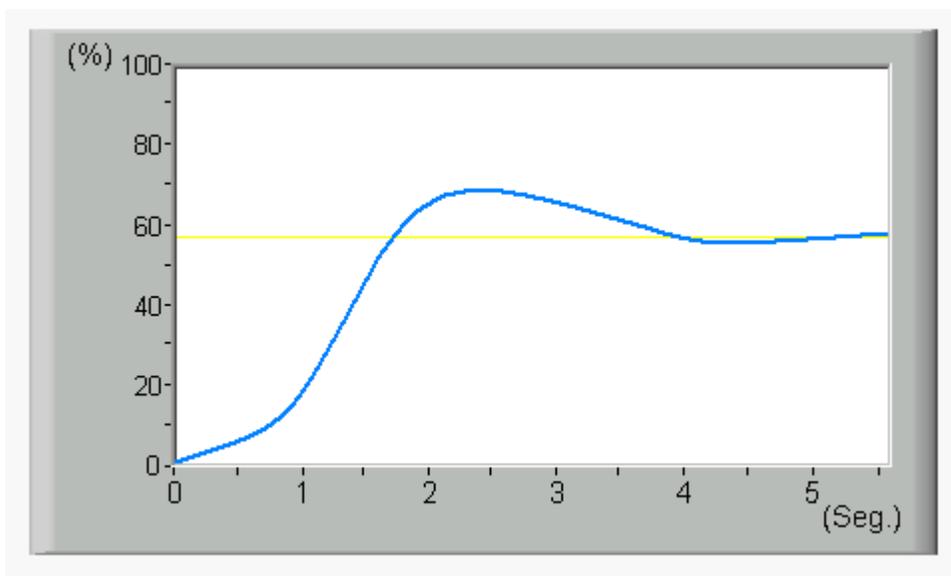


Figura H.1. Gráfica para $K_p=0.12$, $K_i=1$ y $K_d=0$

⁵ Gráficas obtenidas del programa de simulación de planta, realizado en LabVIEW® de National Instrument™

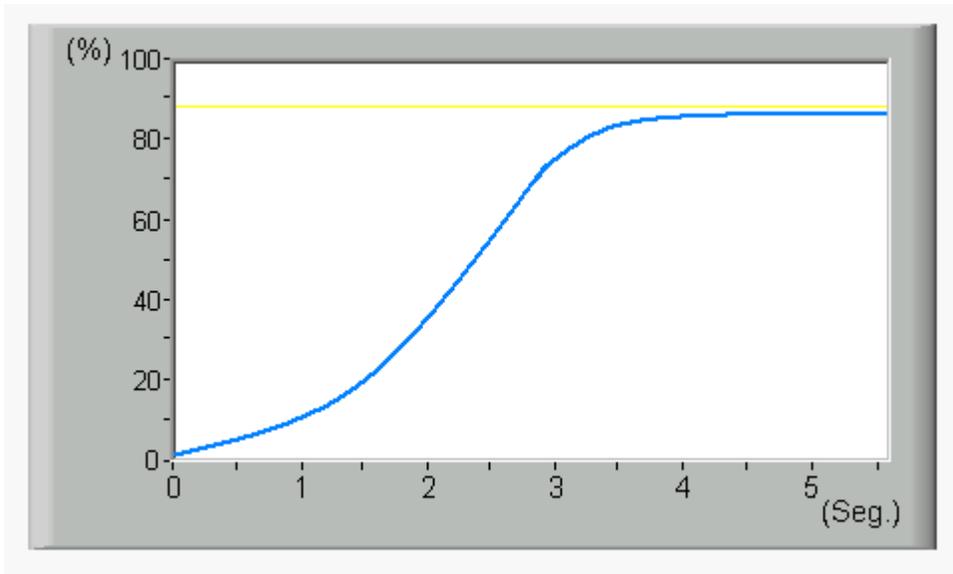


Figura H.2. Gráfica para $K_p=0.05$, $K_i=1$ y $K_d=0.1$

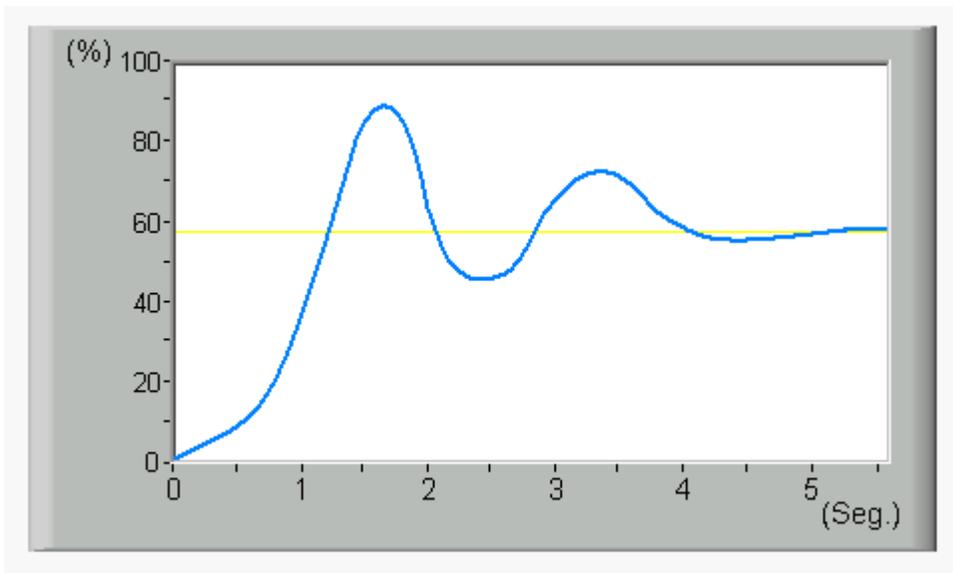


Figura H.3. Gráfica para $K_p=1.5$, $K_i=1$ y $K_d=1.1$

APENDICE I

Programa para Microcontrolador 68HC12 en Lenguaje Ensamblador

;+++++++ PID SUBROUTINE FOR HC12 ++++++

```

;REG CONFIGU
;registros de config para el pwm
PWCLK equ $0040
PWPOL equ $0041
PWEN equ $0042
PWPER0 equ $004c
PWPER1 equ $004d
PWDTY0 equ $0050
PWDTY1 equ $0051
PWCTL equ $0054
;SAL ANALOGICA P VALV VINAZA
;SAL ANALOGICA P VALV AGUA
ATDCTL2 equ $0062 ;registros de control del ATD
ATDCTL3 equ $0063
ATDCTL4 equ $0064
ATDCTL5 equ $0065
ATDSTATH equ $0066 ;registro de estado del ATD
ADR0H equ $0070 ;resultado de la conversion de PAD0 sensor potasio en
mezcla final
ADR0L equ $0071
ADR1H equ $0072 ;resultado de la conversion de PAD1 sensor potasio en
vinaza
ADR1L equ $0073
ADR2H equ $0074 ;resultado de la conversion de PAD2 nivel tanque agua
ADR2L equ $0075
ADR3H equ $0076 ;resultado de la conversion de PAD3 nivel tanque vinaza
ADR3L equ $0077
ADR4H equ $0078 ;resultado de la conversion de PAD4 sensor flujo agua
ADR4L equ $0079
ADR5H equ $007A ;resultado de la conversion de PAD5 sensor flujo vinaza
ADR5L equ $007B
PORTA equ $0000 ;CONFIG PUERTO A
DDRA equ $0002
sc0bdh equ $00c0 ;registros de configuracion para el sci 0
sc0bdl equ $00c1
sc0cr1 equ $00c2
sc0cr2 equ $00c3
sc0sr1 equ $00c4
sc0sr2 equ $00c5
sc0drh equ $00c6
sc0drl equ $00c7
RTICTL equ $0014 ;REG CONFIG P RTI
RTIFLG equ $0015
UserRTI equ 24 ; Int. de Usuario RTI
SETUSERVEC equ $f69a ; Configura Vector de Usuario
ERRX equ $0800 ;EXTERNAL VARIABLES
ERRM1X equ $0802 ;SIGNED INTS
ERRM2X equ $0804
ERRM3X equ $0806
KP equ $0808
```

```

KPFRAC      equ $080A
KI          equ $080C
KIFRAC     equ $080E
KD         equ $0810      ;Maximo valor de 0 a 1 ( $0000 hasta $FFFF )
KDFRAC     equ $0812
SPKM       equ $0814      ;SET POINT porcentaje de potasio en la mezcla
SPFTOT     equ $0816      ;SET POINT flujo total FIJAR SIEMPRE AL MAX $00FE
PERDTFRAC  equ $0818      ;EL PERIODO SIEMPRE ES FRACCION
VAR1       equ $081A
VAR2       equ $081B      ;MENSAJES PARA LA PC DESDE HC12
INT56      equ $081C
FC56       equ $081E
TEMP1      equ $0820      ;se utiliza para el prog ppal y para la sub pid
TEMP2      equ $0822
TEMP3      equ $0824
TEMP4      equ $0826
ADRCX      equ $0828
ADRCXM1    equ $082A
CMNDVX     equ $082C      ; SET POINT DE LA VALV VINAZA
KPTRM      equ $082E      ;LONGS
KITRM      equ $0832
KDTRM      equ $0836
LTEMP1     equ $083A
LTEMP2     equ $083E
LTEMP3     equ $0842
LTEMP4     equ $0846
LTEMP5     equ $084A
LTEMP6     equ $084E
LTEMP7     equ $0852
LTEMP8     equ $0856
LTEMP9     equ $085A
LTEMPA     equ $085E
FCINT56    equ $0862
INTFC56    equ $0866
OLDDTY     equ $086A
NEWDTY     equ $086E
MULLNG     equ $0de8
ADLNG      equ $0f1a
DOKIT      equ $0d00
DOKDT      equ $0d7b
config     equ $0f6c
subscil    equ $0fc7
;enviosci  equ $0fd1
subscier   equ $0fe1

ORG $0872
jsr config

```

```

;*****
; ASIGNACION DE VARIABLES

```

```

MOVW #$0050,CMNDVX      ;setpoint 80H 128Dec 2.5V
;MOVW #$0430,PERDTFRAC ;0.0164 SIEMPRE FRACCION
MOVW #$0000,KP
MOVW #$1EA4,KPFRAC      ;kp = 0.12
MOVW #$0000,KI          ;ki = 1.0 * 0.0164          ESCRIBIR KI
* PERDTFRAC
MOVW #$0430,KIFRAC
MOVW #$0000,KD          ;kd = 0.0          ESCRIBIR KD / (6 *
PERDTFRAC)
MOVW #$0000,KDFRAC
;MOVW #$00FF,OLDDTY
;MOVW #$0000,OLDDTY+2

```

```

;*****
;***** CONFIGURACION DE INTERRUPCION *****
;*****

```

```

        ldd #DOPID                ; Tabla de salto del D-Bug12
        pshd
        ldx SETUSERVEC
        ldd #UserRTI
        jsr 0,x
        PULX                      ;Pull X to balance Stack
        movb #$85,RTICTL         ;Enable RTI with a Timeout of 16.384 ms
        CLI                      ;Clear Interrupt Masking Bit, Interrupts enabled

;*****
;*****
;***** PROG AUTOMATICO *****
;*****

ciclo:      jsr subscil
            cmpa #$53            ;verifica si esta el comando stop "S"
            bne lectura
            swi

lectura:    cmpa #$4C            ;Lectura de la memo del HC12 "L"
            bne ciclo

            ldaa NEWDTY+1        ;Sub de Lectura de la memo del HC12
            jsr enviosci         ;se carga el dato a transmitir
            ;ldaa VAR2          ;variables para transmitir mensajes a la PC
            ;jsr enviosci

mas:        ldx #$0000
            ldaa $0070,x         ;estatus de sensores
            jsr enviosci
            inx
            inx
            cpx #$000c
            bne mas
            bra ciclo

;***** sub envio por sci a PC *****
enviosci:
espera:     brclr sc0sr1,$$80 espera ;espera a que este desocupado el canal de transmisión
            staa sc0drl         ;transmite el dato por el serial

confirma:   jsr subscil
            cmpa #$2A           ;espera por signo " * " p' enviar el prox dato
            beq nxt
            bra confirma

nxt:        rts

;*****
;*****
;***** P I D *****
;***** OUTPUT LAST PERIOD RESULT AND DO KP TERM *****

DOPID:      movb #$03,PORTA
            MOVb #$50,ATDCTL5   ;LEE LOS 8 CANALES EN UNA SOLA CONVERSION
wait:       BRCLR ATDSTATH,$$80,wait ;GET CHANNELS A/D RESULT
            ;ldd ADR1H          ;SENSOR DE POTASIO EN LA VINAZA
            ;ldab #$00
            ;XGDx
            ;LDD SPKM           ;SET POINT DE % DE POTASIO DESEADO EN LA

MEZCLA FINAL
            ;IDIV
            ;STX LTEMP5
            ;BNE CERO
            ;LDX ADR1H
CERO:       ;FDIV
            ;STX LTEMP5+2
            ;LDD LTEMP5

```

```

;CPD #$0000
;BEQ GO
;MOVB #$42,VAR2          ;carga mensaje #2 en var2 "sp de % de potasio en
mezcla demasiado alto"
;LBRA FIN
GO:                       ;CLRA
;LDD SPFTOT              ;SET POINT DE FLUJO TOTAL
;LDY LTEMP5+2
;EMUL
;STY CMNDVX              ;SET POINT DE LA VALV DE VINAZA
LDAA NEWDTY+1            ;OUTPUT PREVIOUS CALC.
STAA PWDTY0
CLRA
LDAB ADR0H              ;almacena en el acumulador b el resultado de la
conversion
STD ADCRX               ;DO KP TERM
LDD CMNDVX
SUBD ADCRX              ;FORM ERROR TERM
STD ERRX
BMI NFLAG1              ;SET UP SIGN FLAG IN TEMP3
LDAA #$00                ;POS
STAA TEMP3
BRA ot

NFLAG1:                 LDAA #$FF          ;NEG
STAA TEMP3
ot:                      LDD KP
STD LTEMP5
LDD KPFRAC
STD LTEMP5+2
LDD ERRX
STD LTEMP6
LDD #$0000
STD LTEMP6+2
LDAA TEMP3
STAA TEMP4
JSR MULLNG

LDD LTEMP7
STD KPTRM
STD LTEMP1
LDD LTEMP7+2
STD KPTRM+2
STD LTEMP1+2
LDAA TEMP4
STAA TEMP3              ;KPTRM DONE
NFLGG2:                 JSR ADLNG          ;NOW ADD TO OLDDTY

JSR DOKIT                ;DO I TERM, ADD TO OLDDTY

JSR DOKDT                ;DO D TERM, ADD TO OLDDTY

LDD NEWDTY              ;CHECK LIMITS
BMI JAMZP
CPD #$00FF
BMI KXDONE
LDD #$00FE              ;JAM FF
STD NEWDTY              ;SATURATED HIGH
STD OLDDTY
BRA KXDONE
JAMZP:                  LDD #$0033          ;JAM 00
STD NEWDTY              ;SATURATED LOW
STD OLDDTY
KXDONE:                 LDD ADCRX
STD ADCRXM1
LDD ERRM2X

```

```

STD ERRM3X
LDD ERRM1X
STD ERRM2X
LDD ERRX
STD ERRM1X
clc
LDAA SPFTOT+1          ;CALCULA SETPOINT DE VALV DE AGUA SPAGUA = SPTOT -
SPVINAZA
SUBA NEWDTY+1
BMI zig
bra en
zig:   ldaa #$33
en:    STAA PWDY1          ;ACTUALIZA SAL DE VALV DE AGUA
FIN:   MOVB #$80,RTIFLG   ;Reset RTI-Flag
      movb #$02,PORTA
      rti
+++++
*****
*****
; esta sub empieza en $0d00
;termina en $0de7
;comenzar la otra sub en $0de8
;programa para escribir en la memoria EEPROM del Microcontrolador
eemcr   equ $00f0          ;registros de memoria EEPROM
eeprot  equ $00f1
eetst   equ $00f2
eeprog  equ $00f3
      org $0800
      ldx #$0000
otro:   movb #$82,eeprog
      ldaa $0830,x
      staa $0d00,x          ;especificar la dir de quemado en le eeprom
      movb #$83,eeprog
      ldy #$ffff
sig:    dey
      cpy #$00
      bne sig
      movb #$00,eeprog
      inx
      cpx #$00E8          ;especificar el tamano de la sub a quemar
      bne otro
      swi
      ;REG CONFIGU
      ;registros de config para el pwm
PWCLK   equ $0040
PWPOL   equ $0041
PWEN    equ $0042
PWPER0  equ $004c
PWPER1  equ $004d
PWDY0   equ $0050          ;SAL ANALOGICA P VALV VINAZA
PWDY1   equ $0051          ;SAL ANALOGICA P VALV AGUA
PWCTL   equ $0054
ATDCTL2 equ $0062          ;registros de control del ATD
ATDCTL3 equ $0063
ATDCTL4 equ $0064
ATDCTL5 equ $0065
ATDSTATH equ $0066        ;registro de estado del ATD
ADR0H   equ $0070          ;resultado de la conversión de PAD0      sensor   potasio   en
mezcla final
ADR0L   equ $0071

```

```

ADR1H          equ $0072          ;resultado de la conversión de PAD1      sensor  potasio  en
vinaza
ADR1L          equ $0073
ADR2H          equ $0074          ;resultado de la conversión de PAD2      nivel tanque agua
ADR2L          equ $0075
ADR3H          equ $0076          ;resultado de la conversión de PAD3      nivel tanque vinaza
ADR3L          equ $0077
ADR4H          equ $0078          ;resultado de la conversión de PAD4      sensor flujo agua
ADR4L          equ $0079
ADR5H          equ $007A          ;resultado de la conversión de PAD5      sensor flujo vinaza
ADR5L          equ $007B
PORTA          equ $0000          ;CONFIG PUERTO A
DDRA           equ $0002
sc0bdh         equ $00c0          ;registros de configuración para el sci 0
sc0bdl         equ $00c1
sc0cr1         equ $00c2
sc0cr2         equ $00c3
sc0sr1         equ $00c4
sc0sr2         equ $00c5
sc0drh         equ $00c6
sc0drl         equ $00c7
RTICTL         equ $0014          ;REG CONFIG P RTI
RTIFLG         equ $0015
UserRTI        equ 24            ; Int. de Usuario RTI
SETUSERVEC     equ $f69a         ; Configura Vector de Usuario
ERRX           equ $0800         ;EXTERNAL VARIABLES
ERRM1X         equ $0802         ;SIGNED INTS
ERRM2X         equ $0804
ERRM3X         equ $0806
KP             equ $0808
KPFRAC         equ $080A
KI             equ $080C
KIFRAC         equ $080E
KD             equ $0810         ;Máximo valor de 0 a 1 ( $0000 hasta $FFFF )
KDFRAC         equ $0812
SPKM           equ $0814         ;SET POINT porcentaje de potasio en la mezcla
SPFTOT         equ $0816         ;SET POINT flujo total FIJAR SIEMPRE AL MAX $00FE
PERDTFRAC     equ $0818         ;EL PERIODO SIEMPRE ES FRACCION
VAR1           equ $081A
VAR2           equ $081B         ;MENSAJES PARA LA PC DESDE HC12
INT56          equ $081C
FC56           equ $081E
TEMP1          equ $0820         ;se utiliza para el prog ppal y para la sub pid
TEMP2          equ $0822
TEMP3          equ $0824
TEMP4          equ $0826
ADRCX          equ $0828
ADRCXM1       equ $082A
CMNDVX        equ $082C         ; SET POINT DE LA VALV VINAZA
KPTRM         equ $082E         ;LONGS
KITRM         equ $0832
KDTRM         equ $0836
LTEMP1        equ $083A
LTEMP2        equ $083E
LTEMP3        equ $0842
LTEMP4        equ $0846
LTEMP5        equ $084A
LTEMP6        equ $084E
LTEMP7        equ $0852
LTEMP8        equ $0856
LTEMP9        equ $085A
LTEMPA        equ $085E
FCINT56       equ $0862
INTFC56       equ $0866
OLDDTY        equ $086A
NEWDTY        equ $086E

```

```

MULLNG      equ $0de8
ADLNG       equ $0f1a
;DOKIT      equ $0d00
;DOKDT      equ $0d7b
;config     equ $0f6c
;subscil    equ $0fc7
;enviosci   equ $0fd1
;subscier   equ $0fe1

```

```
org $0830
```

```
;***** ROUTINE TO DO INTEGRAL TERM *****
```

```

DOKIT:      LDD ADRCX                ;GET CURRENT CONVERSION
            ADDD ADRCXM1            ;FORM (ADRCX + ADRCXM1)/2
            LSRD
            STD LTEMP2
            BCS JMHAFFI
            LDD #0
            STD LTEMP2+2            ;FRACTIONAL PART OF FINAL ERROR
            BRA INTKIE              ;TERM WILL ALWAYS BE 0 or 0.5
JMHAFFI:    LDD #8000
            STD LTEMP2+2
INTKIE:     LDD CMNDVX
            SUBD LTEMP2
            BRCLR LTEMP2+2,#80,NOFCN
            STD LTEMP2
            CPD #0
            BLE NGFLG3
            SUBD #1
NOFCN:      STD LTEMP2                ;CMNDVX - ((ADRCX + ADRCXM1)/2)
            BMI NGFLG3              ;SET UP SIGN FLAG IN TEMP3
            LDAA #0
            BRA NGFLG2
NGFLG3:     LDAA #FF
NGFLG2:     STAA TEMP3

            LDD KI
            STD LTEMP5
            LDD KIFRAC
            STD LTEMP5+2
            LDD LTEMP2
            STD LTEMP6
            LDD LTEMP2+2
            STD LTEMP6+2
            LDAA TEMP4
            STAA TEMP3
            JSR MULLNG

            LDD LTEMP7
            STD LTEMP1
            STD KITRM
            LDD LTEMP7+2
            STD LTEMP1+2
            STD KITRM+2
            LDAA TEMP4
            STAA TEMP3
            JSR ADLNG
            RTS

```

```
;***** ROUTINE TO DO KD TERM *****
```

```

DOKDT:      LDD ERRX                ;FORM (ERRX - ERRM3X)
            SUBD ERRM3X            ;+ 3*(ERRM1X - ERRM2X)
            STD TEMP1
            LDD ERRM1X
            SUBD ERRM2X

```

```

LDY #$0003                ;FORM 3*(ERRM1X - ERRM2X)
EMULS
ADDD TEMP1
STD LTEMPA
BMI NGFLGS0                ;SET UP SIGN FLAG IN TEMP3
NGFLGS0:
BRA POSGN
LDAA #$FF
STAA TEMP3
BRA KDFLGD
POSGN:
LDAA #$00
STAA TEMP3
KDFLGD:
LDD #$0000
STD LTEMPA+2                ;DONE LTEMPA LTEMPA+2 = (ERRX - ERRM3X) + 3*(ERRM1X -
ERRM2X)

LDD KD
STD LTEMP5
LDD KDFRAC
STD LTEMP5+2
LDD LTEMPA
STD LTEMP6
LDD LTEMPA+2
STD LTEMP6+2
LDAA TEMP3
STAA TEMP4
JSR MULLNG                ;LTEMP5 * LTEMPA

LDAA TEMP4
STAA TEMP3
LDD LTEMP7
STD LTEMP1
STD KDTRM
LDD LTEMP7+2
STD LTEMP1+2
STD KDTRM+2
JSR ADLNG
RTS

```

;este prog comienza en \$0de8 y termina en \$0f6b
;programa para escribir en la memoria EEPROM

```

eemcr      equ $00f0        ;registros de memoria EEPROM
eeprot     equ $00f1
eetst     equ $00f2
eeprog     equ $00f3

org $0800
ldx #$0000
otro:      movb #$82,eeprog
           ldaa $0830,x
           staa $0de8,x        ;especificar la dirección de inicio de quemado de la
EEEPROM
           movb #$83,eeprog
           ldy #$ffff
sig:       dey
           cpy #$00
           bne sig
           movb #$00,eeprog
           inx
           cpx #$0184        ;especificar el tamaño de la sub a quemar
           bne otro
           swi

```

;REG CONFIGU

```

PWCLK      equ $0040      ;registros de configuración para el PWM
PWPOL      equ $0041
PWEN       equ $0042
PWPER0     equ $004c
PWPER1     equ $004d
PWDTY0     equ $0050      ;SAL ANALOGICA P VALV VINAZA
PWDTY1     equ $0051      ;SAL ANALOGICA P VALV AGUA
PWCTL      equ $0054
ATDCTL2    equ $0062      ;registros de control del ATD
ATDCTL3    equ $0063
ATDCTL4    equ $0064
ATDCTL5    equ $0065
ATDSTATH   equ $0066      ;registro de estado del ATD
ADR0H      equ $0070      ;resultado de la conversión de PAD0      sensor potasio en
mezcla final
ADR0L      equ $0071
ADR1H      equ $0072      ;resultado de la conversión de PAD1      sensor potasio en
vinaza
ADR1L      equ $0073
ADR2H      equ $0074      ;resultado de la conversión de PAD2      nivel tanque agua
ADR2L      equ $0075
ADR3H      equ $0076      ;resultado de la conversión de PAD3      nivel tanque vinaza
ADR3L      equ $0077
ADR4H      equ $0078      ;resultado de la conversión de PAD4      sensor flujo agua
ADR4L      equ $0079
ADR5H      equ $007A      ;resultado de la conversión de PAD5      sensor flujo vinaza
ADR5L      equ $007B
PORTA      equ $0000      ;CONFIG PUERTO A
DDRA       equ $0002
sc0bdh     equ $00c0      ;registros de configuración para el sci 0
sc0bdl     equ $00c1
sc0cr1     equ $00c2
sc0cr2     equ $00c3
sc0sr1     equ $00c4
sc0sr2     equ $00c5
sc0drh     equ $00c6
sc0drl     equ $00c7
RTICTL     equ $0014      ;REG CONFIG P RTI
RTIFLG     equ $0015
UserRTI    equ 24        ; Int. de Usuario RTI
SETUSERVEC equ $f69a     ; Configura Vector de Usuario
ERRX       equ $0800      ;EXTERNAL VARIABLES
ERRM1X     equ $0802      ;SIGNED INTS
ERRM2X     equ $0804
ERRM3X     equ $0806
KP         equ $0808
KPFRAC     equ $080A
KI         equ $080C
KIFRAC     equ $080E
KD         equ $0810      ;Máximo valor de 0 a 1 ( $0000 hasta $FFFF )
KDFRAC     equ $0812
SPKM       equ $0814      ;SET POINT porcentaje de potasio en la mezcla
SPFTOT     equ $0816      ;SET POINT flujo total FIJAR SIEMPRE AL MAX $00FE
PERDTFRAC  equ $0818      ;EL PERIODO SIEMPRE ES FRACCION
VAR1       equ $081A
VAR2       equ $081B      ;MENSAJES PARA LA PC DESDE HC12
INT56      equ $081C
FC56       equ $081E
TEMP1      equ $0820      ;se utiliza para el programa principal y para la sub PID
TEMP2      equ $0822
TEMP3      equ $0824
TEMP4      equ $0826
ADRCX      equ $0828
ADRCXM1    equ $082A
CMNDVX     equ $082C      ; SET POINT DE LA VALV VINAZA
KPTRM      equ $082E      ;LONGS

```

```

KITRM      equ $0832
KDTRM      equ $0836
LTEMP1     equ $083A
LTEMP2     equ $083E
LTEMP3     equ $0842
LTEMP4     equ $0846
LTEMP5     equ $084A
LTEMP6     equ $084E
LTEMP7     equ $0852
LTEMP8     equ $0856
LTEMP9     equ $085A
LTEMPA     equ $085E
FCINT56    equ $0862
INTFC56    equ $0866
OLDDTY     equ $086A
NEWDTY     equ $086E
;MULLNG    equ $0de8
;ADLNG     equ $0f1a
;DOKIT     equ $0d00
;DOKDT     equ $0d7b
;config    equ $0f6c
;subscil   equ $0fc7
;enviosci  equ $0fd1
;subscier  equ $0fe1

```

```
org $0830
```

```

;* SUBROUTINE TO MULTIPLY LONGS(INTEGER & FRACTION) *
;* LTEMP5*LTEMP6=LTEMP7 ONLY LTEMP6 CAN HAVE *
;* A NEGATIVE TERM TO HANDLE. *

```

```
MULLNG:
```

```

LDD LTEMP5
LDY LTEMP6
EMULS                      ;FORM LTEMP5 * LTEMP6
STD INT56
LDAA #$80                  ;TEST TEMP3 SIGN
BITA TEMP3                 ;SEE IF ERR IS NEG
BMI NEGFAC                 ;TERM IS NEGATIVE
LDD LTEMP5
LDY LTEMP6+2
EMUL                      ;LTEMP5 * FRACLTEMP6
STY INTFC56
STD INTFC56+2
BRA NXFRAC

```

```
NEGFAC:
```

```

LDD #$0000                ;NEGATE FRAC
SUBD LTEMP6+2
LDY LTEMP5
EMUL                      ;LTEMP5 * FRACLTEMP6 NEG
STY INTFC56               ;TEMPORAL STORE
STD INTFC56+2
LDD #$0000                ;NEGATE RESULT
SUBD INTFC56              ;SCALE AND STORE
STD INTFC56
LDD #$0000
SUBD INTFC56+2
STD INTFC56+2

```

```
NXFRAC:
```

```

LDAA #$80                 ;TEST TEMP3 SIGN
BITA TEMP3                ;SEE IF ERR IS NEG
BMI NE                    ;TERM IS NEGATIVE
LDD LTEMP5+2              ;GET FRAC AND MULTIPLY
LDY LTEMP6
EMUL
STY FCINT56

```

```

STD FCINT56+2
BRA NXT

NE:      LDD #\$0000          ;NEGATE FRAC
         SUBD LTEMP6
         LDY LTEMP5+2
         EMUL                ;LTEMP5 * FRACLTEMP6 NEG
         STY FCINT56        ;TEMPORAL STORE
         STD FCINT56+2
         LDD #\$0000        ;NEGATE RESULT
         SUBD FCINT56      ;SCALE AND STORE
         STD FCINT56
         LDD #\$0000
         SUBD FCINT56+2
         STD FCINT56+2

NXT:     LDAA #\$80         ;TEST ERR SIGN
         BITA TEMP3        ;SEE IF ERR IS NEG
         BMI NFCFRAC      ;TERM IS NEGATIVE
         LDD LTEMP5+2
         LDY LTEMP6+2     ;GET FRAC NOT NEG
         EMUL                ;LTEMP5+2 * LTEMP6+2
         STY FC56          ;TEMPORAL STORE
         BRA SUMMUL

NFCFRAC: LDD #\$0000        ;NEGATE FRAC
         SUBD LTEMP6+2
         LDY LTEMP5+2
         EMUL                ;LTEMP5+2 * LTEMP6+2 NEG CASE
         STY FC56          ;TEMPORAL STORE
         LDD #\$0000        ;NEGATE RESULT
         SUBD FC56        ;SCALE AND STORE
         STD FC56

SUMMUL:  LDD INT56         ;NOW SUMM ALL PRODUCTS
         ADDD FCINT56      ;INTS ARE ALL SIGNED
         ADDD INTFC56     ;CAN JUST ADD UP
         STD LTEMP7
         LDAA #\$80       ;TEST ERRX SIGN
         BITA TEMP3       ;SEE IF FRACS ARE NEG
         BMI SUMNFC      ;FRACS ARE NEGATIVE
         LDD FCINT56+2   ;POSITIVE
         ADDD INTFC56+2
         BCS FCCAR1
         BRA SUMFC1

FCCAR1:  XGDX              ;SAVE SUM
         LDD #\$0001      ;ADD CARRY INTO INT
         ADDD LTEMP7
         STD LTEMP7
         XGDX              ;RETRIEVE SUM

SUMFC1:  ADDD FC56
         STD LTEMP7+2
         BCS FCCAR2
         BRA SMFCDP

FCCAR2:  LDD #\$0001      ;ADD CARRY INTO INT
         ADDD LTEMP7
         STD LTEMP7
         BRA SMFCDP

SUMNFC:  LDD #\$0000      ;COMPLEMENT NEG FRACS
         SUBD FCINT56+2
         STD FCINT56+2
         LDD #\$0000
         SUBD INTFC56+2

```

```

STD INTFC56+2
LDD #\$0000
SUBD FC56
STD FC56
LDD FCINT56+2           ;NEGATIVE
ADDD INTFC56+2
BCS FCCAR3             ;REMEMBER SIGN BIT!!
BRA SUMFC2

FCCAR3:                XGDY                ;SAVE SUM
LDD #\$FFFF            ;ADD BORROW INTO INT
ADDD LTEMP7
STD LTEMP7
XGDY                ;RETRIEVE SUM

SUMFC2:                ADDD FC56
STD LTEMP7+2
BCS FCCAR4
BRA SMFCDN

FCCAR4:                LDD #\$FFFF            ;ADD BORROW INTO INT
ADDD LTEMP7
STD LTEMP7

SMFCDN:                LDD #\$0000            ;CONVERT BACK TO NEG
SUBD LTEMP7+2
STD LTEMP7+2

SMFCDP:                RTS

;* SUBROUTINE TO ADD INTEGER AND FRACTION IN LTEMP1 TO OLDDTY *

ADLNG:                LDAA #\$80                ;TEST ERRX SIGN
BITA TEMP3
BMI KXNEG                ;TERM IS NEGATIVE
LDD LTEMP1                ;GET INT PART
ADDD OLDDTY                ;ADD AND STORE INT
STD NEWDTY
LDD LTEMP1+2                ;GET FRAC PART
ADDD OLDDTY+2                ;ADD AND STORE FRAC
STD NEWDTY+2
BCS INCINT
BRA ADDONE

INCINT:                LDD #\$0001            ;ADD CARRY FROM FRAC
ADDD NEWDTY
STD NEWDTY
BRA ADDONE

KXNEG:                LDD LTEMP1                ;GET INT PART
ADDD OLDDTY                ;ADD AND STORE INT
STD NEWDTY
LDD LTEMP1+2                ;GET FRAC PART
ADDD OLDDTY+2                ;ADD AND STORE FRAC
STD NEWDTY+2                ;ACTUALLY A SUBTRACTION
BCS ADDONE

DECINT:                LDD #\$FFFF            ;SUBTRACT BORROW FROM FRAC
ADDD NEWDTY
STD NEWDTY

ADDONE:                LDD NEWDTY                ;UPDATE OLDDTY FOR NEXT TERM
STD OLDDTY                ;OR FINISH
LDD NEWDTY+2
STD OLDDTY+2
RTS                ;RETURN TO CALLING ROUTINE

```

```

*****
*

```

```

*****
*
;Este programa comienza en $0f6c y termina en $0ff0
;programa para escribir en la memoria EEPROM

eemcr      equ $00f0          ;registros de memoria EEPROM
eeprot     equ $00f1
eetst     equ $00f2
eeprog     equ $00f3

          org $0800
          ldx #$0000

otro:      movb #$82,eeprog
          ldaa $0830,x
          staa $0f6c,x          ;especificar la dir de inicio de quemado de la eeprom
          movb #$83,eeprog
          ldy #$ffff

sig:       dey
          cpy #$00
          bne sig
          movb #$00,eeprog
          inx
          cpx #$85            ;especificar el tamaño de la sub a quemar
          bne otro
          swi

          ;REG CONFIGU
          ;registros de configuración para el PWM
PWCLK      equ $0040
PWPOL      equ $0041
PWEN       equ $0042
PWPER0     equ $004c
PWPER1     equ $004d
PWDTY0     equ $0050          ;SAL ANALOGICA P VALV VINAZA
PWDTY1     equ $0051          ;SAL ANALOGICA P VALV AGUA
PWCTL      equ $0054

ATDCTL2    equ $0062          ;registros de control del ATD
ATDCTL3    equ $0063
ATDCTL4    equ $0064
ATDCTL5    equ $0065

ATDSTATH   equ $0066          ;registro de estado del ATD
ADR0H      equ $0070          ;resultado de la conversión de PAD0      sensor potasio en
mezcla final
ADR0L      equ $0071
ADR1H      equ $0072          ;resultado de la conversión de PAD1      sensor potasio en
vinaza
ADR1L      equ $0073
ADR2H      equ $0074          ;resultado de la conversión de PAD2      nivel tanque agua
ADR2L      equ $0075
ADR3H      equ $0076          ;resultado de la conversión de PAD3      nivel tanque vinaza
ADR3L      equ $0077
ADR4H      equ $0078          ;resultado de la conversión de PAD4      sensor flujo agua
ADR4L      equ $0079
ADR5H      equ $007A          ;resultado de la conversión de PAD5      sensor flujo vinaza
ADR5L      equ $007B

PORTA      equ $0000          ;CONFIG PUERTO A
DDRA       equ $0002
sc0bdh     equ $00c0          ;registros de configuración para el SCI 0
sc0bdl     equ $00c1
sc0cr1     equ $00c2
sc0cr2     equ $00c3
sc0sr1     equ $00c4
sc0sr2     equ $00c5
sc0drh     equ $00c6
sc0drl     equ $00c7
RTICTL     equ $0014          ;REG CONFIG P RTI

```

```

RTIFLG          equ $0015
UserRTI         equ 24           ; Int. de Usuario RTI
SETUSERVEC     equ $f69a        ; Configura Vector de Usuario
ERRX           equ $0800        ;EXTERNAL VARIABLES
ERRM1X         equ $0802        ;SIGNED INTS
ERRM2X         equ $0804
ERRM3X         equ $0806
KP             equ $0808
KPFRAC         equ $080A
KI             equ $080C
KIFRAC         equ $080E
KD             equ $0810        ;Máximo valor de 0 a 1 ( $0000 hasta $FFFF )
KDFRAC         equ $0812
SPKM          equ $0814        ;SET POINT porcentaje de potasio en la mezcla
SPFTOT         equ $0816        ;SET POINT flujo total FIJAR SIEMPRE AL MAX $00FE
PERDTFRAC     equ $0818        ;EL PERIODO SIEMPRE ES FRACCION
VAR1           equ $081A
VAR2           equ $081B        ;MENSAJES PARA LA PC DESDE HC12
INT56         equ $081C
FC56          equ $081E
TEMP1         equ $0820        ;se utiliza para el programa principal y para la sub PID
TEMP2         equ $0822
TEMP3         equ $0824
TEMP4         equ $0826
ADRCX         equ $0828
ADRCXM1       equ $082A
CMNDVX        equ $082C        ; SET POINT DE LA VALV VINAZA
KPTRM         equ $082E        ;LONGS
KITRM         equ $0832
KDTRM         equ $0836
LTEMP1        equ $083A
LTEMP2        equ $083E
LTEMP3        equ $0842
LTEMP4        equ $0846
LTEMP5        equ $084A
LTEMP6        equ $084E
LTEMP7        equ $0852
LTEMP8        equ $0856
LTEMP9        equ $085A
LTEMPA        equ $085E
FCINT56       equ $0862
INTFC56       equ $0866
OLDDTY        equ $086A
NEWDTY        equ $086E
;MULLNG       equ $0de8
;ADLNG        equ $0f1a
;DOKIT        equ $0d00
;DOKDT        equ $0d7b
;config       equ $0f6c
;subscil      equ $0fc7
;enviosci     equ $0fd1
;subscier     equ $0fe1

org $0830

;sub config
;*****
LDAA #$00
LDX #$0000
BORRA:        STA $0800,X
INX
CPX #$0072
BNE BORRA
;*****
;***** CONFIGURACION DEL PWM *****
configpwm:    MOVB #%00110000,PWCLK      ;selecciona a c/canal como 8 bits / preescala de 64

```

```

MOVW #03,PWPOL ;selección de la polaridad de los canales
MOVW #ff,PWPER0 ;periodo de la señal del canal 0 / frecuencia 490 Hz
MOVW #ff,PWPER1 ;periodo de la señal del canal 0 / frecuencia 490 Hz
MOVW #00,PWDTY0 ;duty cycle del canal 0 inicialmente 0
MOVW #00,PWDTY1 ;duty cycle del canal 0 inicialmente 0
MOVW #03,PWEN ;habilitación del o los canales pwm a utilizar en este
caso PP0 y PP1
;*****
;***** CONFIGURACION DEL ATD *****
configatd:
MOVW #80,ATDCTL2 ;habilita el ATD
LDAA #c8 ;retardo necesario de 100 microseg. el ATD se estabiliza
loop:
DECA
BNE loop
MOVW #01,ATDCTL4 ;operación 8 bits, elección del tiempo de muestreo 2
;ATD clock periods
;*****
;***** CONFIGURACION DEL SCI *****
configsci:
movb #0c,sc0cr2 ;no interrupciones, no paridad, habilita el
puerto
movb #00,sc0cr1 ;modo normal de 8 bits
movb #34,sc0bdl ;configura p' 9600 baudios
;*****
;***** CONFIGURACION DEL PUERTO A *****
movb #ff,DDRA
movb #00,PORTA
;*****
RTS
;***** sub lectura sci *****
subscil: clra
ldaa sc0sr1 ;verifica si existen datos en el sci, si no espera
anda #20
beq subscil
ldaa sc0dr1 ;en caso de que exista un dato lo almacena en A
rts
;*****
;***** sub envío por SCI a PC *****
enviosci:
espera: brclr sc0sr1,#80 espera ;espera a que este desocupado el canal de transmisión
staa sc0dr1 ;transmite el dato por el serial
confirma: jsr subscil
cmpa #2A ;espera por signo " * " p' enviar el prox dato
beq nxt
bra confirma
nxt:
rts
;*****
;***** sub escritura sci-ram *****
subscier:
sigu: ldy #0000
jsr subscil
staa $0000,x
inx
iny
cpy #04
bne sigu
ret:
rts
;*****

```

APENDICE J

Programa para Computadora en Lenguaje Visual Basic

Formulario Dialog:

```
Option Explicit
Private Sub OKButton_Click() 'Muestra el boton aceptar
    Form5.Visible = True 'en la ventana Password Incorrecto
    Unload Me 'Luego regresa a configuración
End Sub
```

Formulario Form1:

```
Private Sub Form_Load() 'Ventana ¿Qué desea Hacer?
    Option1.Value = True
End Sub
Private Sub Command1_Click()
    If Option1.Value = True Then 'Opción 1 Desconectarse del Microcontrolador
        MDIForm1.Timer1.Enabled = False
        MDIForm1.Timer2.Enabled = False
        MDIForm1.Timer3.Enabled = False
        MDIForm1.MSComm1.PortOpen = False
        MDIForm1.Label15.Caption = "Desconexión"
        MDIForm1.Show
        Unload Me
    End If
    If Option2.Value = True Then 'Opción 2 Conectarse al Microcontrolador
        MDIForm1.Timer1.Enabled = True
        MDIForm1.Timer2.Enabled = True
        MDIForm1.Timer3.Enabled = True
        MDIForm1.Timer4.Enabled = True
        If MDIForm1.MSComm1.PortOpen = False Then MDIForm1.MSComm1.PortOpen = True
        frmSplash.Show
        MDIForm1.Label15.Caption = "Conexión"
        Unload Me
    End If
    If Option3.Value = True Then 'Opción 3 Desconectarse y Cerrar la Aplicación
        MDIForm1.Timer1.Enabled = False
        MDIForm1.Timer2.Enabled = False
        MDIForm1.Timer3.Enabled = False
        MDIForm1.MSComm1.Output = "S"
        MDIForm1.MSComm1.PortOpen = False
    End If
End Sub
Private Sub Command2_Click() 'Boton Cancelar, cierra esta ventana
    Unload Me
End Sub
```

Formulario Form2:

```
Dim LineaTexto
Dim Cadena2 As String
Dim Caracter(20) As String
Dim Caracter2(20) As String
Private Sub Form_Load()
    Me.Left = ((MDIForm1.ScaleWidth - Me.Width) / 2)
    Me.Top = ((MDIForm1.ScaleHeight - Me.Height) / 2)
    Open "CMVA.jjc" For Input As #1 ' Abre el archivo.
    Do While Not EOF(1) ' Repite el bucle hasta el final del archivo.
        Line Input #1, LineaTexto ' Lee el carácter en la variable.
    Loop
    Close #1 ' Cierra el archivo.
    Cadena2 = ""
    For i = 1 To Len(LineaTexto)
        Caracter(i) = Mid(LineaTexto, i, 1)
        Caracter2(i) = Chr(CLng(Asc(Caracter(i)) - 23))
        Cadena2 = Cadena2 + Caracter2(i)
    Next i
End Sub
Private Sub Command1_Click()
    'A continuación se evalúa si la contraseña es correcta, ya sea
    'la escrita por el usuario o si es la contraseña maestra
    If Text1.Text = Cadena2 Or Text1.Text = "Don Bosco" Then
        Form3.Show 'carga la ventana form3 (Constantes PID)
        Unload Me 'Descarga esta ventana
    Else
        'Si la contraseña es errónea entonces
        Unload Me 'Descarga esta ventana
        Dialog.Show 'Carga la ventana Dialog (Password incorrecto)
        Dialog.Visible = True
    End If
End Sub
Private Sub Command2_Click() 'Si se presiona Cancel, regresa
    Form5.Show 'a la ventana Configuración
    Unload Me
End Sub
```

Formulario Form3:

```
Private Sub Form_Load()
    Me.Left = ((MDIForm1.ScaleWidth - Me.Width) / 2)
    Me.Top = ((MDIForm1.ScaleHeight - Me.Height) / 2)
    'Form2.Visible = False
    Text1.Text = Kp
    Text2.Text = Ki
    Text3.Text = Kd
    Text1.SelLength = 10
    Text2.SelLength = 10
    Text3.SelLength = 10
End Sub
Private Sub Command1_Click()
    On Error GoTo ControlError
    Kp = CDb(Text1.Text) 'Convierte los valores de texto a números dobles
    Ki = CDb(Text2.Text)
    Kd = CDb(Text3.Text)
    Form5.Show
    Unload Me
    Exit Sub
ControlError:
    If Err.Number = 13 Then
        Respuesta = MsgBox("Debe digitar una parte entera.fracción", vbOKOnly, "Error")
    End If
End Sub
```

```

Text1.Text = Kp
Text2.Text = Ki
Text3.Text = Kd
End If
Resume
End Sub
Private Sub Command2_Click()
Form5.Show 'Si se presiona Cancelar regresa a form5
Unload Me
End Sub
Private Sub Command3_Click()
Form7.Show
End Sub

```

Formulario Form4:

```

Dim man As Boolean
Dim dato As String
Dim Dividendo As Single, Cociente As Single, Residuo(5) As String
Dim i As Integer, x As Integer
Dim resp As String, respl As String, resph As String
Dim Lazo As Long
Private Sub Form_Load() 'Ventana Ver Planta
Me.Top = 0
Me.Left = 0
vbalProgressBar1.Value = Nagua
vbalProgressBar2.Value = NVinaza
If Auto = True Then man = False
If Auto = False Then man = True
End Sub
Private Sub Timer1_Timer() 'Temporizador para actualizar variables
'El siguiente segmento controla las advertencias y alarmas de los niveles en los tanques
If Nagua <= 10 And Label1.Visible = False Then Label1.Visible = True: GoTo seg1
If Nagua <= 10 And Label1.Visible = True Then Label1.Visible = False
seg1:
If NVinaza <= 10 And Label2.Visible = False Then Label2.Visible = True: GoTo seg2
If NVinaza <= 10 And Label2.Visible = True Then Label2.Visible = False
seg2:
If Nagua > 10 Then Label1.Visible = False
If NVinaza > 10 Then Label2.Visible = False
vbalProgressBar1.Value = Nagua
vbalProgressBar2.Value = NVinaza
'El siguiente segmento muestra/oculta los controles según el modo: manual/automático
If man = False Then
VScroll1.Visible = False
VScroll2.Visible = False
Command1.Visible = False
Else
Command1.Visible = True
VScroll1.Visible = True
VScroll2.Visible = True
End If
'Actualización de valores
ValAgua = (Spftotal / 2.55) - Favinaza
If ValAgua < 0 Then ValAgua = 0
Text1.Text = Fagua
Text2.Text = Favinaza
Text3.Text = Kvinaza
Text4.Text = KMezcla
Text5.Text = ValAgua
Text6.Text = PIDout
End Sub

```

```

Private Sub VScroll1_Change() 'En modo manual, controla la valv. de agua
    Text5.Text = VScroll1.Value
    ValAgua = VScroll1.Value
End Sub
Private Sub VScroll2_Change() 'En modo manual, controla la valv. de vinaza
    Text6.Text = VScroll2.Value
    PIDout = VScroll2.Value
End Sub
Private Sub Converhex() 'Esta subrutina convierte un número decimal a hexadecimal
    resp = ""
    i = 1
    While Dividendo >= 16
        Cociente = Int(Dividendo / 16)
        Residuo(i) = CStr(Dividendo Mod 16)
        Dividendo = Cociente
        i = i + 1
    Wend
    Residuo(i) = CStr(Dividendo)
    For x = 1 To i
        If Residuo(x) = "10" Then Residuo(x) = "A"
        If Residuo(x) = "11" Then Residuo(x) = "B"
        If Residuo(x) = "12" Then Residuo(x) = "C"
        If Residuo(x) = "13" Then Residuo(x) = "D"
        If Residuo(x) = "14" Then Residuo(x) = "E"
        If Residuo(x) = "15" Then Residuo(x) = "F"
    Next x
    For x = i To 1 Step -1
        resp = resp + Residuo(x)
    Next x
    respl = Right(resp, 2) + Chr$(13)
    If Len(resp) < 3 Then resph = "00" + Chr$(13)
    If Len(resp) = 3 Then resph = "0" + Left(resp, 1) + Chr$(13)
    If Len(resp) = 4 Then resph = Left(resp, 2) + Chr$(13)
End Sub
Private Sub Retraso() 'Subrutina de retraso
    For Lazo = 1 To 5000000
        Next Lazo
    End Sub

```

Formulario Form5:

```

Dim dato As String
Dim Dividendo As Single, Cociente As Single, Residuo(5) As String
Dim i As Integer, x As Integer
Dim resp As String, respl As String, resph As String
Dim Lazo As Long
Private Sub Form_Load() 'Ventana Configuración
    Me.Left = ((MDIForm1.ScaleWidth - Me.Width) / 2)
    Me.Top = ((MDIForm1.ScaleHeight - Me.Height) / 2)
    Text8.Text = Kvinaza
    Text11.Text = Kp
    Text12.Text = Ki
    Text13.Text = Kd
    Text9.Text = SpKMezcla / 2.55
    Text10.Text = Spftotal / 2.55
    MDIForm1.Timer2.Enabled = False
    Option1.Value = Auto
End Sub
Private Sub Form_Activate() 'Al activarse esta ventana
    Option1.Value = Auto 'Establece las opciones de Manual/Automático
    Option2.Value = Not Auto 'Según se encuentren activas
    Text11.Text = Kp

```

```

Text12.Text = Ki
Text13.Text = Kd
End Sub
Private Sub Command1_Click() 'Botón Enviar al controlador
'El siguiente segmento convierte las magnitudes de las variables
'a hexadecimal y luego las envía al microcontrolador
Label8.Caption = "Enviando al Microcontrolador . . ."
ProgressBar1.Visible = True
ProgressBar1.Value = 0
SpKMezcla = (Cdbl(Text9.Text) * 2.55)
Spftotal = (Cdbl(Text10.Text) * 2.55)
MDIForm1.MSComm1.Output = "S"
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = "mm 0808" + Chr$(13)
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int(Kp): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'envía la parte entera de Kp
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int((Kp - Int(Kp)) * 65536): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'Envía la parte decimal de Kp,
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl 'en escala de: 0 a 0 y 1 a 65536
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int(Ki): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'envía la parte entera de Ki
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int((Ki - Int(Ki)) * 65536): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'Envía la parte decimal de Ki,
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl 'en escala de: 0 a 0 y 1 a 65536
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int(Kd): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'envía la parte entera de Kd
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Int((Kd - Int(Kd)) * 65536): Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'Envía la parte decimal de Kd,
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl 'en escala de: 0 a 0 y 1 a 65536
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = SpKMezcla: Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'envía 00
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl 'envía SPKMezcla
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
Dividendo = Spftotal: Call Converhex
MDIForm1.MSComm1.Output = resph 'envía 00
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = respl 'envía SPKMezcla
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = "." + Chr$(13)
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.MSComm1.Output = "g 0875" + Chr$(13)
Call Retraso: ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Value + 5
MDIForm1.Timer2.Enabled = True
Label8.Caption = ""
ProgressBar1.Visible = False

```

```

Call Retraso
Unload Me          'Cierra la ventana
End Sub
Private Sub Command2_Click()    'Si se presiona Modificar valores Kp, Ki & Kd
    MDIForm1.Timer2.Enabled = True
    Form2.Show              'carga la ventana form2 Modificar constantes PID
End Sub
Private Sub Command3_Click()    'Botón Cancelar
    Unload Me
End Sub
Private Sub Option1_Click()
    Auto = True
End Sub
Private Sub Option2_Click()
    Auto = False
End Sub
Private Sub Converhex()    'Subrutina para convertir números
    resp = ""              'decimales a hexadecimal
    i = 1
    While Dividendo >= 16
        Cociente = Int(Dividendo / 16)
        Residuo(i) = CStr(Dividendo Mod 16)
        Dividendo = Cociente
        i = i + 1
    Wend
    Residuo(i) = CStr(Dividendo)
    For x = 1 To i
        If Residuo(x) = "10" Then Residuo(x) = "A"
        If Residuo(x) = "11" Then Residuo(x) = "B"
        If Residuo(x) = "12" Then Residuo(x) = "C"
        If Residuo(x) = "13" Then Residuo(x) = "D"
        If Residuo(x) = "14" Then Residuo(x) = "E"
        If Residuo(x) = "15" Then Residuo(x) = "F"
    Next x
    For x = i To 1 Step -1
        resp = resp + Residuo(x)
    Next x
    resp1 = Right(resp, 2) + Chr$(13)
    If Len(resp) < 3 Then resph = "00" + Chr$(13)
    If Len(resp) = 3 Then resph = "0" + Left(resp, 1) + Chr$(13)
    If Len(resp) = 4 Then resph = Left(resp, 2) + Chr$(13)
End Sub
Private Sub Retraso()    'Subrutina de retraso
    For Lazo = 1 To 5000000
        Next Lazo
End Sub

```

Formulario Form6:

```

Dim i As Integer
Dim incr As Integer
Dim metrix As Integer
Dim Graf1(3, 50) As Integer
Dim Graf2(2, 50) As Integer
Dim Graf3(2, 50) As Integer
Dim Spfvinaza As Single
Dim escala1inf As Single, escala2inf As Single, escala3inf As Single
Dim escala1sup As Single, escala2sup As Single, escala3sup As Single
Public indice As Integer
Dim Primeravez As Boolean
Public r0 As Integer, r1 As Integer, r2 As Integer, r3 As Integer, r4 As Integer
Public r5 As Integer, r6 As Integer, r7 As Integer, r8 As Integer, r9 As Integer

```

```

Public r10 As Integer, r11 As Integer, r12 As Integer
Public g0 As Integer, g1 As Integer, g2 As Integer, g3 As Integer, g4 As Integer
Public g5 As Integer, g6 As Integer, g7 As Integer, g8 As Integer, g9 As Integer
Public g10 As Integer, g11 As Integer, g12 As Integer
Public b0 As Integer, b1 As Integer, b2 As Integer, b3 As Integer, b4 As Integer
Public b5 As Integer, b6 As Integer, b7 As Integer, b8 As Integer, b9 As Integer
Public b10 As Integer, b11 As Integer, b12 As Integer
Private Sub Form_Load() 'Ventana Gráficas
    Me.Top = 0
    Me.Left = 0
    incr = 4
    i = incr
'Se establecen los colores por defecto de los trazos
    r0 = 255: g1 = 255: b2 = 255: g2 = 255
    b3 = 255: r4 = 255: g5 = 255: b6 = 255
    r7 = 255: g8 = 255: b9 = 255: r10 = 255
    g10 = 255: b10 = 255: r11 = 255: g11 = 255
    b11 = 255: r12 = 255: g12 = 255: b12 = 255
    escala1sup = 100: escala2sup = 100: escala3sup = 10
    Picture1.Scale (0, escala1inf)-(200, escala1sup)
    Picture2.Scale (0, escala2inf)-(200, escala2sup)
    Picture3.Scale (0, escala3inf)-(200, escala3sup)
    Primeravez = True 'Variable de inicialización de la ventana
End Sub
Private Sub Form_GotFocus()
    Call Refrescar
End Sub
Private Sub Picture1_Click() 'Fondo de gráfica 1
    indice = 10
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture2_Click() 'Fondo de gráfica 2
    indice = 11
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture3_Click() 'Fondo de gráfica 3
    indice = 12
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture4_Click() 'Color de trazo 1.1
    indice = 0
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture5_Click() 'Color de trazo 1.2
    indice = 1
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture6_Click() 'Color de trazo 1.3
    indice = 2
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture7_Click() 'Color de trazo 1.4
    indice = 3
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture8_Click() 'Color de trazo 2.1
    indice = 4
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture9_Click() 'Color de trazo 2.2
    indice = 5
    Form9.Show 'muestra la ventana Cambiar Color

```

```

End Sub
Private Sub Picture10_Click() 'Color de trazo 2.3
    indice = 6
    Form9.Show          'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture11_Click() 'Color de trazo 3.1
    indice = 7
    Form9.Show          'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture12_Click() 'Color de trazo 3.2
    indice = 8
    Form9.Show          'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Picture13_Click() 'Color de trazo 3.3
    indice = 9
    Form9.Show          'muestra la ventana Cambiar Color
End Sub
Private Sub Text1_LostFocus() 'Cambio de escala
    If Text1.Text <> "" Then
        escala1sup = Text1.Text
        If escala1sup <> 0 Then
            Picture1.Scale (0, escala1sup)-(200, escala1inf)
            Label17.Caption = (escala1sup + escala1inf) / 2
            Label13.Caption = (escala1sup + Label17.Caption) / 2
            Label14.Caption = (escala1inf + Label17.Caption) / 2
            Picture1.Cls
            Call Refrescar
        End If
    End If
End Sub
Private Sub Text2_LostFocus() 'Cambio de escala
    If Text2.Text <> "" Then
        escala1inf = Text2.Text
        Picture1.Scale (0, escala1sup)-(200, escala1inf)
        Label17.Caption = (escala1sup + escala1inf) / 2
        Label13.Caption = (escala1sup + Label17.Caption) / 2
        Label14.Caption = (escala1inf + Label17.Caption) / 2
        Picture1.Cls
        Call Refrescar
    End If
End Sub
Private Sub Text3_LostFocus() 'Cambio de escala
    If Text3.Text <> "" Then
        escala3sup = Text3.Text
        If escala3sup <> 0 Then
            Picture3.Scale (0, escala3sup)-(200, escala3inf)
            Label21.Caption = (escala3sup + escala3inf) / 2
            Label20.Caption = (escala3sup + Label21.Caption) / 2
            Label19.Caption = (escala3inf + Label21.Caption) / 2
            Picture3.Cls
            Call Refrescar
        End If
    End If
End Sub
Private Sub Text4_LostFocus() 'Cambio de escala
    If Text4.Text <> "" Then
        escala3inf = Text4.Text
        Picture3.Scale (0, escala3sup)-(200, escala3inf)
        Label21.Caption = (escala3sup + escala3inf) / 2
        Label20.Caption = (escala3sup + Label21.Caption) / 2
        Label19.Caption = (escala3inf + Label21.Caption) / 2
        Picture3.Cls
    End If
End Sub

```

```

    Call Refrescar
End If
End Sub
Private Sub Text5_LostFocus() 'Cambio de escala
If Text5.Text <> "" Then
    escala2inf = Text5.Text
    Picture2.Scale (0, escala2sup)-(200, escala2inf)
    Label18.Caption = (escala2sup + escala2inf) / 2
    Label15.Caption = (escala2sup + Label18.Caption) / 2
    Label16.Caption = (escala2inf + Label18.Caption) / 2
    Picture2.Cls
    Call Refrescar
End If
End Sub
Private Sub Text6_LostFocus() 'Cambio de escala
If Text6.Text <> "" Then
    escala2sup = Text6.Text
    If escala2sup <> 0 Then
        Picture2.Scale (0, escala2sup)-(200, escala2inf)
        Label18.Caption = (escala2sup + escala2inf) / 2
        Label15.Caption = (escala2sup + Label18.Caption) / 2
        Label16.Caption = (escala2inf + Label18.Caption) / 2
        Picture2.Cls
        Call Refrescar
    End If
End If
End Sub
Private Sub Timer1_Timer() 'Temporizador de actualización de gráficas
'El siguiente segmento de programa grafica los trazos de las variables seleccionadas
'en el color de trazo designado por el usuario
If Kvinaza <> 0 Then Spfvinaza = (Spftotal / 2.55) * (SpKMezcla / 2.55) / Kvinaza
If i >= 197 Then i = 0: Picture1.Cls: Picture2.Cls: Picture3.Cls
i = i + incr
Graf1(0, i / 4) = Spfvinaza
Graf1(1, i / 4) = PIDout
Graf1(2, i / 4) = Favinaza
Graf1(3, i / 4) = Spfvinaza - PIDout
Graf2(0, i / 4) = Fagua
Graf2(1, i / 4) = Favinaza
Graf2(2, i / 4) = Spftotal / 2.55
Graf3(0, i / 4) = Kvinaza
Graf3(1, i / 4) = KMezcla
Graf3(2, i / 4) = SpKMezcla / 2.55
Picture4.BackColor = RGB(r0, g0, b0)
Picture5.BackColor = RGB(r1, g1, b1)
Picture6.BackColor = RGB(r2, g2, b2)
Picture7.BackColor = RGB(r3, g3, b3)
Picture8.BackColor = RGB(r4, g4, b4)
Picture9.BackColor = RGB(r5, g5, b5)
Picture10.BackColor = RGB(r6, g6, b6)
Picture11.BackColor = RGB(r7, g7, b7)
Picture12.BackColor = RGB(r8, g8, b8)
Picture13.BackColor = RGB(r9, g9, b9)
Call Refrescar
End Sub
Private Sub Refrescar() 'Subrutina que refresca los trazos en las ventanas de gráficas
    metrix = i
    For i = incr To metrix Step incr
        If Check1.Value = 1 Then Picture1.Line (i, Graf1(0, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf1(0, i / 4)), RGB(r0, g0, b0)
        If Check2.Value = 1 Then Picture1.Line (i, Graf1(1, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf1(1, i / 4)), RGB(r1, g1, b1)
        If Check3.Value = 1 Then Picture1.Line (i, Graf1(2, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf1(2, i / 4)), RGB(r2, g2, b2)
        If Check4.Value = 1 Then Picture1.Line (i, Graf1(3, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf1(3, i / 4)), RGB(r3, g3, b3)
    End For
End Sub

```

```

If Check5.Value = 1 Then Picture2.Line (i, Graf2(0, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf2(0, i / 4)), RGB(r4, g4, b4)
If Check6.Value = 1 Then Picture2.Line (i, Graf2(1, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf2(1, i / 4)), RGB(r5, g5, b5)
If Check7.Value = 1 Then Picture2.Line (i, Graf2(2, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf2(2, i / 4)), RGB(r6, g6, b6)
If Check8.Value = 1 Then Picture3.Line (i, Graf3(0, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf3(0, i / 4)), RGB(r7, g7, b7)
If Check9.Value = 1 Then Picture3.Line (i, Graf3(1, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf3(1, i / 4)), RGB(r8, g8, b8)
If Check10.Value = 1 Then Picture3.Line (i, Graf3(2, (i / 4) - 1))-(i + incr, Graf3(2, i / 4)), RGB(r9, g9, b9)
Next i
End Sub

```

Formulario Form7:

```

Dim LíneaTexto
Dim Cadena As String
Dim Cadena2 As String
Dim Caracter(20) As String
Dim Caracter2(20) As String
Private Sub Form_Load() 'Ventana Cambio de Contraseña
    Me.Left = ((MDIForm1.ScaleWidth - Me.Width) / 2)
    Me.Top = ((MDIForm1.ScaleHeight - Me.Height) / 2)
    Open "CMVA.jjc" For Input As #1 'Abre el archivo que contiene la contraseña
    Do While Not EOF(1)
        Line Input #1, LíneaTexto
    Loop
    Close #1 'Cierra el archivo
    Cadena2 = ""
    'Decodificación de la clave
    For i = 1 To Len(LíneaTexto)
        Caracter(i) = Mid(LíneaTexto, i, 1)
        Caracter2(i) = Chr(CLng(Asc(Caracter(i)) - 23))
        Cadena2 = Cadena2 + Caracter2(i)
    Next i
    Cadena = "": Caracter(i) = "": Caracter2(i) = ""
End Sub
Private Sub Command1_Click() 'Botó Aceptar
    'A continuación se evalúa si la contraseña es correcta, ya sea
    'la escrita por el usuario o si es la contraseña maestra
    If Text1.Text = Cadena2 Or Text1.Text = "Don Bosco" Then
        If Text2.Text = Text3.Text Then 'Evalúa si la nueva contraseña esta bien escrita
            Cadena = Text2.Text
            Cadena2 = ""
            For i = 1 To Len(Cadena)
                Caracter(i) = Mid(Cadena, i, 1)
                Caracter2(i) = Chr(CLng(Asc(Caracter(i)) + 23))
                Cadena2 = Cadena2 + Caracter2(i)
            Next i
            Open "CMVA.jjc" For Output As #1 'Abre el archivo y guarda la nueva contraseña (codificada)
            Print #1, Cadena2
            Close #1
seg1: resp = MsgBox("El cambio de contraseña ha sido satisfactorio", vbOKOnly, "Cambio correcto")
            If resp <> vbOK Then GoTo seg1
            Form3.Show 'carga la ventana Constantes PID
            Unload Me
        Else 'Si existe algún error en la nueva contraseña:
seg2: resp = MsgBox("Error, confirmando la nueva contraseña, inténtelo nuevamente", vbOKOnly, "Error")
            If resp <> vbOK Then GoTo seg2
            Unload Me
            Form7.Show
        End If
    Else 'Si la contraseña es errónea entonces
        Dialog.Show 'Carga la ventana Dialog (Password incorrecto)
        Dialog.Visible = True
        Unload Me
    End If

```

```

End If
End Sub
Private Sub Command2_Click() 'Botón Cancelar
Unload Me
End Sub

```

Formulario Form8:

```

Private Sub Form_Load() 'Pantalla de Presentación Inicial
ShockwaveFlash1.Play 'Ejecuta la animación
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
'Temporizador que verifica si la animación ha terminado
'Si es así descarga esta ventana y carga el programa principal
If Not ShockwaveFlash1.IsPlaying Then
Load MDIForm1
Form8.Visible = False
Unload Form8
End If
End Sub

```

Formulario Form9:

```

Dim r As Integer
Dim g As Integer
Dim b As Integer
Private Sub Form_Load() 'Ventana Cambiar Color
'A continuación se determina desde que gráfica o cuadro de color se ha
'llamado a esta subrutina, y luego se toman los colores en formato RGB
'del gráfico o cuadro de color llamante
If Form6.indice = 0 Then r = Form6.r0: g = Form6.g0: b = Form6.b0
If Form6.indice = 1 Then r = Form6.r1: g = Form6.g1: b = Form6.b1
If Form6.indice = 2 Then r = Form6.r2: g = Form6.g2: b = Form6.b2
If Form6.indice = 3 Then r = Form6.r3: g = Form6.g3: b = Form6.b3
If Form6.indice = 4 Then r = Form6.r4: g = Form6.g4: b = Form6.b4
If Form6.indice = 5 Then r = Form6.r5: g = Form6.g5: b = Form6.b5
If Form6.indice = 6 Then r = Form6.r6: g = Form6.g6: b = Form6.b6
If Form6.indice = 7 Then r = Form6.r7: g = Form6.g7: b = Form6.b7
If Form6.indice = 8 Then r = Form6.r8: g = Form6.g8: b = Form6.b8
If Form6.indice = 9 Then r = Form6.r9: g = Form6.g9: b = Form6.b9
If Form6.indice = 10 Then r = Form6.r10: g = Form6.g10: b = Form6.b10
If Form6.indice = 11 Then r = Form6.r11: g = Form6.g11: b = Form6.b11
If Form6.indice = 12 Then r = Form6.r12: g = Form6.g12: b = Form6.b12
VScroll1.Value = r
VScroll2.Value = g
VScroll3.Value = b
'Se establece el cuadro de muestra con los colores del gráfico o cuadro llamante
Picture1.Scale (0, 0)-(100, 100)
Picture1.BackColor = RGB(r, g, b)
End Sub
Private Sub VScroll1_Change() 'Varía la tonalidad de Rojo en el cuadro de muestra
r = VScroll1.Value
Picture1.BackColor = RGB(r, g, b)
End Sub
Private Sub VScroll2_Change() 'Varía la tonalidad de Verde en el cuadro de muestra
g = VScroll2.Value
Picture1.BackColor = RGB(r, g, b)
End Sub
Private Sub VScroll3_Change() 'Varía la tonalidad de Azul en el cuadro de muestra
b = VScroll3.Value
Picture1.BackColor = RGB(r, g, b)
End Sub
Private Sub Command1_Click() 'Botón Aceptar

```

```

'A continuación se asignan los colores del cuadro de muestra al
'gráfico o cuadro de color llamante
If Form6.indice = 0 Then Form6.r0 = r: Form6.g0 = g: Form6.b0 = b
If Form6.indice = 1 Then Form6.r1 = r: Form6.g1 = g: Form6.b1 = b
If Form6.indice = 2 Then Form6.r2 = r: Form6.g2 = g: Form6.b2 = b
If Form6.indice = 3 Then Form6.r3 = r: Form6.g3 = g: Form6.b3 = b
If Form6.indice = 4 Then Form6.r4 = r: Form6.g4 = g: Form6.b4 = b
If Form6.indice = 5 Then Form6.r5 = r: Form6.g5 = g: Form6.b5 = b
If Form6.indice = 6 Then Form6.r6 = r: Form6.g6 = g: Form6.b6 = b
If Form6.indice = 7 Then Form6.r7 = r: Form6.g7 = g: Form6.b7 = b
If Form6.indice = 8 Then Form6.r8 = r: Form6.g8 = g: Form6.b8 = b
If Form6.indice = 9 Then Form6.r9 = r: Form6.g9 = g: Form6.b9 = b
If Form6.indice = 10 Then Form6.r10 = r: Form6.g10 = g: Form6.b10 = b: Form6.Picture1.BackColor = RGB(r, g, b)
If Form6.indice = 11 Then Form6.r11 = r: Form6.g11 = g: Form6.b11 = b: Form6.Picture2.BackColor = RGB(r, g, b)
If Form6.indice = 12 Then Form6.r12 = r: Form6.g12 = g: Form6.b12 = b: Form6.Picture2.BackColor = RGB(r, g, b)
Unload Me
End Sub
Private Sub Command2_Click() 'Boton Cancelar (cierra esta ventana)
Unload Me
End Sub
Private Sub Timer1_Timer() 'Actualiza los colores del cuadro de muestra
Text1.Text = r
Text2.Text = g
Text3.Text = b
End Sub

```

Formulario frmSplash:

```

Private Sub Form_Load() 'Ventana Estableciendo Comunicación
mens = "Estableciendo Comunicación"
Picture1.Visible = False
Picture1.Enabled = False
Auto = True
End Sub

```

Formulario MDIForm1:

```

'Formulario Principal

'Declaración de Variables
Dim dato As String 'dato contiene la inf. que se manda hacia el 68HC12
Dim Leer(20) As Integer 'Variable que almacena la trama de datos enviada por el microcontrolador
Dim i As Single 'Variable de propósito general
Dim metrix As Single 'Variable de propósito general
Dim horaerror As Single 'Almacena una variable de temporización
Dim FrmX As Form 'Variable tipo objeto(Formulario)
Dim Lazo As Double 'Variable para generar ciclos de espera
Dim Dividendo As Single, Cociente As Single, Residuo(5) As String 'Variables para conversión decimal -> Hexadecimal
Dim a As Integer, x As Integer 'Varables de propósito general
Dim resp As String, respl As String, resph As String 'Resultado de conversión decimal -> Hexadecimal
Private Sub MDIForm_Load() 'Al cargar la ventana realiza lo siguiente
MSComm1.PortOpen = True 'Abre el puerto serial
Call pr_Verificar_FRMCargado 'Verifica si existe algun formulario secundario
tiempo = Timer
MDIForm1.Visible = False 'Hace la ventana invisible
frmSplash.Show 'Hace visible la ventana de inicio
dato = "load" + Chr$(13)
MSComm1.Output = dato 'Envía al 68HC12 el comando load
dato = "S013000046696C653A2070726F67622E61736D0A7F" + Chr$(13) +
"S1130800070407120721180B0C00C3180B0000C2C1" + Chr$(13) + "S1130810180B3400C13D076796C78153182700029F" +
Chr$(13) + "S113082020F4866307613D075696C78141270E81F0" + Chr$(13) +
"S1130830422734814327388158273C20EA866D07B4" + Chr$(13) + "S113084046073C96C7815026F8073496C77A0900B4" +

```

```

Chr$(13) + "S1130850072D96C7814726F8072596C77A0901868A" + Chr$(13) +
"S11308606907241820FFC0866E071C1820FFB8866D" + Chr$(13) + "S11308706F07141820FFB08678070C1820FFA8878C" +
Chr$(13) + "S111088096C4842027F93D4FC450FC5AC73D4E" + Chr$(13) + "S9030000FC"
  MSComm1.Output = dato      'En dato se carga el programa y se envia al 68HC12
  MSComm1.Output = "g 0872" + Chr$(13) 'Envia el comando "g" al microcontrolador
End Sub
Private Sub pr_Verificar_FRMCargado() 'Esta subrutina verifica si se encuentra
Set FrmX = Me.ActiveForm      'cargado algun formulario secundario
If Not FrmX Is Nothing Then   'si es asi lo descarga de memoria
  Unload FrmX
End If
Set FrmX = Nothing
End Sub
Private Sub BotonParo_Click() 'Si se presiona el boton paro
  Timer2.Enabled = False      'Deshabilita la lectura del microcontrolador
  MSComm1.Output = "S"        'Envia el comando S al microcontrolador
  MSComm1.Output = "mm 0814" + Chr$(13) 'Modifica las regiones de memoria
  MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)   'para fijar la abertura de las
  MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)   'en 0%
  MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)
  MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)
  MSComm1.Output = "." + Chr$(13)
  MSComm1.Output = "g 0875" + Chr$(13) 'Hace que se ejecute nuevamente el
  Timer2.Enabled = True          'software de PID, habilita la lectura de datos
End Sub
Private Sub ParoEmergenciaHab_Click() 'Subrutina de paro de emergencia activo
Label35.Visible = True
ParoEmergenciaHab.Visible = False
ParoEmergenciaDes.Enabled = True
ParoEmergenciaDes.Visible = True
ParoEmergenciaHab.Enabled = False 'Muestra el estado de Paro de Emergencia
Timer2.Enabled = False            'Deshabilita la lectura de datos
MSComm1.Output = "S"              'Envia el comando S
MSComm1.Output = "mm 0050" + Chr$(13) 'Modifica regiones de memoria para
MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)   'cerrar las válvulas de inmediato
MSComm1.Output = "00" + Chr$(13)
MSComm1.Output = "." + Chr$(13)
MSComm1.Output = "g 0875" + Chr$(13) 'Habilita nuevamente el software PID
Timer2.Enabled = True             'Habilita la lectura de datos
End Sub
Private Sub ParoEmergenciaDes_Click() 'Subrutina desactivando estado paro de emergencia
Label35.Visible = False
ParoEmergenciaDes.Visible = False
ParoEmergenciaHab.Enabled = True
ParoEmergenciaHab.Visible = True
ParoEmergenciaDes.Enabled = False
MSComm1.Output = "S"              'Envia el comando S
MSComm1.Output = "mm 0050" + Chr$(13) 'Modifica regiones de memoria para
MSComm1.Output = PIDout + Chr$(13)  'abrir las valvulas al valor adecuado
MSComm1.Output = ValAgua + Chr$(13)
MSComm1.Output = "." + Chr$(13)
MSComm1.Output = "g 0875" + Chr$(13) 'Habilita nuevamente el software PID
End Sub
Private Sub BotonVerPlanta_Click() 'Subrutina Botón Ver Planta
Call pr_Verificar_FRMCargado      'Descarga cualquier formulario secundario
Form4.Show                        'Muestra el formulario 4
End Sub
Private Sub BotonConfiguracion_Click() 'Subrutina Botón Configuración
Call pr_Verificar_FRMCargado      'Descarga cualquier formulario secundario
Timer2.Enabled = False            'Deshabilita lectura de datos
Form5.Show                        'Muestra el formulario 5
End Sub

```

```

Private Sub BotonGraficas_Click() 'Botón Gráficas
    Call pr_Verificar_FRMCargado 'Descarga cualquier formulario secundario
    Form6.Show 'Muestra el formulario 6
End Sub
Private Sub BotonSalir_Click() 'Subrutina Botón Salir
    Timer2.Enabled = False 'Deshabilita la lectura de datos
    Form1.Show 'Muestra el formulario 1
End Sub
Private Sub BotonArranque_Click() 'Subrutina Boton Arranque
    Timer2.Enabled = False 'Deshabilita la lectura de datos
    MSCComm1.Output = "S" 'Envia el comando S al microcontrolador
    MSCComm1.Output = "mm 0814" + Chr$(13) 'Modifica las regiones de memoria
    Dividendo = SpKMezcla: Call Converhex 'para introducir los valores
    MSCComm1.Output = respH 'actuales de SPKMezcla
    Call Retraso
    MSCComm1.Output = respI
    Call Retraso
    Dividendo = Spftotal: Call Converhex 'y Spftotal
    MSCComm1.Output = respH
    Call Retraso
    MSCComm1.Output = respI
    Call Retraso
    MSCComm1.Output = "." + Chr$(13)
    Call Retraso
    MSCComm1.Output = "g 0875" + Chr$(13) 'Habilita nuevamente el software PID
    Timer2.Enabled = True
End Sub
Private Sub Timer1_Timer() 'Temporizador 1
Select Case Nagua 'Monitoreo de niveles de alarma
    Case Is <= 10 'y advertencia
        Command6.BackColor = vbRed
        Label5.Caption = "Alarma"

    Case 10 To 20
        Command6.BackColor = vbYellow
        Label5.Caption = "Advertencia"

    Case Else
        Command6.BackColor = vbGreen
        Label5.Caption = "OK"
End Select
Select Case NVinaza
    Case Is <= 10
        Command7.BackColor = vbRed
        Label6.Caption = "Alarma"

    Case 10 To 20
        Command7.BackColor = vbYellow
        Label6.Caption = "Advertencia"

    Case Else
        Command7.BackColor = vbGreen
        Label6.Caption = "OK"
End Select
End Sub
Private Sub Timer2_Timer() 'Temporizador 2
MSCComm1.Output = "L" 'Envia comando de lectura
metrix = 0 'Este temporizador mantiene actualizados
Do 'los datos calculados por el microcontrolador
    dummy = DoEvents()
    Call Retraso
    metrix = metrix + 1

```

```

Loop Until MSComm1.InBufferCount >= 7 Or metrix > 63
lectura = MSComm1.Input
If i > 10 Or metrix > 20 Then
    horaerror = Timer
    Call Destrabar
End If
If Len(lectura) > 10 Then lectura = Left(lectura, 7)
For metrix = 1 To Len(lectura)
    Leer(metrix) = Asc(Mid(lectura, metrix, 1))
Next metrix
i = i + 1
PIDout = Leer(1) / 2.55 'Reasigna las variables leidas del 68HC12
Favinaza = Leer(2) / 2.55
Kvinaza = Leer(3) / 2.55
Nagua = Leer(4) / 2.55
NVinaza = Leer(5) / 2.55
Fagua = Leer(6) / 2.55
KMezcla = Leer(7) / 2.55
End Sub
Private Sub Timer3_Timer() 'Temporizador 3
If Auto = True Then Label14.Caption = "Automático" Else Label14.Caption = "Manual"
Label20.Caption = SpKMezcla / 2.55 'Este temporizador mantiene
Label21.Caption = Spftotal / 2.55 'refrescando los datos en el formulario principal
Label22.Caption = Kp
Label23.Caption = Ki
Label24.Caption = Kd
Label25.Caption = Kvinaza
Label26.Caption = KMezcla
End Sub
Private Sub Timer4_Timer() 'Temporizador 4
If Timer >= tiempo + 5 Then 'Este temporizador verifica la comunicación
    If MSComm1.InBufferCount <> 0 Then 'con el microcontrolador
        Unload frmSplash
        MDIForm1.Show
        Label15.Caption = "Conexión"
        Timer4.Enabled = False
        Timer2.Enabled = True
    Else
        frmSplash.Picture1.Enabled = True
        frmSplash.Picture1.Visible = True
        If Timer >= tiempo + 8 Then
            Unload frmSplash
            frmSplash.Visible = False
            Form1.Show
            Timer4.Enabled = False
        End If
    End If
End If
End Sub
mens = mens + " ."
frmSplash.Text1.Text = mens
If mens = "Estableciendo Comunicación . . . ." Then mens = "Estableciendo Comunicación"
End Sub
Private Sub Destrabar() 'Esta subrutina vacia los buferes de comunicacion serial
    Timer1.Enabled = False 'permitiendo que el programa responda ante ciertas eventualidades
    Timer2.Enabled = False
    MSComm1.PortOpen = False
    Do
        dummy = DoEvents()
    Loop Until Timer > horaerror + 1
    i = 0
    metrix = 0
    MSComm1.PortOpen = True

```

```

Call Retraso
Timer1.Enabled = True
Timer2.Enabled = True
End Sub
Private Sub Retraso()
For Lazo = 1 To 100000
Next Lazo
End Sub
Private Sub Converterhex() 'Esta subrutina convierte un numero decimal
resp = "" 'en su equivalente hexadecimal
a = 1
While Dividendo >= 16
Cociente = Int(Dividendo / 16)
Residuo(a) = CStr(Dividendo Mod 16)
Dividendo = Cociente
a = a + 1
Wend
Residuo(a) = CStr(Dividendo)
For x = 1 To a
If Residuo(x) = "10" Then Residuo(x) = "A"
If Residuo(x) = "11" Then Residuo(x) = "B"
If Residuo(x) = "12" Then Residuo(x) = "C"
If Residuo(x) = "13" Then Residuo(x) = "D"
If Residuo(x) = "14" Then Residuo(x) = "E"
If Residuo(x) = "15" Then Residuo(x) = "F"
Next x
For x = a To 1 Step -1
resp = resp + Residuo(x)
Next x
respl = Right(resp, 2) + Chr$(13)
If Len(resp) < 3 Then resph = "00" + Chr$(13)
If Len(resp) = 3 Then resph = "0" + Left(resp, 1) + Chr$(13)
If Len(resp) = 4 Then resph = Left(resp, 2) + Chr$(13)
End Sub

```

Modulo Module1:

```

'Option Explicit
Public mens As String 'mens=mensaje de texto
Public tiempo As Single 'tiempo=variable para generar retrasos
Public lectura As String 'lectura=inf. que se lee del 68HC12
Public PIDout As Integer 'Salida del Controlador PID
Public Nagua As Integer 'Nivel del tanque de Agua
Public NVinaza As Integer 'Nivel del tanque de Vinaza
Public Kvinaza As Integer 'Potasio detectado en la vinaza
Public KMezcla As Integer 'Potasio detectado en la mezcla final
Public Fagua As Integer 'Flujo medido de agua
Public Favinaza As Integer 'Flujo medido de vinaza
Public Auto As Boolean 'Variable para modo automático/manual
Public SpKMezcla As Single 'Set point de potasio en la mezcla final
Public Spftotal As Single 'Set point de fluj total
Public ValAgua As Integer 'Abertura de la válvula de agua
Public Kp As Single 'Constante proporcional del controlador
Public Ki As Single 'Constante integral del controlador
Public Kd As Single 'Constante derivativa del controlador

```