



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR  
PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO**

**Lincoln Benjamín de León Velásquez**

Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR  
PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LINCOLN BENJAMÍN DE LEÓN VELÁSQUEZ**

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de marzo de 2015.

**Lincoln Benjamín de León Velásquez**



Guatemala, 14 octubre de 2015.

Ing. Otto Fernando Andrino González  
Coordinador de Área de Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Andrino:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO"**, desarrollado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica Lincoln Benjamín de León Velásquez con carné No. 2008-30437, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
ASESOR  
Colegiado 5898

*Guillermo A. Puente R.*  
INGENIERO ELECTRONICO  
COL. # 5898





REF. EIME 14 . 2016.  
Guatemala, 13 de NOVIEMBRE 2015.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Francisco Javier González López  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR  
MICROCONTROLADOR PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH  
DE UN INGENIO AZUCARERO, del estudiante Lincoln Benjamín  
de León Velásquez , que cumple con los requisitos establecidos para tal  
fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
DIRECCIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing. Otto Fernando Andriano González  
Coordinador Área Electrotécnica



SRO



REF. EIME 14. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; LINCOLN BENJAMÍN DE LEÓN VELÁSQUEZ Titulado: DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 9 DE MARZO 2016.



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.D.271-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATIZADO POR MICROCONTROLADOR PARA UNA CENTRÍFUGA BATCH DE UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario: **Lincoln Benjamín de León Velásquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, junio de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Padre que me ha dado la vida, inteligencia y conocimiento.
<b>Mis padres</b>	Quienes han sido ejemplo para construir una vida.
<b>Mi hermano</b>	Por su apoyo incondicional que siempre he tenido.
<b>Mis abuelos</b>	Por sus consejos, los cuales siempre llevo en el corazón.
<b>Mis abuelas</b>	Personas tan especiales e importantes en mi vida, de las cuales me gustaría tener más, o algún recuerdo de ellas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por la formación académica.

**Mis amigos**

Por los buenos y malos momentos compartidos.

**Mi asesor**

Por el apoyo y ayuda prestados en la elaboración de este trabajo.

**Personal del Ingenio  
Trinidad y Palo Gordo**

Por los momentos compartidos y por la oportunidad de ser parte de mi aprendizaje, especialmente a aquellas personas cuya lista de nombres me sería extensa. Siempre los llevaré en el corazón.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR .....	1
1.1. Cultivo y cosecha de la caña de azúcar .....	1
1.2. Preparación de la caña de azúcar .....	2
1.2.1. Limpieza de la caña de azúcar .....	2
1.2.2. Picado y desfibrado de la caña de azúcar .....	4
1.3. Molienda de la caña de azúcar .....	5
1.4. Fabricación del azúcar.....	7
1.4.1. Clarificación .....	8
1.4.2. Evaporación.....	11
1.4.3. Cristalización .....	15
1.4.4. Centrifugación.....	17
1.4.5. Secado y enfriado.....	20
2. FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRÍFUGA <i>BATCH</i> .....	21
2.1. Partes fundamentales de una centrífuga <i>batch</i> .....	21
2.1.1. Canasta .....	21
2.1.2. Raspador .....	22
2.1.3. Boquillas para lavado .....	23

2.1.4.	Válvula de fondo.....	23
2.1.5.	Motor eléctrico.....	24
2.1.6.	Freno.....	24
2.1.7.	Carcasa y estructura de soporte .....	25
2.2.	Separación de cristales de azúcar .....	26
2.3.	Recepción de masa en la centrífuga.....	34
2.4.	Lavado del azúcar.....	37
2.5.	Secado del azúcar.....	39
2.6.	Descarga del azúcar .....	39
3.	DISPOSITIVOS USADOS EN EL CONTROL AUTOMATIZADO DE UNA CENTRÍFUGA <i>BATCH</i> .....	41
3.1.	Botoneras y lámparas de señalización.....	41
3.2.	Sensores.....	44
3.3.	Actuadores neumáticos.....	45
3.4.	Válvulas neumáticas .....	47
3.5.	Contactores para motor.....	49
3.6.	Dispositivo para modificación de parámetros.....	50
4.	DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATIZADO DE UNA CENTRÍFUGA <i>BATCH</i> .....	53
4.1.	Alimentación del circuito electrónico .....	53
4.2.	Control de potencia .....	60
4.3.	Modificación de parámetros de operación.....	60
4.4.	Programa a ejecutarse en microcontroladores.....	67
4.4.1.	Listado de entradas y salidas de los microcontroladores.....	67
4.4.2.	Análisis de funcionamiento por fases .....	68
4.4.2.1.	Arranque de centrífuga.....	69



4.4.2.2.	Recepción de masa .....	69
4.4.2.3.	Aceleración de motor .....	69
4.4.2.4.	Lavado de masa .....	70
4.4.2.5.	Secado del azúcar .....	70
4.4.2.6.	Desaceleración de centrífuga .....	70
4.4.2.7.	Descarga del azúcar .....	71
4.4.3.	Algoritmo final .....	71
4.4.4.	Programa en lenguaje de alto nivel .....	72
4.4.5.	Proceso de compilación.....	73
4.4.6.	Grabación del programa en memoria del microcontrolador .....	74
CONCLUSIONES .....		75
RECOMENDACIONES .....		77
BIBLIOGRAFÍA.....		79
APÉNDICES .....		81



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Virador y mesa de caña .....	2
2.	Mesa de caña de lavado en seco.....	3
3.	Mesa de caña de lavado con agua .....	3
4.	Equipos de preparación de la caña de azúcar .....	5
5.	Molino de caña de cuatro mazas .....	6
6.	Molienda de la caña de azúcar .....	7
7.	Clarificación de jugo de caña de azúcar.....	10
8.	Evaporador.....	12
9.	Evaporación del jugo de caña de azúcar .....	13
10.	Clarificación de meladura.....	14
11.	Proceso de cristalización.....	17
12.	Centrífuga continua .....	18
13.	Centrífuga <i>batch</i> .....	19
14.	Secado y enfriado del azúcar.....	20
15.	Partes fundamentales de una centrífuga.....	22
16.	Aceleración y velocidad de una partícula dentro de una centrífuga .....	26
17.	Vista ampliada de un elemento diferencial de masa .....	29
18.	Dimensiones de la torta de masa a centrifugar .....	31
19.	Recepción de masa en una centrífuga <i>batch</i> .....	35
20.	Posición de la tubería de agua respecto de la torta de azúcar.....	37
21.	Posiciones de raspador de azúcar de una centrífuga <i>batch</i> .....	40
22.	Pulsador .....	42
23.	Pulsador de emergencia .....	42

24.	Lámpara de señalización .....	43
25.	Selector.....	43
26.	Sensor para cilindro neumático .....	44
27.	Cilindro neumático .....	45
28.	Actuador neumático para válvula de mariposa .....	46
29.	Vista interna de un actuador neumático para válvula de mariposa.....	47
30.	Electroválvula 5/2 con retorno por muelle.....	48
31.	Válvula estranguladora de aire de escape.....	49
32.	Contactador para motor eléctrico trifásico .....	50
33.	Captura de pantalla de software de modificación de parámetros de una centrífuga <i>batch</i> .....	51
34.	Fuente de voltaje de 24 voltios de corriente directa.....	54
35.	Voltaje suministrado por el transformador TR1.....	54
36.	Voltaje entregado por el puente de diodos .....	55
37.	Voltaje en capacitor C1 de fuente de voltaje.....	56
38.	Software conectado a circuito de control .....	61
39.	Software mostrando parámetros predeterminados .....	62
40.	Escritura de parámetros con software .....	63
41.	Intento de escritura de parámetros no permitidos.....	64
42.	Modificación y escritura de parámetros no permitidos .....	64
43.	Desconexión después de realizar escritura .....	65
44.	Conexión y desconexión con el circuito de control .....	66
45.	Error de conexión entre software y circuito de control .....	66
46.	Diagrama de flujo de circuito de control.....	72
47.	Captura de pantalla del software PIC18 simulator IDE v3.37 .....	73

## TABLAS

I.	Entradas a microcontroladores .....	67
II.	Salidas de microcontroladores .....	68



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>cm</b>	Centímetro
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Pa</b>	Medida de presión en pascales
<b>mm</b>	Milímetros
<b>rad/s</b>	Radianes por segundo
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto





## GLOSARIO

<b>Actuador</b>	Dispositivo neumático que hace un movimiento lineal o rotativo, gobernado por una válvula neumática de direccionamiento, la cual puede ser una electroválvula.
<b>Bagacillo</b>	Bagazo de caña de pequeñas dimensiones.
<b>Bagazo</b>	Nombre que recibe la caña de azúcar después de ser exprimida, siendo el bagazo el combustible para las calderas.
<b>Cabezote</b>	Cilindro hidráulico que se encarga de suministrar la fuerza necesaria para exprimir la caña de azúcar en un molino, cuyos puntos de acción son los extremos de la masa superior del mismo.
<b>Cachaza</b>	Lodo acumulado en el fondo de un clarificador que resulta de la separación de las impurezas contenidas en el jugo de caña de azúcar.
<b>Calandria</b>	Intercambiador de calor usado en evaporadores y tachos, el cual transfiere la energía calorífica del vapor hacia el jugo de caña o a la masa. Está formado por tubos delgados por los cuales pasa el jugo o masa, y alrededor de ellos circula el vapor.

<b>Caldera</b>	Equipo utilizado para la generación de vapor saturado, a partir de la quema del bagazo de caña de azúcar.
<b>Centrífuga <i>batch</i></b>	Máquina empleada para la separación del azúcar y miel A, a partir de la masa A.
<b>Centrífuga continua</b>	Máquina empleada para la separación de azúcar de la miel, en las masas B y C.
<b>Clarificación de jugo</b>	Proceso en el cual al jugo de caña se le agrega dióxido de azufre, cal y floculante, para luego ser calentado al punto de ebullición, logrando la separación de lodos.
<b>Compilar</b>	Traducir una secuencia de instrucciones escrita en lenguaje de alto nivel, a lenguaje máquina, mediante el uso de un programa denominado compilador.
<b>Corriente alterna</b>	Corriente eléctrica que invierte su dirección periódicamente. Un valor común de cambio de dirección suele ser de sesenta veces por segundo.
<b>Desfibradora</b>	Equipo rotativo que consta de varios martillos usados para golpear la caña contra un yunque, con la ayuda de un rodo alimentador, con la finalidad de separar las fibras de caña de azúcar.

<b>EEPROM</b>	Tipo de memoria no volátil que puede ser reprogramada en el circuito final.
<b>Electroválvula</b>	Válvula de neumática de direccionamiento que es controlada por uno o dos solenoides.
<b>Estructura</b>	Conjunto de metales unidos por soldadura, los cuales soportan uno o varios equipos.
<b>Evaporador</b>	Equipo basado en un intercambiador de calor o calandria, el cual es empleado para eliminar parte del agua que se tenga en el jugo, la misma se convierte en vapor vegetal.
<b>Extensión</b>	Letra o conjunto de letras que forman parte del nombre de un archivo de computadora y que se escriben al final del nombre del archivo y después de un punto.
<b>Guarapo</b>	Nombre que se le da al jugo de caña de azúcar.
<b>Ingenio azucarero</b>	Conjunto de equipos utilizados para producir cristales de azúcar a partir de la caña de azúcar.
<b>Jaula</b>	Utensilio diseñado para transportar caña de azúcar, el cual tiene la forma de un paralelepípedo, y está dotado de cadenas o un mecanismo de volteo que facilita la descarga de la caña.

<b>Lenguaje de alto nivel</b>	Lenguaje de programación que se asemeja al lenguaje usado por un ser humano.
<b>Lenguaje máquina</b>	Lenguaje formado por unos y cero el cual es capaz de entender un microcontrolador.
<b>Machete</b>	Elemento metálico de una troceadora, precuchilla o picadora, que golpea la caña para cortarla en trozos pequeños y desmenuzarla ligeramente. Tiene una forma rectangular a la cual se le cubre de soldadura en sus extremos para aumentar su durabilidad.
<b>Martillo</b>	Elemento metálico de una desfibradora que golpea la caña para desmenuzarla. Tiene una forma rectangular a la cual se le cubre de soldadura en sus extremos para aumentar su durabilidad. Es físicamente similar a un machete pero de mayores dimensiones.
<b>Masa</b>	Mezcla de granos de azúcar y miel o de magma y miel, según sea tipo de masa.
<b>Maza</b>	Partes que conforman un molino de caña, cuya forma es de un cilindro dentado fabricado de hierro fundido al cual se le aplica soldadura de revestimiento en los dientes para aumentar la durabilidad de la maza y para aumentar la tracción con la caña.

<b>Melador</b>	Último evaporador de un múltiple efecto, el cual entrega meladura.
<b>Meladura</b>	Jugo de caña proveniente de los evaporadores y que está apto para formar cristales de azúcar.
<b>Melaza</b>	Miel a la cual ya no se le puede extraer azúcar y que puede ser usada para producir alcohol.
<b>Mesa de caña</b>	Estructura de acero en la que la caña es descargada de las jaulas para su limpieza, ya sea en seco o con agua.
<b>Microcontrolador</b>	Circuito integrado programable diseñado para ejecutar acciones previamente programadas en su memoria interna. Las acciones tomadas se reflejan en niveles de voltaje en sus salidas, los cuales pueden depender de los niveles de voltaje en sus entradas.
<b>Molino de caña</b>	Máquina diseñada para la extracción del jugo de caña por compresión de las fibras de la caña de azúcar. Está formado principalmente de cuatro o seis mazas, las cuales son sostenidas por vírgenes.
<b>Motor eléctrico</b>	Máquina eléctrica que entrega energía mecánica rotativa a partir de energía eléctrica. Está formada por una parte fija llamada estator y una parte giratoria llamada rotor.

<b>Nivelador</b>	Rodillo utilizado para regular el flujo de caña en una mesa o conductor de caña.
<b>Operador</b>	Persona encargada de velar por el correcto funcionamiento de un equipo.
<b>pH</b>	Valor numérico que representa la acidez o alcalinidad de una solución.
<b>Picadora</b>	Equipo rotativo dotado con cierta cantidad de machetes que se mueven libremente. La picadora tiene la finalidad de cortar y desmenuzar la caña.
<b>Preevaporador</b>	Evaporador que recibe guarapo clarificado y que lo calienta usando vapor de 138 kPa proveniente del escape de turbinas. El agua obtenida de la condensación es regresada hacia la caldera. También se le llama evaporador de primer efecto.
<b>Torta de azúcar</b>	Azúcar adherida a la canasta de la centrífuga, la cual ya ha sido separada de la mayor cantidad de miel.
<b>Torta de masa</b>	Masa que se ha adherido a la canasta de la centrífuga.
<b>Troceadora</b>	Equipo rotativo que posee cierta cantidad de machetes fijos que golpean la caña para cortarla en trozos pequeños, comparado con el tamaño de la caña entera.

<b>Turbina de vapor</b>	Máquina que proporciona movimiento rotativo a partir de la energía entregada por flujo de vapor de agua a una temperatura y presión especificada.
<b>Vapor de escape</b>	Vapor de agua a una presión de 138 kPa que proviene de turbinas de vapor.
<b>Vapor vegetal</b>	Vapor de agua generado en un evaporador, que en su estado líquido previo se encuentra disuelto en el jugo de caña.
<b>Variador de frecuencia</b>	Equipo utilizado para variar la velocidad de un motor eléctrico por medio de la variación de la frecuencia del voltaje de alimentación del motor.
<b>Velocidad síncrona</b>	Velocidad de rotación del campo magnético que se forma en el estator de un motor eléctrico trifásico por la acción de conectarlo a un conjunto de voltajes trifásicos. Esta velocidad está en función de la frecuencia del voltaje y del número de pares de polos del motor.
<b>Virador</b>	Equipo utilizado para la descarga de la caña de azúcar.
<b>Virgen</b>	Partes de un molino de caña que soportan las mazas en cada extremo.

**Zafra**

Temporada en la que la caña de azúcar es cosechada para la fabricación de azúcar.



## RESUMEN

El papel que desempeña una centrífuga *batch* representa solo una parte del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, por lo cual se presenta en el capítulo primero, una descripción del proceso que se lleva para la fabricación de azúcar.

El proceso realizado en un ingenio azucarero se empieza con la limpieza de la caña y su preparación, la cual es necesaria para una correcta extracción del jugo de caña. De la caña preparada, en el área de extracción se obtiene el guarapo y el bagazo de caña, siendo este último el combustible utilizado para la generación de vapor en el área de calderas.

El guarapo obtenido en el área de extracción es la materia prima para la fabricación del azúcar, la cual como se expone, empieza con la separación de materiales no deseados. La obtención de los granos de azúcar se efectúa mediante la cristalización, el cual es un proceso que implica el uso de varios equipos, tales como tachos, cristalizadores y centrífugas. Siendo el último paso para la fabricación de azúcar blanca, el secado y enfriado.

Los tipos de centrífugas utilizadas son continuas y *batch*, siendo las centrífugas *batch* las que entregan el producto final, y además son más complejas en la operación. En el capítulo segundo se exponen las partes fundamentales que conforman una centrífuga *batch* y se expone el análisis matemático de aceleración que experimenta una partícula de masa al momento de ser centrifugada. También se da una descripción del ciclo de operación de la centrífuga.

Se presentan algunos elementos auxiliares comúnmente utilizados para el correcto funcionamiento del equipo, así como también se presenta el software que se desarrolló en el proyecto.

En el capítulo final se hace alusión al proyecto desarrollado, desde una propuesta de fuente de alimentación, manejo de potencia, así como del circuito diseñado para el control del equipo. Se proporciona una descripción del método para la modificación de parámetros, mediante el uso del software desarrollado. Para mejorar la legibilidad del código fuente del software y de los microcontroladores, este se presenta en el apéndice.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar un control automatizado por microcontrolador para la operación de una centrífuga *batch* de un ingenio azucarero.

## Específicos

1. Describir el proceso de fabricación de azúcar.
2. Exponer la teoría básica del funcionamiento de una centrífuga *batch*.
3. Presentar los dispositivos a utilizar para la automatización de una centrífuga *batch*.
4. Presentar una propuesta de control para la automatización de una centrífuga *batch*.



## INTRODUCCIÓN

La calidad de masa producida, así como el tipo de azúcar que se quiera producir, son factores que determinan la operación de la centrífuga. Siendo el software que se presenta, la herramienta para tal propósito. Para la operación de una centrífuga *batch* se debe de tener un circuito de control que opere de manera correcta. En este tipo de circuitos se puede dar el problema que se tengan partes del circuito averiadas y que no puedan ser sustituidas, debido a que por su antigüedad ya no son fabricadas.

Las cantidades de agua usadas durante el centrifugado para el lavado del azúcar juegan un papel crítico, ya que puede volver ineficiente al proceso de fabricación o disminuir la calidad de azúcar producida, por lo cual se debe tener una operación uniforme en cada centrífuga, de manera que se obtenga un producto de la calidad planeada.

La propuesta presentada en este trabajo proporciona una opción de circuito de control automático para la operación de una centrífuga con la alternativa de modificar parámetros básicos de operación de la máquina, a través de un software de computadora, con lo que se busca obtener un centrifugado uniforme en toda la masa que se desee procesar.

El diseño de circuito de control realizado ofrece la posibilidad de producir diferentes tipos de azúcar, denominados azúcar blanca, cruda y morena, para lo cual basta con elegir el tipo de azúcar requerido, y el equipo realizará la tarea demandada de forma uniforme en cada ciclo de centrifugado.



# **1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR**

La caña de azúcar es una hierba que constituye la principal fuente de azúcar en el mundo; para ello se desarrollan ciertos procesos para recobrar el azúcar de la caña, la cual es conocida en estado puro con el nombre de sacarosa, la cual está formada esencialmente de dos azúcares monosacáridos, fructuosa y glucosa. Los granos de azúcar obtenidos de la caña deben ser aptos, ya sea para el consumo humano o para la fabricación de otros productos alimenticios. En el presente capítulo se incluye el proceso que lleva la caña de azúcar dentro de un ingenio azucarero para la fabricación de cristales de azúcar.

## **1.1. Cultivo y cosecha de la caña de azúcar**

La caña de azúcar es cultivada en climas tropicales. La caña se cultiva sembrando trozos de tallos en tierra para formar un nuevo retoño que pueda crecer y ser cosechado. El tiempo de crecimiento de la caña puede variar en función del clima, agua, así como las prácticas de cultivo. En el caso de Guatemala se tiene un tiempo aproximado de un año para el cultivo de la caña.

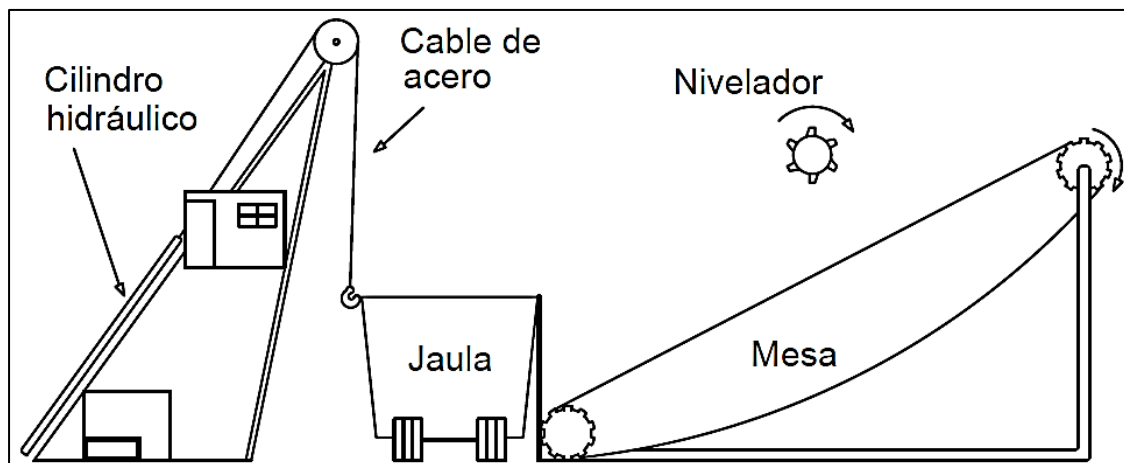
En la cosecha de la caña de azúcar es muy común la práctica de quemar la caña previo a ser cortada. Posterior a la quema de caña se procede a su corte, ya sea manual o con máquinas cosechadoras. Siendo la cosecha manual la más común debido a la disponibilidad de personal para el corte. La cosecha con máquina se realiza con menos frecuencia, ya que se tiene una mayor cantidad de pérdidas de jugo y de fragmentos de caña.

## 1.2. Preparación de la caña de azúcar

La caña transportada hacia el ingenio es pesada a su llegada por medio de una báscula de plataforma. En ella se pesa el vehículo completo con todas sus jaulas, y luego de haber descargado la caña, el vehículo se vuelve a pesar para obtener el peso de la caña entregada.

El equipo utilizado para descargar la caña es denominado virador, el cual es manejado por un operador para descargar la caña en un conductor denominado mesa, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Virador y mesa de caña



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

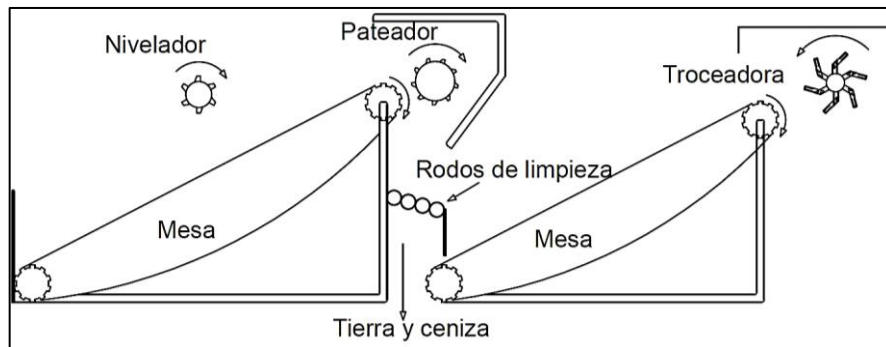
### 1.2.1. Limpieza de la caña de azúcar

La caña se descarga en una mesa transportadora de caña en la cual se realiza la limpieza de la misma para eliminar la mayor cantidad de tierra o ceniza que tenga la caña. La limpieza de la caña se puede hacer mediante



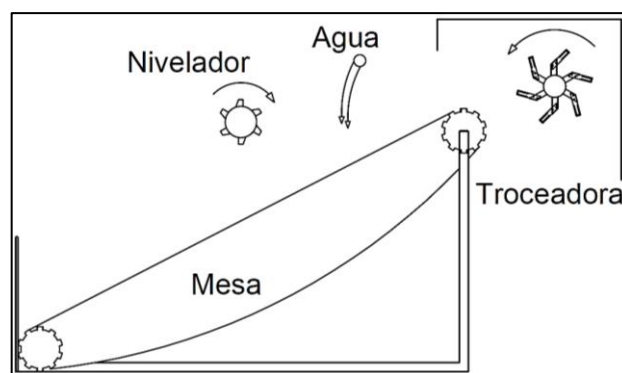
lavado en seco o con agua, (ver las figuras 2 y 3). El lavado en seco consiste en el transporte de la caña que está sobre la mesa hacia un rodillo denominado pateador, el cual se encarga de golpear la caña contra una pared de lámina con el objetivo de que suelte la tierra y cenizas que posee, apartando de esta manera la caña limpia.

Figura 2. **Mesa de caña de lavado en seco**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Figura 3. **Mesa de caña de lavado con agua**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El lavado de caña con agua consiste en dejar caer cierta cantidad de agua, uniforme sobre la caña que está siendo transportada, obteniendo una caña limpia para su preparación.

### **1.2.2. Picado y desfibrado de la caña de azúcar**

Posterior a la limpieza de la caña se procede a su preparación para extraer su jugo. La preparación consiste en cortar la caña en trozos pequeños, para esto se utiliza ya sea una troceadora o una precuchilla, o en algunos casos se usan ambas; la troceadora se muestra en las figuras 2, 3 y 4.

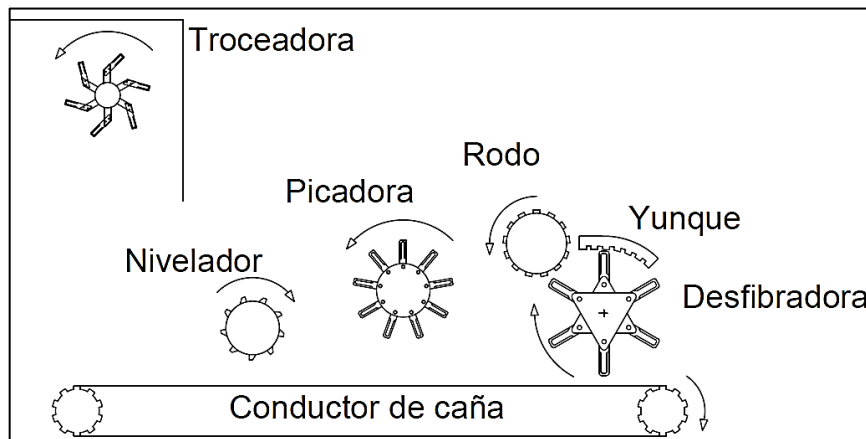
Estos equipos consisten en un eje apoyado sobre cojinetes y ubicado en el paso de la caña; este eje posee cierta cantidad de machetes fijos, los cuales golpean la caña para poder cortarla. Con la troceadora, la caña es golpeada por los machetes en dirección del movimiento del conductor que la transporta; con esto se logra cortar la caña en trozos pequeños.

El siguiente equipo de preparación de caña es la picadora, la cual realiza un trabajo similar a la troceadora; el proceso consiste en cortar la caña en pedazos más pequeños y a su vez desmenuzar la caña de tal manera que se fragmente para facilitar la extracción de jugo de la caña (ver la figura 4).

Como último equipo de preparación de caña se tiene la desfibradora. Como elementos de apoyo la desfibradora trabaja un rodo alimentador y un yunque. El sentido de giro de la desfibradora es contrario al flujo de caña, por ello se hace necesario un rodo alimentador, el cual gira en sentido del flujo de caña, de tal manera que se obliga a la caña a encontrarse con la desfibradora; esta caña es obligada a pasar por un pequeño espacio entre el yunque y los martillos de la desfibradora. Al momento que la caña pasa por el yunque es

golpeada por los martillos de la desfibradora, con lo cual se logra desmenuzar la caña. Con esto se tiene el mayor rompimiento de células portadoras de azúcar en la caña y se tiene la caña de azúcar lista para su extracción.

Figura 4. **Equipos de preparación de la caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

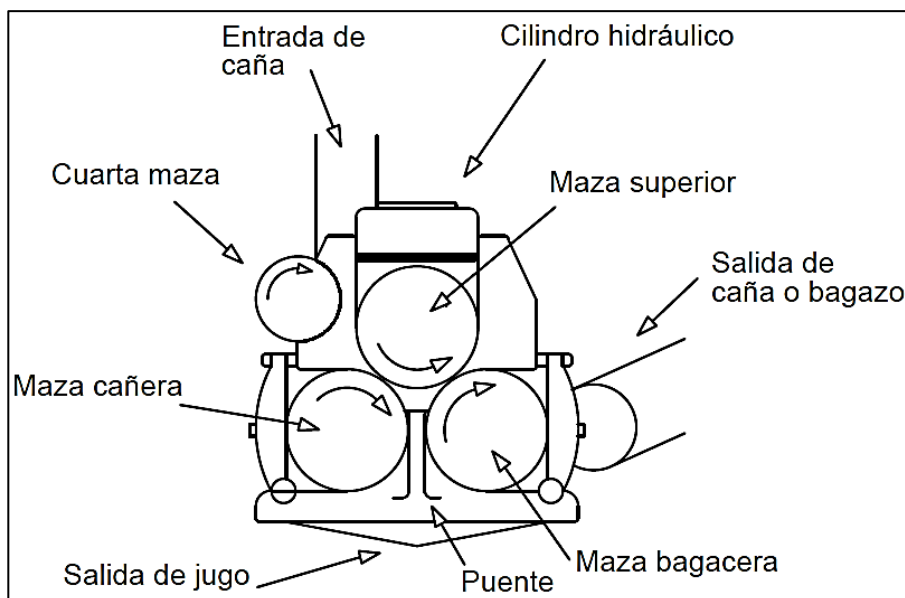
### 1.3. **Molienda de la caña de azúcar**

El propósito de la molienda de la caña de azúcar es extraer el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, que está formada fundamentalmente por fibra vegetal. Para el proceso de extracción de jugo se utilizan comúnmente cinco molinos de cuatro mazas con ranuras, para aumentar el área de compresión y aumentar la fricción.

La extracción del jugo de la caña se da por la acción de las mazas que conforman el molino y raspadores de las mismas, (ver la figura 5).

La caña que es introducida al molino y empujada por la cuarta maza es comprimida por la acción de la maza cañera y la maza superior, las cuales se encuentran rotando de tal manera que la caña tenga un flujo constante; luego la caña pasa a ser comprimida por la maza superior y el raspador de la maza cañera, también denominado puente. Por último la caña se comprime por la maza superior y la maza bagacera.

Figura 5. **Molino de caña de cuatro mazas**

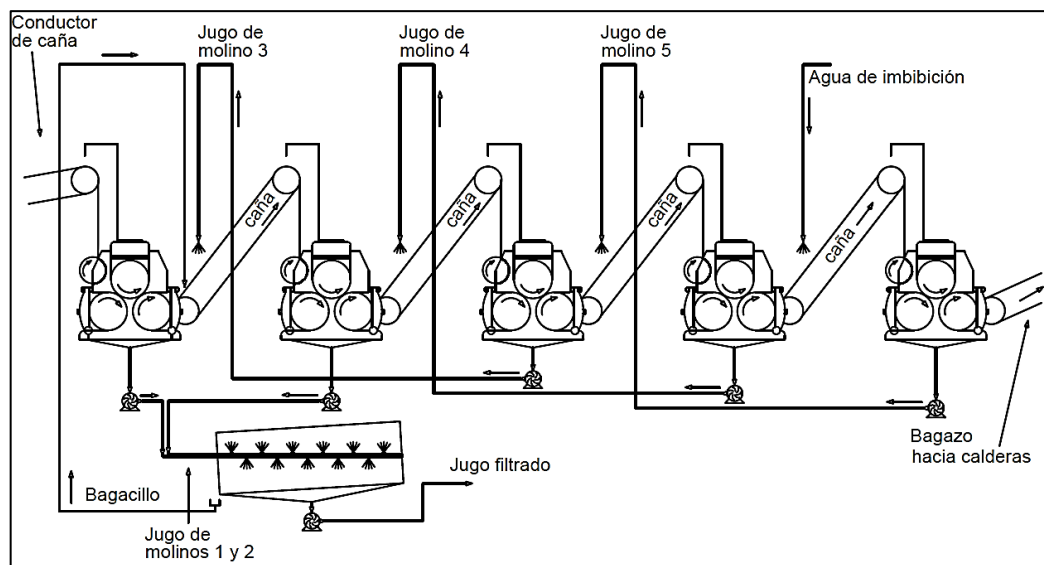


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Se debe mencionar que la separación entre la maza superior y la maza cañera, raspador o puente y maza bagacera, se disminuye en el recorrido de la caña; es decir la abertura del molino por la cual entra la caña es de mayor tamaño que por donde sale, logrando así comprimir la caña para extraer la mayor cantidad de jugo contenida en la caña.

En el proceso de extracción (ver la figura 6), puede observarse que el jugo obtenido es proveniente únicamente del primer y segundo molino. El jugo proveniente de ambos molinos se combina y es bombeado hacia un colador donde se elimina el resto de bagazo que el jugo pueda tener; este bagazo es retornado al proceso de extracción en el segundo molino. Habiendo colado, se tiene un jugo de caña listo para ser enviado a la fábrica para su procesamiento.

Figura 6. **Molienda de la caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

#### 1.4. **Fabricación del azúcar**

El jugo entregado por el departamento de extracción es procesado de manera que se puedan obtener cristales de azúcar para consumo humano o para la fabricación de otros productos.

### 1.4.1. Clarificación

El proceso comienza con la adición de una cantidad controlada de ácido fosfórico para mejorar la clarificación (ver figura 7). Posteriormente, este jugo es bombeado hacia un intercambiador de calor. Habiendo calentado el guarapo es dirigido a la torre de sulfatación en donde se añade dióxido de azufre, con esto se elimina parte de la materia colorante.

Para tener una buena clarificación del jugo se acostumbra mantener un valor de pH entre 7,0 y 7,2. Para lograr este valor de pH el jugo es combinado con una solución de agua y cal, aumentando el pH, del jugo, el cual puede estar en un valor alrededor de 5,0 dependiendo de la cantidad de dióxido de azufre que se haya agregado previamente.

El jugo obtenido con el pH correcto se deposita en un tanque denominado tanque de alcalizado, que es donde se mezcla la solución de agua y cal con el jugo sulfatado, mediante un agitador.

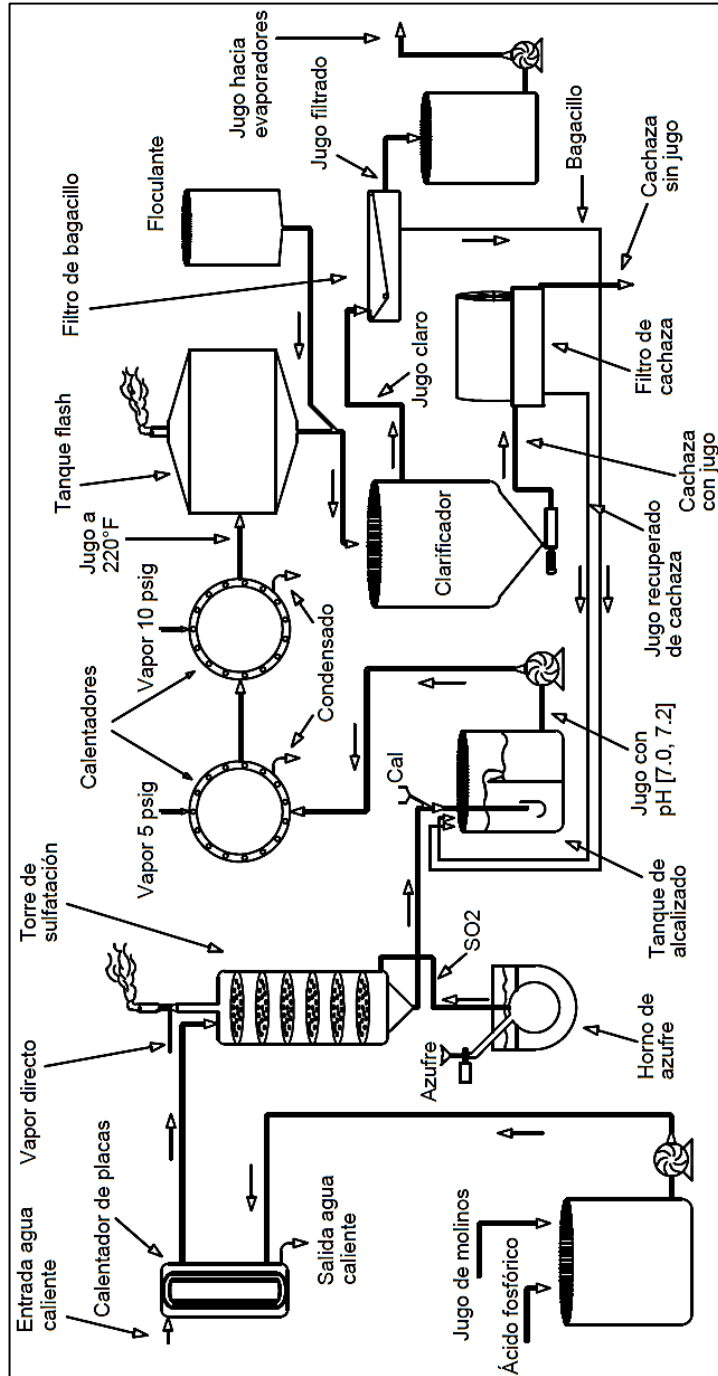
El siguiente proceso que lleva la clarificación del jugo consiste en el calentamiento del mismo hasta una temperatura ligeramente mayor a la de ebullición, normalmente se alcanza una temperatura de 110 °C; para esto se utilizan intercambiadores de calor, comúnmente llamados calentadores; normalmente se utiliza del tipo concha y tubo.

El jugo obtenido de los calentadores es dirigido hacia el tanque *flash*, el cual consiste en un tanque en el cual el jugo pierde turbiedad y presión, adoptando la presión atmosférica; regresa su temperatura al punto de ebullición, libera vapor y aire hacia la atmósfera.

Posteriormente, en el tratamiento del jugo para la clarificación se tiene la separación de lodos y jugo. Para esta separación se dosifica floculante diluido y madurado. El floculante consiste en polvo de alto peso molecular, que necesita ser disuelto en agua limpia y a una temperatura menor a 50 °C; esta solución debe ser preparada dos horas antes de ser aplicada y su agitación deber ser a baja velocidad; esta solución obtenida no debe exceder de ocho horas, entre su preparación y dosificación.

El siguiente elemento en el que la combinación de jugo y floculante es llevada, es el clarificador; es aquí donde las partículas de lodo son decantadas.

Figura 7. Clarificación de jugo de caña de azúcar



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.



Los lodos obtenidos en el clarificador son denominados cachaza. La cachaza es llevada hacia el área de filtros, donde se le aplica otra dosis de floculante y agua. Con estos filtros de cachaza se busca recuperar cierta cantidad de jugo que en el clarificador no se separó de los lodos.

#### **1.4.2. Evaporación**

En el principio de esta etapa se tiene el jugo libre de lodos, pero con cierta cantidad de agua diluida. Para la separación de esta agua el jugo es calentado de tal manera que llegue a su punto de ebullición para evaporar el agua contenida en el jugo. Con esto se logra la concentración del jugo de caña sin llegar a la cristalización.

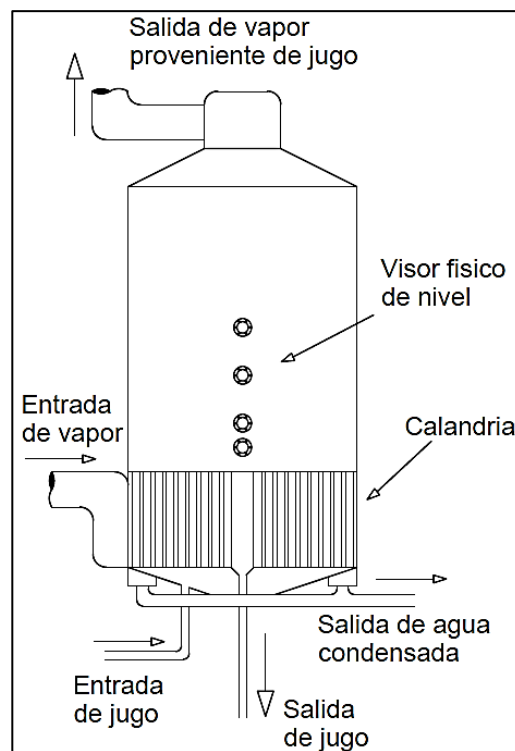
Para lograr la concentración deseada del jugo clarificado se utiliza cierto número de equipos llamados evaporadores. Un evaporador tiene una forma cilíndrica (ver figura 8). En el interior está conformado de un intercambiador de calor, el cual está en la parte baja del evaporador. Este intercambiador de calor, llamado comúnmente calandria, se encarga de calentar el jugo clarificado que se le está bombeando y para ello utiliza el vapor de agua.

El vapor de agua utilizado en las calandrias de los primeros evaporadores, también llamados preevaporadores, es proveniente del escape de turbinas de vapor, que a su vez son alimentadas por vapor de agua generado en el área de calderas (ver apéndice). El vapor recibido en la turbina puede ser de diferentes presiones según la turbina y caldera utilizada, pero la presión del vapor de escape se obtiene alrededor de los 138 kPa.

El jugo se conduce dentro de la calandria del primer evaporador mientras se calienta con el vapor de escape de 138 kPa; este jugo al calentarse evapora

cierta cantidad de agua contenida en el mismo, formando así lo que se llama vapor vegetal de 69 kPa. Luego el jugo que está siendo evacuado del primer evaporador y que ya perdió cierta cantidad de agua, es bombeado hacia la calandria del segundo evaporador para continuar el proceso, con la diferencia que este jugo es calentado con el vapor vegetal que se generó en el evaporador anterior, que para este caso es el vapor generado en el primer evaporador.

Figura 8. **Evaporador**

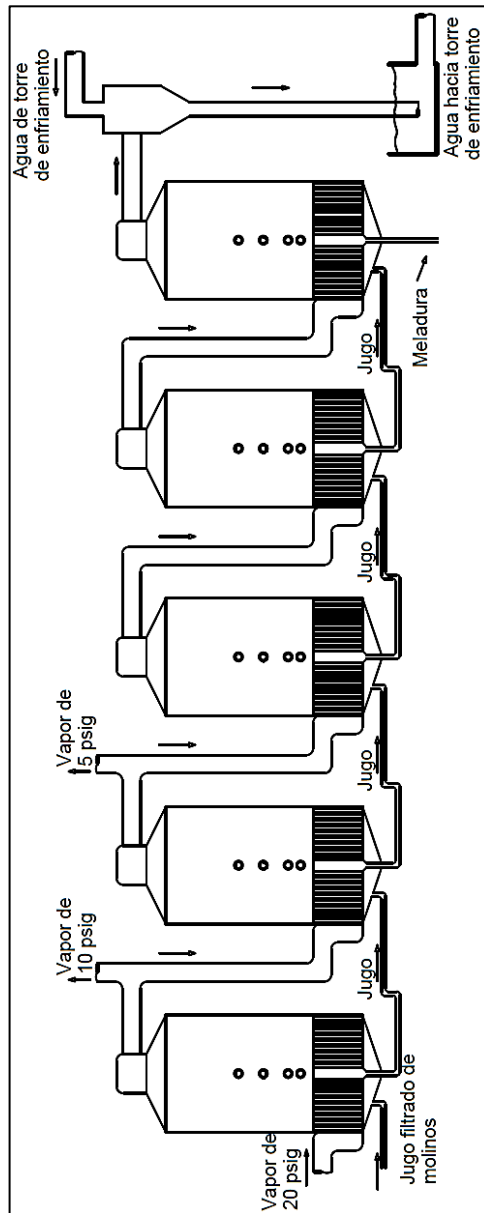


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El proceso de evaporación descrito se repite normalmente cinco veces. Con esto se hace notar que el jugo pasa por cada uno de los evaporadores y que en cada uno de ellos es calentado con vapor vegetal que se ha generado

en el evaporador que le precede, siendo únicamente el primer evaporador alimentado con vapor de escape de turbinas (ver figura 9).

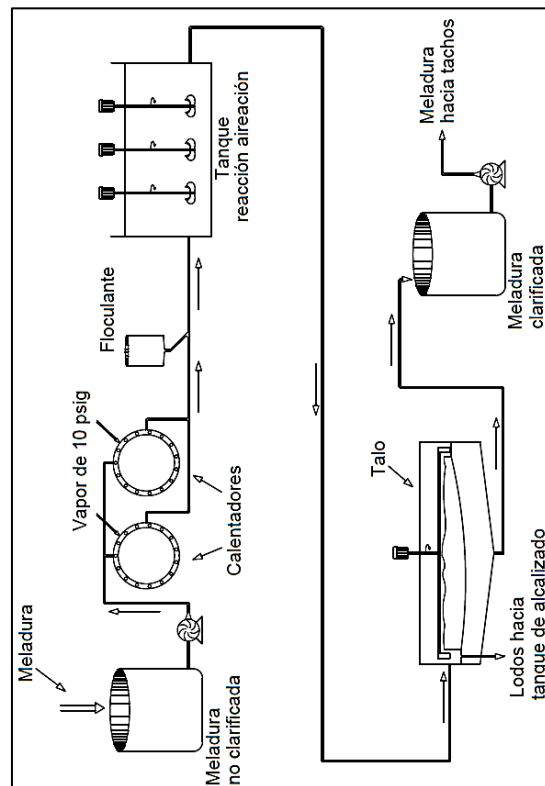
Figura 9. **Evaporación del jugo de caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

La concentración de jugo al salir del último evaporador, llamado melador, debe estar normalmente alrededor de 65 a 68 %. El jugo concentrado proveniente del melador, que se la da el nombre de meladura, es dirigido hacia la siguiente etapa del proceso de fabricación, la cual consiste en la cristalización.

Figura 10. Clarificación de meladura



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El vapor vegetal obtenido de los primeros evaporadores que tiene una presión alrededor de 69 kPa, llamado vapor de primer efecto, se manipula para alimentar los evaporadores siguientes por los cuales se conduce el jugo; este también se dirige a los tachos y calentadores de meladura y de jugo.

Según el azúcar que se esté produciendo, previo a la cristalización, se procede a clarificar la meladura, ya que en la clarificación de jugo no se logra eliminar todos los lodos.

Para esta clarificación (ver figura 10), la meladura se calienta a través de intercambiadores de calor, posteriormente se le aplica floculante y se hace pasar en una cámara donde se le agrega aire, con el objetivo de que el lodo flote en la meladura. Esta meladura es llevada hacia el talo, en donde los lodos son separados de la meladura.

### **1.4.3. Cristalización**

La cristalización consiste en la formación de granos de azúcar a partir de la meladura proveniente del área de evaporación y adición de semilla. Este proceso involucra transferencia de masa y evaporación, el cual se realiza a una presión absoluta alrededor de 44 kPa, con el objetivo de mantener la masa a una temperatura suficientemente baja para evitar la formación de color, y de la degradación de sacarosa se obtienen finalmente los granos de azúcar.

Para la cristalización, adicionalmente a la meladura, se necesita magma o semilla de azúcar, la cual es preparada en el laboratorio. Dentro de este proceso se tienen tachos que entregan tres tipos diferentes de masas. Un tacho puede ser alimentado, ya sea con miel o con meladura y con magma o semilla, según sea la masa que se esté fabricando.

Los tres tipos de masas formadas en los tachos son: masa A, masa B y masa C. En los tachos se utilizan, ya sea meladura y magma o miel y semilla, las cuales se depositan en el interior del tacho para que a través del intercambiador de calor, denominado calandria del tacho, se pueda transferir

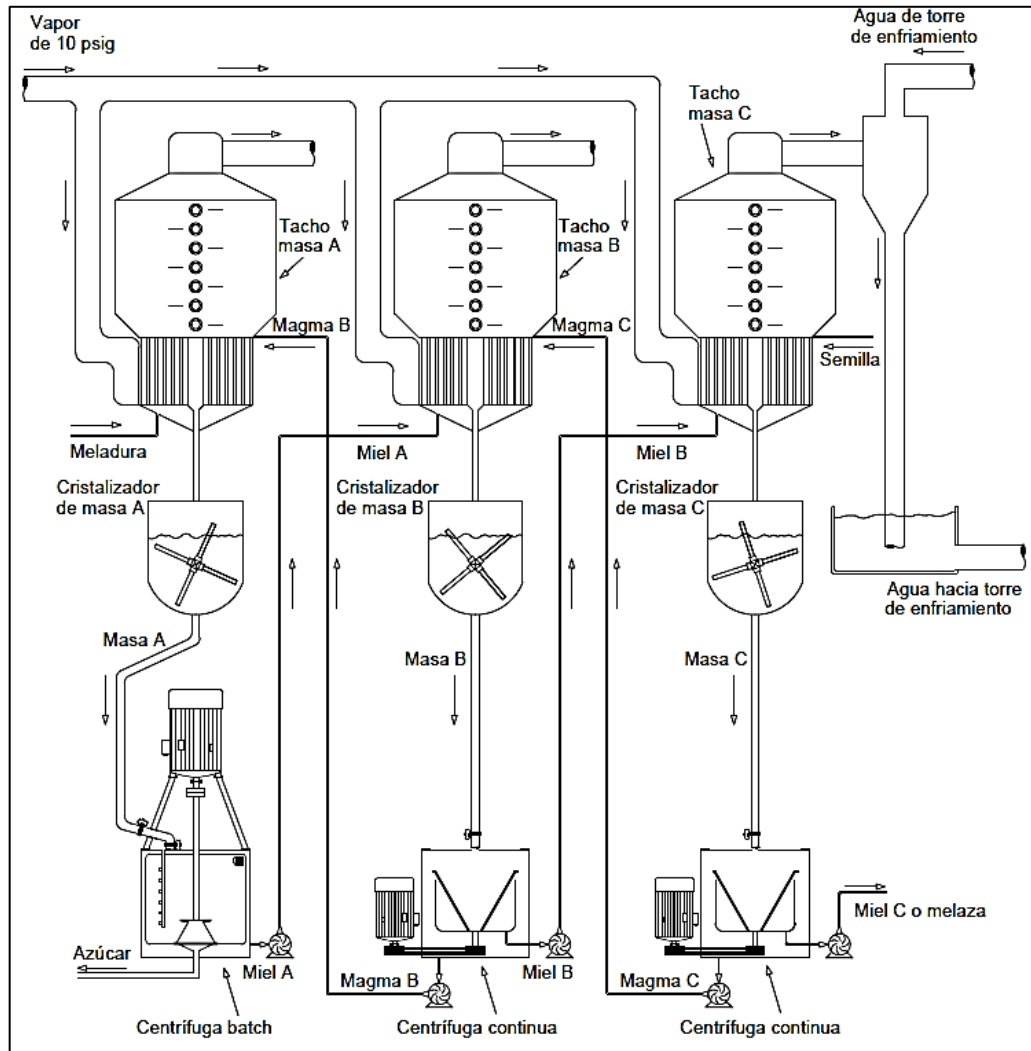
calor y así poder formar los granos de azúcar. La calandria del tacho es calentada a través de vapor vegetal formado en los primeros evaporadores, que normalmente es un vapor de 69 kPa (ver figura 11).

Para la formación de la masa A en los tachos se utiliza magma B y meladura, los cuales son llevados a la calandria del tacho (ver figura 11). La masa formada en los tachos es almacenada en recipientes que se agitan constantemente para evitar endurecimiento de la masa; con este almacenamiento los granos de azúcar formados crecen ligeramente de tamaño y se mantiene en espera del centrifugado. Esta masa está formada por granos de azúcar y por la miel que no se pudo convertir en granos de azúcar, para lo cual se hace necesario el uso de centrífugas *batch*, las cuales a través de fuerza centrífuga se encargan de separar los granos de azúcar y la miel, que por ser una miel proveniente de una masa A, se le llama miel A.

Para la creación de la masa B los tachos son alimentados con miel A y magma C, que forman la masa B, la cual es almacenada y posteriormente centrifugada. La masa B está formada de miel B y magma B, que para la separación de estas, se utilizan centrífugas continuas, las cuales se diferencian de las centrífugas *batch*, en que pueden ser alimentadas con la masa de forma continua y de la misma forma entregan los granos de azúcar o magma. Normalmente el magma obtenido de las centrífugas continuas, ya sea magma B o C, es mezclado con jugo filtrado y luego aplicado al tacho que corresponde, que en el caso del magma B se usa para hacer masa A.

Para la creación de masa C los tachos son alimentados con semilla de azúcar y miel B. Estando formada la masa, de igual forma que las otras masas, se depositan en recibidores, para luego ser centrifugadas y obtener el magma C y la miel final o melaza.

Figura 11. Proceso de cristalización



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

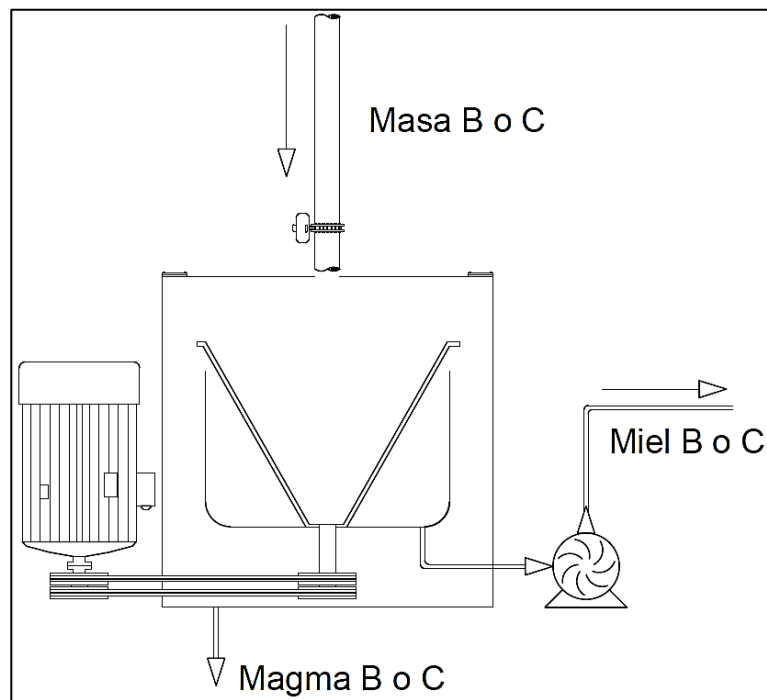
#### 1.4.4. Centrifugación

Como se explicó anteriormente, en los tachos se da lugar a la formación de tres diferentes tipos de masas, que se forman con el objetivo de obtener la mayor cantidad de granos de azúcar a partir de la meladura. Para este proceso

se hace necesario a la separación de los granos de azúcar y la miel. En el caso de las masas C y B, la separación se hace por medio de centrífugas continuas.

Las centrífugas continuas constan de una canasta en forma de cono invertido que gira de forma ininterrumpida y a velocidad constante (ver figura 12). La canasta está contenida dentro de un cilindro cerrado que soporta a la misma y conduce la miel y magma de forma separada. La canasta de la centrífuga está conformada por una malla, en la cual los granos de azúcar quedan atrapados mientras que la miel pasa a través de ella.

Figura 12. **Centrífuga continua**



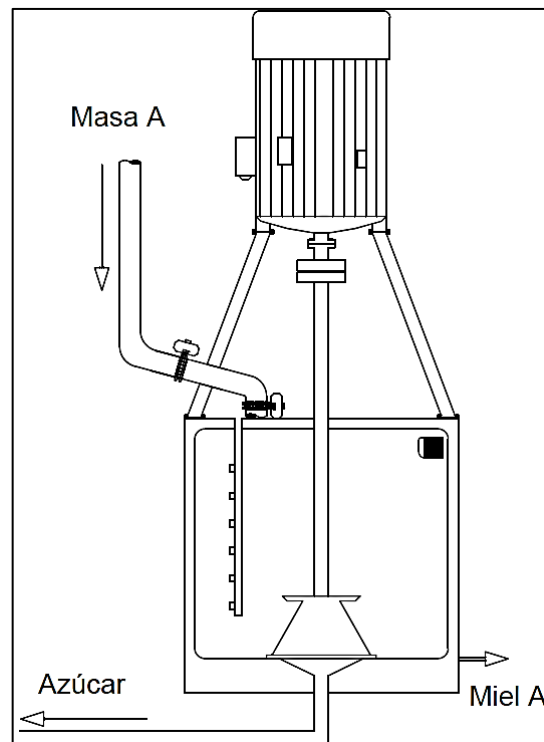
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.



La masa es aplicada de forma continua, cae en la canasta y debido a la fuerza centrífuga generada por la rotación de la misma, la miel es expulsada fuera de la canasta y llevada hacia un tanque recolector, mientras que por la misma fuerza centrífuga los granos de azúcar suben a lo largo de la canasta cónica y al llegar a la parte superior de esta son expulsados fuera de ella.

Como caso único la masa A es procesada en centrífugas *batch*. Este tipo de centrífugas se llenan de cierta cantidad de masa y luego la canasta se hace girar a una velocidad determinada. Al terminar el tiempo de centrifugado, el azúcar obtenida se extrae de la canasta, y el ciclo empieza de nuevo (ver la figura 13).

Figura 13. **Centrífuga *batch***

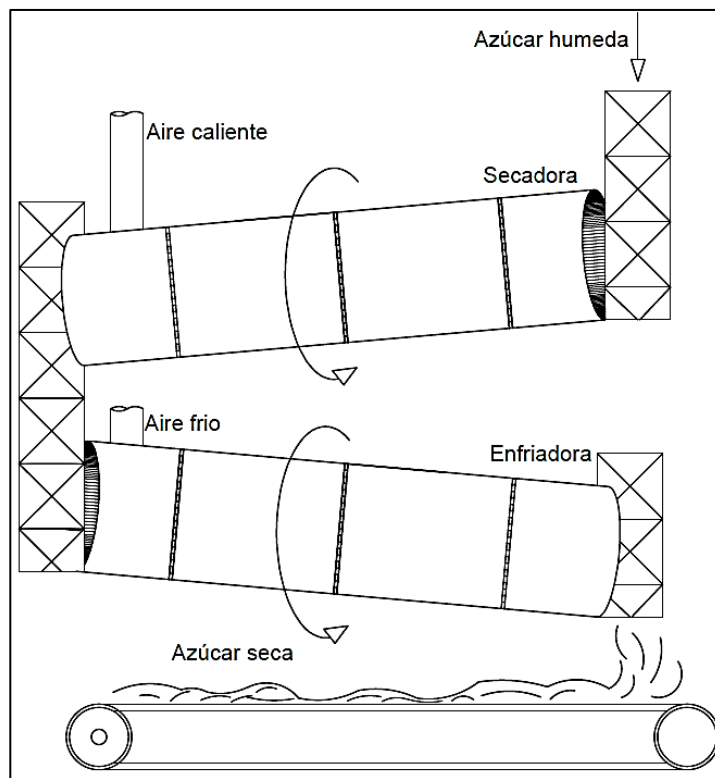


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

### 1.4.5. Secado y enfriado

Luego de haber obtenido el azúcar, se hace necesario secarla. Para ello se le hace pasar a través de un cilindro inclinado que gira continuamente; en el interior de este cilindro se hace circular un flujo constante de aire caliente, de tal manera que el azúcar quede libre de humedad (ver figura 14). Debido a que el azúcar ha tenido contacto con aire caliente, el paso siguiente consiste en enfriarla, para lo cual se hace pasar por un cilindro similar al de secado, con la diferencia de que el aire aplicado es a temperatura ambiente, logrando disminuir la temperatura del azúcar.

Figura 14. Secado y enfriado del azúcar



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

## **2. FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRÍFUGA *BATCH***

En el proceso de separación de cristales de azúcar de la miel, la forma más práctica de realizarse es a través de centrifugado, ya que las densidades de ambos son similares. El tamaño de los cristales puede estar entre 0,1 y 1 mm. Una centrífuga *batch*, también llamada centrífuga discontinua, en la fabricación de azúcar es utilizada para el centrifugado de masa A, que es en la cual se obtienen cristales de azúcar para el consumo humano.

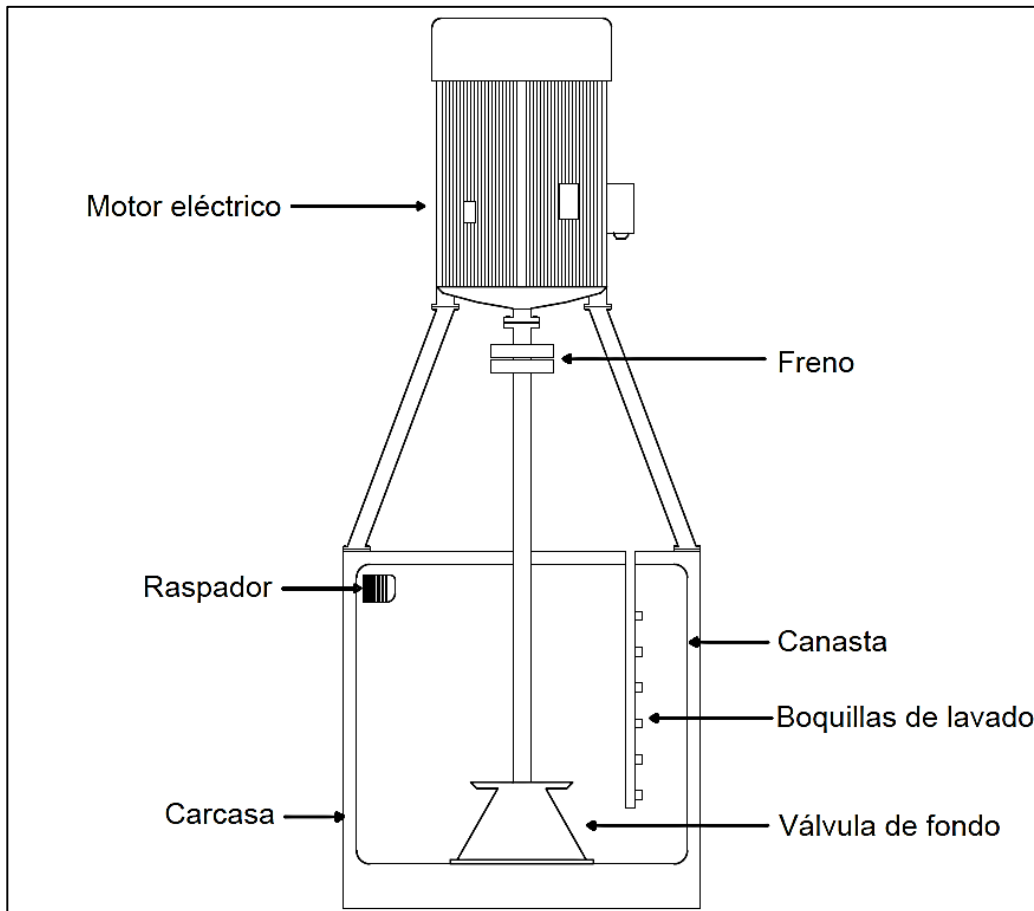
### **2.1. Partes fundamentales de una centrífuga *batch***

Las centrífugas *batch* están construidas con ciertas partes fundamentales que se requieren para centrifugar una determinada cantidad de masa. Estas partes que se describen a continuación, pueden visualizarse en la figura 15.

#### **2.1.1. Canasta**

La canasta de una centrífuga *batch* consiste en un cilindro de 1,2 a 1,8 m de diámetro, abierto por la parte superior y con una abertura en la parte inferior, para la descarga del azúcar. En las paredes del cilindro se tienen agujeros de 3 a 6 mm de diámetro, los cuales permiten que la miel que se encuentra en la masa se pueda recolectar fuera de la canasta, al momento de la centrifugación. Para retener los cristales de azúcar dentro de la canasta se tiene una malla fina que permite que la miel sea drenada y recolectada fuera de la canasta, logrando la separación de miel y azúcar. Estas mallas son de acero inoxidable, latón o cobre y cuentan con perforaciones de alrededor de 0,5 mm de diámetro, estando el área abierta entre un 18 y 25 % del área interna de la canasta.

Figura 15. **Partes fundamentales de una centrífuga**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

### 2.1.2. **Raspador**

Terminado el tiempo de centrifugado de la masa se hace necesario detener la canasta para descargar los cristales de azúcar, para lo cual se utiliza un raspador. El raspador consiste en una pieza larga de acero que tiene una forma ligeramente curvada; esta pieza permanece alejada de la canasta durante el centrifugado y con el fin de despegar todos los cristales de azúcar

que estén adheridos a la canasta, el raspador se acerca hacia la canasta en la parte superior de la misma, cuando el centrifugado está terminado y la velocidad de rotación de la canasta ha disminuido con la aplicación del freno.

Este raspador es desplazado hacia abajo, a lo largo de toda la canasta mientras que esta aún mantiene cierta velocidad de rotación. Al finalizar la descarga de los cristales de azúcar el raspador es alejado de la canasta y desplazado hacia arriba, para que se pueda continuar con otro ciclo de centrifugado.

### **2.1.3. Boquillas para lavado**

Durante el centrifugado de la masa se logra extraer cierta cantidad de miel, pero para propósitos de mantener un color de azúcar deseado, se hace necesario aplicar agua a una temperatura no menor a 70 °C mientras que la canasta se encuentra en movimiento. Para este fin se emplean varias boquillas que atomizan el agua de tal manera que se aplique uniformemente en las paredes de la canasta, logrando con esto limpiar los cristales de azúcar. Estas boquillas también son empleadas para limpieza de la tubería que descarga la masa dentro de la canasta de la centrífuga, para lo cual es usada una boquilla que lava la tubería cuando la descarga de masa ha terminado, evitando la contaminación de azúcar por goteo de masa durante el centrifugado y descarga de la canasta.

### **2.1.4. Válvula de fondo**

Cuando se ha realizado el centrifugado y se tienen los granos de azúcar listos para ser descargados, conjuntamente con el raspador es también accionada la válvula de fondo, la cual consiste en pieza de acero con forma de campana. Esta válvula permanece cerrando la abertura inferior de la canasta

durante el ciclo de centrifugado, exceptuando en la descarga del azúcar que es cuando es levantada para permitir que el azúcar sea evacuada de la canasta. Cuando se ha terminado la descarga del azúcar y unos segundos después que el raspador haya sido retirado de las paredes de la canasta, la campana es nuevamente dejada en su lugar para cerrar la abertura de descarga de la canasta y que se pueda empezar un nuevo ciclo.

### **2.1.5. Motor eléctrico**

Para lograr el movimiento giratorio de la canasta de la centrífuga se tiene un motor eléctrico el cual es montado en la parte superior de la centrífuga; este a su vez es acoplado con el fondo de la canasta mediante un eje. Los motores utilizados en centrífugas *batch*, normalmente son motores de inducción de una velocidad síncrona de 1200 rpm, teniendo una velocidad mecánica de rotación ligeramente menor. En centrífugas modernas es usual encontrar variadores de frecuencia para el control de velocidad de los motores. Antiguamente se acostumbraba utilizar motores de polos conmutables, de tres y seis pares de polos, de tal manera que en una red eléctrica de 60 Hz se obtenían velocidades síncronas de 600 y 1200 rpm, respectivamente.

La potencia de los motores utilizados debe ser acorde al diámetro de la canasta y a la cantidad de masa que se va a centrifugar, teniendo en cuenta que el motor debe ser capaz de alcanzar su velocidad máxima de operación en tiempos cortos, con el objetivo de lograr lapsos cortos de centrifugado.

### **2.1.6. Freno**

Cuando el tiempo de centrifugado se ha terminado, se hace necesario desacelerar la canasta para realizar la descarga del azúcar. Debido a la inercia

de rotación que posee el conjunto giratorio del rotor del motor, canasta y cristales de azúcar, se tomaría demasiado tiempo para lograr que este conjunto se detuviera. Por ello se hace necesario el uso de un freno mecánico, el cual consiste en cilindros montados sobre el eje que conecta la canasta con el motor. Estos cilindros están rodeados por fricciones que al momento de activarse el freno, dichas fricciones abrazan los cilindros logrando disminuir la velocidad de giro.

Para el caso de que se esté usando un motor controlado por variador de frecuencia, la desaceleración de la canasta se realiza disminuyendo la frecuencia del voltaje que alimenta el motor eléctrico, con lo cual se logra disminuir la velocidad mecánica de giro de la canasta hasta llevarla a la velocidad de descarga, utilizando únicamente el freno mecánico cuando se quiere detener la centrífuga completamente. En el caso que se tenga un motor de polos conmutables, la desaceleración se realiza conectando el motor en velocidad baja y cuando esta velocidad haya sido alcanzada, el motor eléctrico es desconectado de la red eléctrica; luego es accionado el freno mecánico hasta obtener la velocidad de descarga del azúcar, que puede estar entre 50 y 100 rpm, dependiendo de la centrífuga.

### **2.1.7. Carcasa y estructura de soporte**

La canasta en la que se realiza el centrifugado está rodeada de una cubierta metálica denominada carcasa, que es en la cual se recolecta la miel extraída de la masa que se está centrifugando, para luego ser llevada hacia los tachos correspondientes.

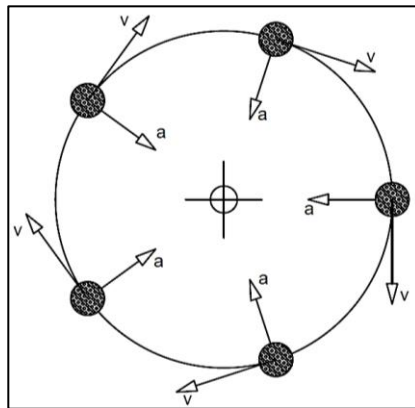
Es natural que toda la estructura de soporte de la centrífuga esté sometida a vibraciones, por lo cual se requiere una estructura que debe de ser más

robusta de lo que se requeriría si solo se soportara el peso de la centrífuga. La estructura debe protegerse adecuadamente contra la corrosión, ya que es un área sometida a humedad y ocasionalmente a contacto con azúcar.

## 2.2. Separación de cristales de azúcar

El objetivo de la utilización de una centrífuga *batch* es la separación de los cristales de azúcar y la miel, contenidos en la masa A. Esto se logra aumentando la aceleración que experimenta cada partícula que conforma la masa, para lo cual la masa tiene que tener un movimiento giratorio, como se muestra la figura 16.

Figura 16. **Aceleración y velocidad de una partícula dentro de una centrífuga**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

La aceleración que experimenta una partícula en movimiento circular uniforme, tal como puede verse en la figura 16, es de dirección variable y de magnitud constante en toda la trayectoria de la circunferencia, tal magnitud de aceleración  $a$  está dada por:



$$a = \frac{v^2}{r}$$

Donde  $v$  es la velocidad tangencial de la partícula que se muestra en la figura 16 y  $r$  es el radio de circunferencia que dibuja la trayectoria de la partícula.

Teniendo en cuenta que durante el tiempo de operación en la canasta de una centrífuga *batch*, se tiene un movimiento circular uniforme en las partículas de miel y azúcar, las cuales experimentan una aceleración; esto implica que una fuerza centrífuga está actuando tanto en los cristales de azúcar como en la miel.

De acuerdo con la Segunda Ley de Newton, la magnitud de esa fuerza que experimenta una partícula de masa es:

$$F = ma$$

Donde  $F$  es la magnitud de la fuerza,  $m$  es la masa de cada partícula y  $a$  es la aceleración. Para el caso se una partícula de masa  $A$ , se tiene una fuerza de:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

Para una centrífuga *batch*, usualmente se tiene un valor de velocidad angular dado en revoluciones por minuto, y no un valor de velocidad tangencial de las partículas. Para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$v = r\omega$$

Con esta igualdad se obtiene la fuerza expresada de la siguiente manera:

$$F = \frac{m(r\omega)^2}{r}$$

Lo cual se convierte en:

$$F = mr\omega^2$$

En donde se puede observar que la aceleración experimentada por una partícula tiene la magnitud  $r\omega^2$ . Donde  $r$  es la distancia entre el centro del eje de la canasta de la centrífuga y la partícula analizada.

Para encontrar la aceleración que experimenta la torta de masa depositada en el interior de la canasta, es necesario calcular la magnitud de la fuerza que actúa en todas las partículas que conforman la masa.

Para calcular la fuerza ejercida sobre la masa se utiliza un elemento diferencial de densidad  $\rho$  y volumen  $dV$  que tiene una altura  $h$  y un área de sección transversal rectangular de dimensiones  $ds$  y  $dr$ . Este elemento se muestra en la figura 17.

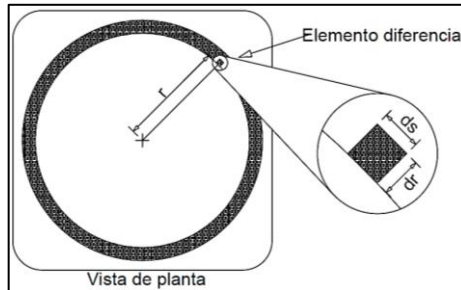
La masa de este elemento diferencial está dada por:

$$dm = \rho dV$$

Donde  $dV$  está dado por:

$$dV = h(ds)(dr)$$

Figura 17. Vista ampliada de un elemento diferencial de masa



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Como se analizó previamente, la fuerza en una partícula en movimiento circular uniforme y aplicando la ecuación obtenida al elemento diferencial que se analiza, se obtiene:

$$dF = (dm)r\omega^2$$

Se sustituye  $dm$  y se tiene:

$$dF = (\rho dV)r\omega^2$$

De igual forma se sustituye  $dV$ :

$$dF = \rho h(ds)(dr)r\omega^2$$

Como se puede ver en la figura 17,  $ds$  es la medida del arco de circunferencia que mide el elemento diferencial analizado. Por lo tanto, se sabe que la longitud de un arco de circunferencia está dado por:

$$s = r\theta$$

Donde  $\theta$  es el ángulo que mide el arco de radio  $r$ , por lo cual se obtiene:

$$ds = r d\theta$$

Sustituyendo en la ecuación que define la fuerza en el elemento diferencial se obtiene:

$$dF = \rho h (r d\theta) (dr) r \omega^2$$

Ordenando y agrupando términos se tiene:

$$dF = \rho h \omega^2 r^2 dr d\theta$$

Lo cual es la fuerza que actúa en el elemento diferencial analizado. Para calcular la fuerza se hace necesario sumar todos los elementos diferenciales que conforman la torta de masa formada en la canasta de la centrífuga, es decir integrar desde el radio interno de la torta  $r_i$ , hasta el radio externo  $r_o$  de la torta, tal como se muestra en la figura 18.

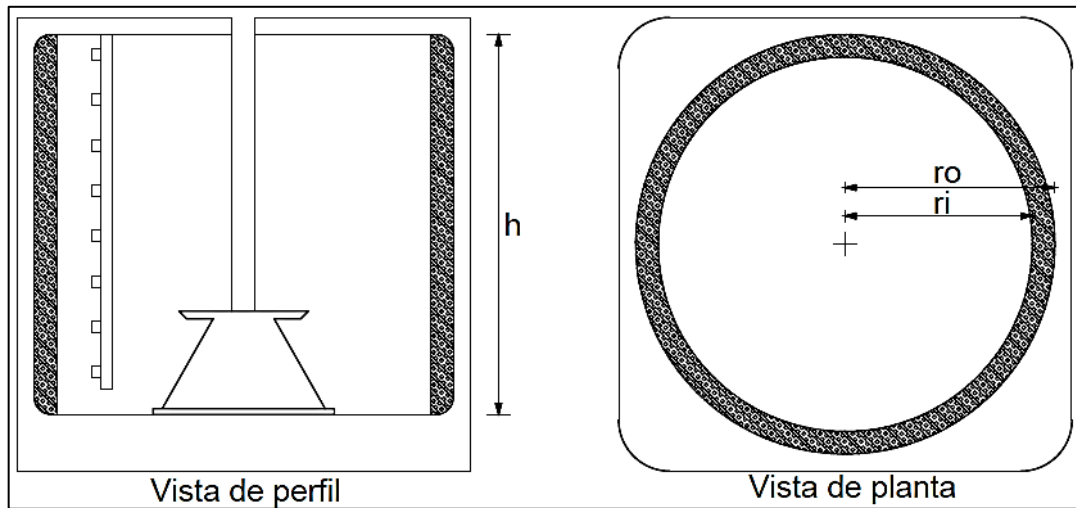
Tomando en cuenta toda la circunferencia, es decir integrando desde 0 hasta  $2\pi$  radianes, se tiene:

$$F = \rho h \omega^2 \int_0^{2\pi} \int_{r_i}^{r_o} r^2 dr d\theta$$

Se opera la primera integral:

$$F = \rho h \omega^2 \int_0^{2\pi} \left( \frac{r^3}{3} \right)_{r_i}^{r_o} d\theta$$

Figura 18. Dimensiones de la torta de masa a centrifugar



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Evaluando y ordenando

$$F = \frac{\rho h \omega^2}{3} (r_o^3 - r_i^3) \int_0^{2\pi} d\theta$$

Operando la última integral

$$F = \frac{\rho h \omega^2}{3} (r_o^3 - r_i^3) (\theta) \Big|_0^{2\pi}$$

Evaluando y ordenando

$$F = \frac{2}{3} \pi \rho h \omega^2 (r_o^3 - r_i^3)$$

Que es la magnitud de la fuerza que actúa sobre la torta. Sabiendo que la torta tiene una masa de:

$$m = \rho\pi(r_o^2 - r_i^2)h$$

Teniendo en cuenta la ecuación de la fuerza que actúa sobre una partícula en movimiento circular uniforme, la cual se calculó anteriormente:

$$F = m\omega^2 r_{ef}$$

Donde  $r_{ef}$  es el radio eficiente de la torta de masa, se obtiene:

$$F = \rho\pi(r_o^2 - r_i^2)h\omega^2 r_{ef}$$

Igualando ambas ecuaciones de la fuerza que actúa sobre la torta:

$$F = F$$

$$\frac{2}{3}\pi\rho h\omega^2(r_o^3 - r_i^3) = \rho\pi(r_o^2 - r_i^2)h\omega^2 r_{ef}$$

Eliminando términos iguales

$$\frac{2}{3}(r_o^3 - r_i^3) = (r_o^2 - r_i^2)r_{ef}$$

Se tiene que el radio eficiente es:

$$r_{ef} = \frac{2(r_o^3 - r_i^3)}{3(r_o^2 - r_i^2)}$$

Con lo anterior se sabe que si la fuerza sobre la torta es:

$$F = m\omega^2 r_{ef}$$

Comparado con la segunda ley de Newton, se concluye que la aceleración que experimenta la torta de masa es:

$$a = \frac{2}{3}\omega^2 \frac{(r_o^3 - r_i^3)}{(r_o^2 - r_i^2)}$$

Esta aceleración usualmente se representa en relación con la aceleración de la gravedad, para lo cual se usa el factor  $G$ , el cual representa la razón de la aceleración centrífuga respecto de la aceleración debida a la gravedad de la tierra.

Lo cual quedaría expresado de la siguiente manera:

$$G = \frac{2\omega^2(r_o^3 - r_i^3)}{3g(r_o^2 - r_i^2)}$$

Donde  $G$  es el número de veces que se excede la aceleración gravitacional, el cual es un número adimensional,  $\omega$  es la velocidad de giro de la canasta, expresada en  $rad/s$ ,  $r_o$  y  $r_i$  es el radio exterior e interior de la torta, respectivamente, y  $g$  es la aceleración de la gravedad terrestre expresada en  $m/s^2$ .

Valores típicos de la fuerza  $G$  para una centrífuga *batch* pueden estar alrededor de 850 o en algunos casos hasta alcanzar valores alrededor de los 1 300, dependiendo del diseño de la centrífuga.

Como se puede observar en la expresión matemática que se ha obtenido, el valor de la  $G$  está en función de la velocidad de giro del conjunto de canasta y motor eléctrico, la cual es normalmente de 1 200 rpm como máximo, así como también de las dimensiones de la canasta de la centrífuga, las cuales determinan la cantidad de masa que se puede centrifugar en cada ciclo.

### **2.3. Recepción de masa en la centrífuga**

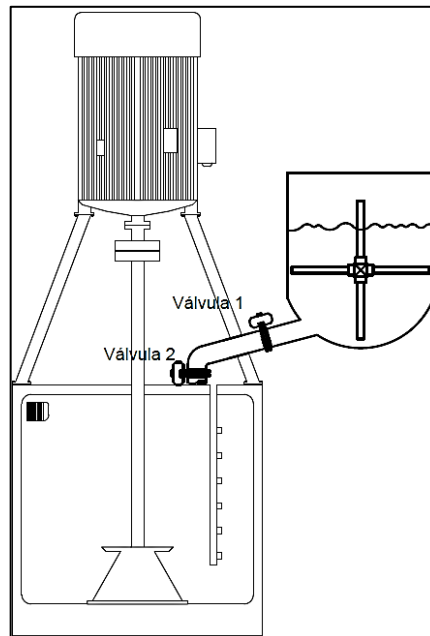
La masa proveniente de los tachos es almacenada en recipientes llamados recibidores, en los cuales la masa es agitada constantemente mientras espera a ser centrifugada. Es necesario agitar la masa constantemente, mientras permanece en los recibidores, para evitar que se endurezca y no pueda después ser centrifugada. En el fondo de estos recibidores se cuenta con una corta tubería que dirige la masa hacia la parte interna de la canasta de la centrífuga que es donde se carga la canasta con la masa que se va a procesar.

En función del tamaño de la canasta de la centrífuga y de la potencia mecánica que el motor eléctrico pueda entregar, se determina la cantidad de masa que puede ser centrifugada en cada ciclo. Para el control de la masa que se deposita en la canasta, normalmente son utilizadas dos válvulas de mariposa o en su defecto solamente una. Estas válvulas suelen ser accionadas a través de un actuador neumático, ya sea para la apertura o cierre de la misma.

En la figura 19 puede verse el recibidor de masa y las válvulas usadas para descargar la masa dentro de la canasta de la centrífuga, siendo la válvula principal la que se encuentra cercana al recibidor. La utilización de dos válvulas para depositar la masa dentro de la canasta se debe a que de esta forma se evita el goteo de masa cuando la válvula principal se ha cerrado.



Figura 19. **Recepción de masa en una centrífuga *batch***



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El ciclo de centrifugado empieza teniendo la canasta en reposo y con la válvula de fondo cerrada. Para principiar, el motor eléctrico es energizado y la canasta comienza a rotar, mientras la canasta se encuentra acelerando se aplica la cantidad de agua que se requiera, a través de las boquillas de lavado, para eliminar residuos de azúcar o finas partículas de bagazo que puedan estar bloqueando la malla de la canasta y que vayan a evitar que la miel sea drenada durante la centrifugación.

El agua aplicada debe estar a una temperatura no menor de 70 °C y a una presión entre 552 y 690 kPa; esta agua es bombeada hacia el área de centrífugas, la cual proviene de la condensación de vapor vegetal utilizado en los tachos, evaporadores o calentadores de jugo.

El lavado de la canasta, previo a alimentar con masa la centrífuga, puede ser omitido en algunos casos, o realizarse después de un número predeterminado de ciclos de centrifugación. El realizar o no el lavado de la canasta depende de la calidad de azúcar que se esté produciendo, como por ejemplo se puede mencionar el azúcar crudo, la cual no es para consumo humano, y que por lo tanto no se lleva un estricto control del color de la misma.

Habiendo terminado de lavar la canasta de la centrífuga y con el motor eléctrico en aceleración se procede a abrir las válvulas de alimentación de masa. La centrífuga debe alimentarse formando una capa uniforme de masa en las paredes de la canasta de tal manera que la miel pueda ser drenada correctamente y que se tenga un lavado de masa uniforme.

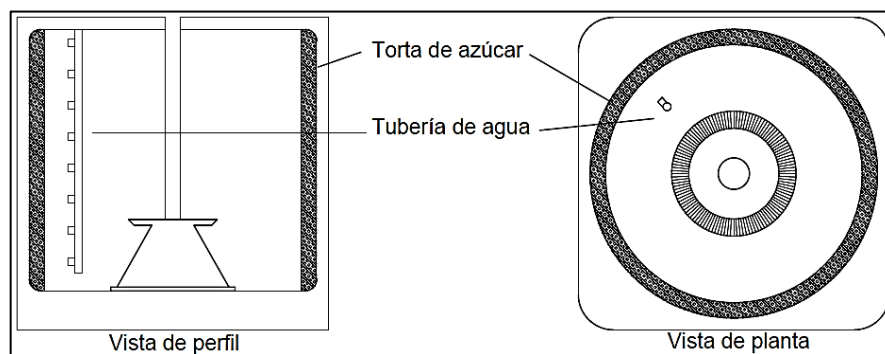
En el instante en el que se empieza la alimentación de masa a la centrífuga se debe tener una correcta velocidad de rotación de la canasta. Si la velocidad es muy alta, la miel se drena muy rápido y la masa no se distribuye uniformemente; en el caso que la velocidad sea muy lenta, la masa no se adherirá a las paredes de la canasta sino que se aglomerará en el fondo de esta. Comúnmente la velocidad de rotación de la canasta al momento de comenzar la alimentación de masa suele estar entre 150 y 240 rpm o incluso hasta 250 rpm.

Otro factor que interfiere en el desempeño de las centrífugas *batch*, es la cantidad de masa depositada en el interior de la canasta, ya que se debe cuidar que no sobrepase la capacidad de esta o que la masa entregada sea muy poca, ya que en ambos casos el proceso de centrifugación no se realizará correctamente debido que la masa no se distribuirá correctamente en las paredes de la canasta.

## 2.4. Lavado del azúcar

El lavado del azúcar es una parte importante del proceso de centrifugado de una masa, ya que es donde se determina la calidad de azúcar que se va a obtener sin que se tenga una disolución excesiva de cristales de azúcar. Las boquillas para lavado deben ajustarse de tal manera que permitan la formación de la torta de azúcar y que el agua se distribuya uniformemente. Esto se representa en la figura 20.

Figura 20. Posición de la tubería de agua respecto de la torta de azúcar



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El agua de lavado puede ser aplicada en más de una ocasión. La primera lavada suele ser durante la aceleración de la centrífuga, siendo una buena práctica aplicarla en el momento que el exceso de miel se ha removido de la torta de azúcar, ya que el espacio entre cristales se encuentra aún relleno con miel; esto implica que la primera lavada debe realizarse antes que la centrífuga haya alcanzado la velocidad máxima. Contrariamente, si el agua se aplica mientras que ya existen espacios vacíos entre cristales, el agua recorrerá estos espacios, ya que ofrecen una menor resistencia al paso del agua, y se obtendrán cristales de azúcar lavados excesivamente y algunos otros sin lavar.

El número de lavados normalmente suele ser de dos, realizándose el segundo lavado ya sea cuando el motor aún está acelerando y está muy próximo a alcanzar su velocidad máxima o cuando ya la ha alcanzado.

La cantidad total de agua utilizada en el lavado está en función de la pureza del azúcar que se demande, para lo cual se suele agregar de 1 a 3 kg de agua por cada 100 kg de masa. Como es de esperarse, el agua agregada durante el lavado disuelve cierta cantidad de azúcar, por lo cual se debe tener en cuenta que 1 kg de agua a 75 °C puede disolver 3,54 kg de azúcar, lo cual implica que dependiendo de la cantidad de agua que se aplica, se pueden disolver de 3,54 kg a 10,62 kg de azúcar por cada 100 kg de masa, por lo tanto por cada 100 kg de cristales de azúcar se estarían disolviendo de 7 a 21 kg aproximadamente a causa del lavado.

Como otra opción, para el lavado de azúcar puede utilizarse el vapor vegetal de primer o segundo efecto. Utilizar vapor vegetal en el lavado permitiría que el azúcar se pueda secar con mayor facilidad cuando sea extraída de la centrifuga, debido a la temperatura del vapor aplicado; también se ha propuesto que el vapor se condensaría sobre toda la superficie de los cristales de azúcar, logrando lavarlos en lugares donde el agua no puede entrar en contacto con los mismos. Otra ventaja es que la cantidad de agua utilizada se reduciría, con lo cual se tendría menor cantidad de cristales de azúcar disueltos a causa del lavado.

Como se ha mencionado, es inevitable que el agua de lavado disuelva una parte del azúcar que se está centrifugando. El líquido obtenido del azúcar que se disuelve en el lavado tiene una mayor pureza que las mieles que se obtienen antes de que se aplique agua a la torta de azúcar, es decir miel A. Por lo tanto, el último líquido obtenido del lavado del azúcar es separado en algunas

ocasiones para ser retornado hacia los tachos de masa A juntamente con la meladura clarificada, en lugar de pasar a ser parte de la miel A, la cual tiene una pureza menor que el azúcar que se ha disuelto con agua.

El procedimiento de clasificación de mieles puede reducir el consumo de vapor, así como ayudar a reducir los perfiles de pureza de los cocimientos en el área de tachos. El beneficio de realizar la clasificación de mieles es pequeño, por lo cual algunas veces no se realiza.

## **2.5. Secado del azúcar**

El tiempo durante el cual una centrífuga opera a máxima velocidad y sin aplicar agua se le denomina tiempo de secado. La velocidad que una centrífuga alcanza durante el tiempo de secado es usualmente de 1 200 rpm, ya sea que se utilice un motor de dos velocidades o uno de tres pares de polos, controlado por variador de frecuencia.

El tiempo en que la centrífuga tarda secando el azúcar, es decir girando a máxima velocidad, puede estar entre 5 y 40 segundos. Es importante tener en cuenta que el tiempo de secado está en función de la calidad de cristales de azúcar que se estén recibiendo, el tiempo que tarde la aceleración, así como también del tipo de azúcar requerido.

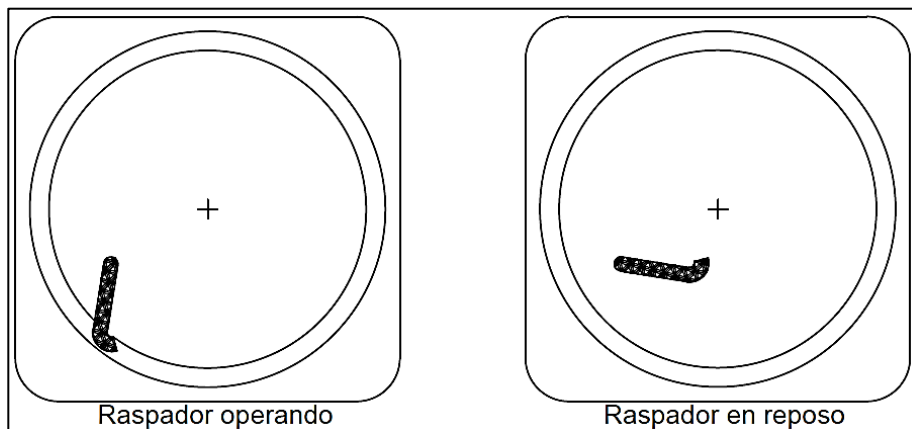
## **2.6. Descarga del azúcar**

En esta operación se debe tener mucho cuidado, ya que de realizarse incorrectamente, puede dejar muchos cristales de azúcar pegados en la canasta, los cuales se estarían desperdiciando y convirtiendo en mieles cuando se realice el lavado de la canasta, con esto se estaría reduciendo el rendimiento de la centrífuga.

Para la descarga del azúcar se suele mantener girando la canasta de la centrífuga a una velocidad entre 50 y 100 rpm, con la válvula de fondo abierta y teniendo el raspador pegado a la pared de la canasta, tal como se muestra en la figura 21. Teniendo el raspador en esa posición se hace deslizar por todo lo alto de la canasta desde arriba hacia abajo. Es importante mencionar que en el momento que el raspador se desliza por las paredes de la canasta, no se encuentra completamente pegado a ella, sino que se tiene un pequeño espacio que evita que el mismo toque la malla y la rompa. Al terminar la descarga de azúcar el raspador es devuelto a su posición de reposo.

Es importante mencionar que el raspador no debe tener contacto con la canasta, ya que podría romper la malla. Para evitar esto se deja un pequeño espacio entre la malla y el raspador, de tal manera que se evite el contacto físico pero que a su vez no deje un exceso de azúcar pegado en la malla.

Figura 21. **Posiciones de raspador de azúcar de una centrífuga *batch***



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

### **3. DISPOSITIVOS USADOS EN EL CONTROL AUTOMATIZADO DE UNA CENTRÍFUGA *BATCH***

Para realizar la tarea de automatizar una centrífuga *batch*, se hace necesario emplear dispositivos adicionales. Tales dispositivos son necesarios para el manejo de la masa que se va a centrifugar y para el azúcar que se obtiene. Adicional a esto, también se utilizan dispositivos que influirán en la operación de la centrífuga, con los cuales el operador podrá tener el control de la máquina en cualquier momento.

#### **3.1. Botoneras y lámparas de señalización**

Para el control de una centrífuga se hace necesario utilizar pulsadores para que el operador pueda dar órdenes de funcionamiento al equipo controlado. Las órdenes que un operador da al equipo pueden ser de arranque, paro de emergencia e inicializar. Los tipos de pulsador utilizados pueden variar de forma física dependiendo de la marca que se utilicen, siendo únicamente importante que a través de ellos el equipo electrónico pueda recibir instrucciones (ver figura 22). Según el fabricante que se elija, las botoneras pueden incluir luz piloto, de tal manera que se dé una indicación visual cuando un pulsador sea presionado.

La figura 23 muestra un pulsador de emergencia, el cual es usado para detener la operación de la máquina de forma inmediata. Este tipo de pulsador posee un mecanismo de bloqueo que lo hace quedar enclavado al momento de accionarlo. Para continuar con la operación del equipo, se hace necesario girar el pulsador de emergencia para liberar el mecanismo de bloqueo.

Figura 22. **Pulsador**



Fuente: Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/8220133?tree=CatalogTree>. Consulta: mayo de 2015.

Figura 23. **Pulsador de emergencia**



Fuente: Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/3SB3000-1HA20>. Consulta: mayo de 2015.

La figura 24 muestra una lámpara de señalización; esta puede ser de diferentes colores de acuerdo con la necesidad que se tenga.



La figura 25 muestra un selector, el cual puede usarse ya sea para elegir el modo de operación como también para apagar y encender el equipo.

Figura 24. **Lámpara de señalización**



Fuente: Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/3SU1001-6AA60-0AA0>. Consulta: mayo de 2015.

Figura 25. **Selector**



Fuente: Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/3SU1002-2BP60-0AA0>. Consulta: mayo de 2015.

### 3.2. Sensores

Debido a que se necesitan varios movimientos mecánicos en la automatización de una centrífuga, en la mayoría de ellos es conveniente que el equipo de control pueda recibir información acerca de la posición de los actuadores.

En el caso de cilindros neumáticos se utilizan sensores que detectan la posición del cilindro (ya sea en reposo o extendida), los cuales pueden ser montados directamente en el cuerpo del cilindro (ver figura 26).

Estos sensores son usados normalmente a un voltaje de 24 VDC, y pueden ser de dos o tres hilos, según se requiera.

Figura 26. **Sensor para cilindro neumático**



Fuente: Festo. [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/12836/PSI\\_306\\_5\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/12836/PSI_306_5_es.pdf).

Consulta: mayo de 2015.

### 3.3. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son utilizados en la automatización de centrífugas *batch*, para tener movimientos tanto lineales como rotativos. Para el movimiento del raspador y de la válvula de fondo se hace necesario usar actuadores lineales, también llamados cilindros neumáticos, como el que se muestra en la figura 27.

Los cilindros neumáticos usados suelen ser de doble efecto, esto significa que el cilindro posee dos entradas de aire. Al alimentar con aire la entrada opuesta al vástago del cilindro y liberar el otro orificio se logra extenderlo, es decir sacar el vástago; al alimentar de aire el orificio cercano al vástago y liberando el otro, el cilindro se contrae. Es posible, aunque no muy común, usar cilindros de simple efecto, los cuales solo poseen la entrada de aire en el lado opuesto al vástago, es decir para extenderlo; el retorno se realiza liberando el único orificio, y el resorte interno se encarga de regresar el vástago a la posición de reposo.

Figura 27. **Cilindro neumático**



Fuente: Festo. [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17218/Standardantriebe\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17218/Standardantriebe_es.pdf). Consulta: mayo de 2015.

Para controlar el flujo de masa se acostumbra utilizar válvulas de mariposa. Este tipo de válvulas requieren movimientos giratorios de un cuarto de vuelta, ya sea para abrir o cerrar la válvula. En casos muy especiales se utilizan también válvulas de cuchilla, en las cuales se emplearía un cilindro neumático para su apertura o cierre.

Los actuadores para válvulas de mariposa proporcionan el movimiento giratorio necesario y son fabricados para ser montados en la parte superior de la válvula. Este tipo de actuador, rotativo se muestra en la figura 28.

Figura 28. **Actuador neumático para válvula de mariposa**

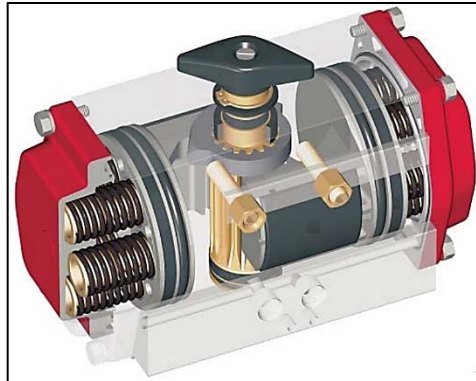


Fuente: Bray. <https://www.bray.com/actuators/pneumatic-actuators/series-92-93>.

Consulta: mayo de 2015.

Al igual que los cilindros neumáticos, los actuadores para válvulas de mariposa pueden ser de doble efecto o de simple efecto. Algunos fabricantes de actuadores proporcionan un diseño de actuador que es configurable por el usuario para tener, un actuador ya sea de doble o simple efecto, lo cual se logra retirando o colocando los resortes del actuador. Una vista interna de un actuador de simple efecto se muestra en la figura 29, el cual es posible convertir en un actuador de doble efecto con solo retirar los resortes.

Figura 29. **Vista interna de un actuador neumático para válvula de mariposa**



Fuente: Valvtronic. [http://www.valvtronic.com/pdf/VX\\_Pneumatic\\_Bray\\_92.pdf](http://www.valvtronic.com/pdf/VX_Pneumatic_Bray_92.pdf).

Consulta: mayo de 2015.

### 3.4. Válvulas neumáticas

Para lograr el accionamiento de un actuador neumático, se hace necesario tener una electroválvula neumática que controle el movimiento de los actuadores. Tales válvulas se encargan de direccionar el aire utilizado, que normalmente suele tener una presión alrededor de los 655 kPa. Si el actuador es de doble o simple efecto, se utilizan electroválvulas 5/2 o 3/2, con retorno por muelle. Estas válvulas son accionadas con un voltaje de corriente directa, y mediante un solenoide se logra conmutar la válvula neumática; para retornarla a la posición de reposo basta con dejar de alimentar eléctricamente al solenoide, con lo cual el muelle se encargará de regresar la válvula a su posición de reposo.

En la figura 30 se puede ver un modelo físico de una electroválvula 5/2 con retorno por muelle.

Figura 30. **Electroválvula 5/2 con retorno por muelle**



Fuente: Google. <http://dmvalve.com/index.php/posts/manufacture/bray-x-industrial-municipal/series-63>. Consulta: mayo de 2015.

Como accesorios adicionales a las electroválvulas se suelen utilizar válvulas estranguladoras de aire de escape (ver figura 31). Estas válvulas son usadas con el objetivo de controlar manualmente el tiempo de avance o retorno de un actuador neumático; son montadas directamente en los escapes de la electroválvula utilizada. En una centrífuga *batch* se utiliza el cilindro que hace descender el rapador por toda la canasta. Esto se hace con el objetivo de que toda el área de la canasta sea raspada, evitando así que se queden cristales de azúcar en la malla, al terminar la descarga.

Figura 31. **Válvula estranguladora de aire de escape**



Fuente: Festo. [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_021002](https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_021002). Consulta: mayo de 2015.

### **3.5. Contactores para motor**

Para el control de arranque y paro del motor eléctrico que posee una centrífuga *batch*, se hace necesario utilizar contactores, los cuales se encargan de arrancar o detener el motor (ver figura 32). Para el caso de un motor de polos conmutables se suelen utilizar tres arrancadores, un solo contactor para la velocidad baja y dos de ellos para la velocidad alta.

El uso de contactores para el arranque del motor eléctrico que conforma la centrífuga puede ser reemplazado por el uso arrancadores suaves o variadores de frecuencia, con lo cuales se logra obtener un manejo más eficiente de la energía eléctrica utilizada.

Figura 32. **Contactador para motor eléctrico trifásico**



Fuente: Schneider. <http://www.schneider-electric.com/products/us/en/50400-contactors-and-starters/50420-nema-contactors-and-starters/1450-type-s-contactors>. Consulta: mayo de 2015.

En algunos casos se emplean arrancadores suaves, los cuales son activados durante algunos milisegundos en el momento en que la centrífuga está descargando los cristales de azúcar, lo cual se hace para permitir que la velocidad de descarga se mantenga en un valor establecido.

### **3.6. Dispositivo para modificación de parámetros**

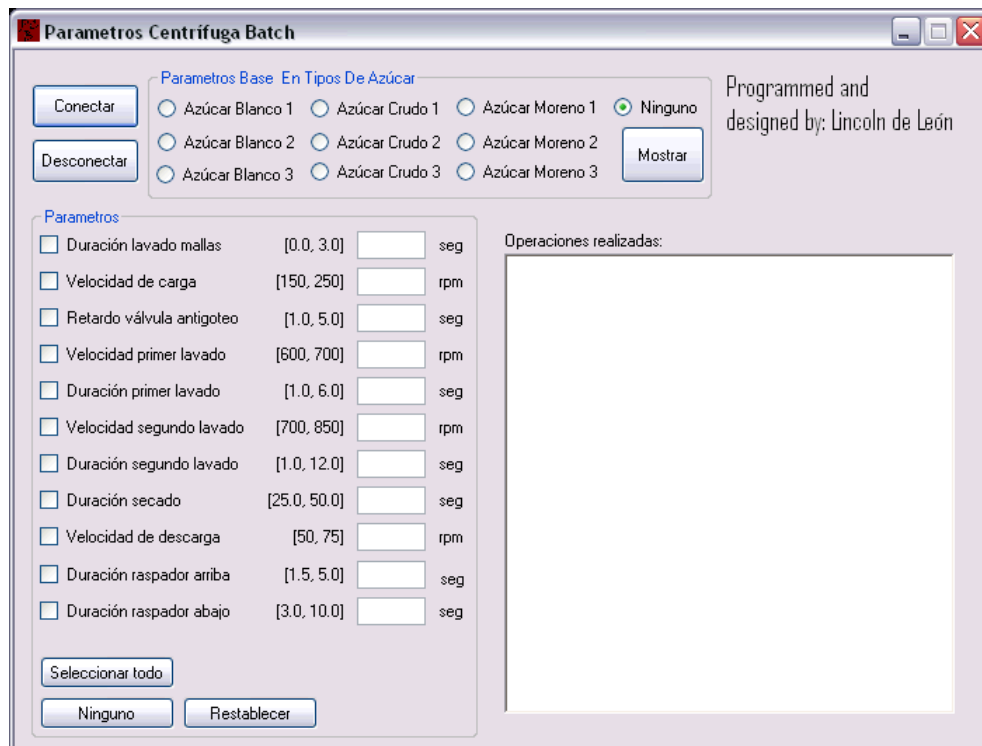
Debido a que las condiciones de trabajo de una centrífuga *batch* no son siempre las mismas, ya sea por el tipo de azúcar que se esté produciendo o por la calidad de la masa a centrifugar, se hace necesario tener acceso a modificar algunos parámetros de operación de la máquina, tales como velocidad de carga, tiempo de lavados, tiempo de secado, velocidad de giro de la canasta cuando se realicen los lavados, velocidad de carga, velocidad de descarga, entre otros.

La modificación de los parámetros mencionados que están en función del tipo de azúcar que se esté produciendo o de la calidad de la masa que se esté recibiendo, son modificados con base en análisis de laboratorio en el producto final, es decir, los cristales de azúcar.



Para la modificación de parámetros, se ha empleado una computadora que posea el sistema operativo Microsoft Windows XP. El software se ha desarrollado en visual Basic 2008. Este software es capaz de comunicarse con el circuito electrónico diseñado, a través de un puerto USB de la computadora. Una captura de pantalla del software desarrollado se muestra en la figura 33.

Figura 33. **Captura de pantalla de software de modificación de parámetros de una centrífuga *batch***



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Para habilitar y deshabilitar la comunicación entre el circuito de control y el software se tienen dos botones con el nombre conectar y desconectar, respectivamente. Estos botones están ubicados en la parte superior izquierda de la ventana, como se ve en la figura 33.

En la parte superior también se puede ver tres clases de azúcar, a su vez de cada clase se ven tres tipos, los cuales representan valores predeterminados de parámetros de operación, y se toman como una referencia de parámetros comunes utilizados.

En el lado izquierdo de la ventana se muestra el listado de parámetros que se pueden modificar, es posible elegir todos los parámetros o solo los que se deseen cambiar, para lo cual el valor a cambiar debe estar entre el intervalo que se indica y en las unidades de medida correctas.

En el lado derecho se muestran las operaciones realizadas, ya sea de conexión y desconexión entre el software y el circuito de control, así como los valores que se han escrito en la memoria interna del circuito de control.

En la parte inferior se pueden ver los botones de operación, que facilitan el manejo del software. Se hace notar que los botones correspondientes a operaciones de lectura y escritura son visibles hasta que se haya establecido la conexión entre el software y el circuito de control.

## **4. DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATIZADO DE UNA CENTRÍFUGA *BATCH***

Como dispositivo principal se presenta el empleo del microcontrolador PIC18F4550, para el diseño del circuito de control que toma el control de los actuadores que manipulan la centrífuga, siendo el desempeño del equipo establecido previamente según el tipo de azúcar producido. Para la toma de decisiones por parte del microcontrolador se recibe información digital o analógica, según sea la variable medida. Todas las salidas obtenidas son digitales y puede maniobrar corriente continua o alterna, ya sea que el elemento controlado sea un actuador o un contactor.

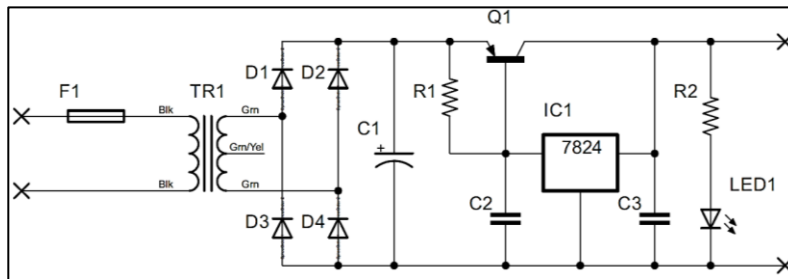
### **4.1. Alimentación del circuito electrónico**

En el ambiente de trabajo de una centrífuga *batch*, es muy común encontrar tensiones alternas de 480 o 240 voltios, por lo cual para energizar el circuito electrónico diseñado se hace necesario emplear transformadores de voltaje, de tal manera que se pueda obtener una tensión de 24 voltios de corriente alterna para luego obtener corriente directa con una tensión de 5 y 24 voltios, que son empleados para energizar el circuito de control y para alimentación de sensores, respectivamente. Para activar actuadores es posible utilizar otros niveles de voltaje de DC o incluso AC, según se requiera en el lugar de trabajo.

Además del transformador de voltaje se hace necesario emplear un rectificador tipo puente y un filtro que elimine los rizados de voltaje, de manera que se provea la tensión y corriente necesaria a un regulador de voltaje de 24

voltios que funciona en conjunto con un transistor de paso externo. El diagrama de esta fuente de voltaje se muestra en la figura 34.

Figura 34. **Fuente de voltaje de 24 voltios de corriente directa**

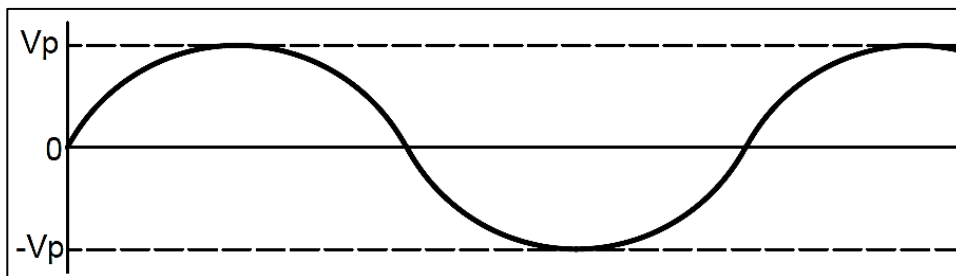


Fuente: elaboración propia, con programa Eagle 7.2.0 Light Edition.

Para la construcción de esta fuente de voltaje se debe tener en cuenta la potencia que se va a suministrar, la cual depende del tipo de voltaje con que las electroválvulas deben ser activadas, ya sea corriente directa o alterna.

El voltaje suministrado por el transformador TR1 debe ser de 24 voltios, tal como se muestra en la figura 35.

Figura 35. **Voltaje suministrado por el transformador TR1**



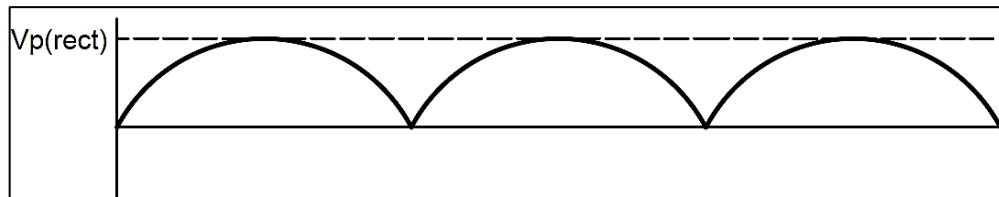
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Donde  $V_p$  es el voltaje pico el cual está dado por:

$$V_p = \sqrt{2}V_{rms}$$

Posterior al transformador se encuentran el puente de diodos rectificadores, los cuales entregan un voltaje como el mostrado en la figura 36.

Figura 36. **Voltaje entregado por el puente de diodos**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Donde  $V_{p(rect)}$  es el voltaje pico entregado por el puente de diodos, el cual está dado por:

$$V_{p(rect)} = \sqrt{2}V_{rms} - 1,4 V$$

El valor de  $1,4 V$  se debe a la caída de tensión que provocan ambos diodos que se encuentran polarizados directamente en cualquier instante.

Luego el capacitor C1 de la fuente se encarga de evitar que el voltaje oscile entre cero y el valor pico y lo haga solo entre ciertos valores predeterminados. Con lo cual se busca suministrar un voltaje que no sea menor al necesario para que funcione el regulador IC1, el cual se expresa como  $V_{in}$ , y está dado por:

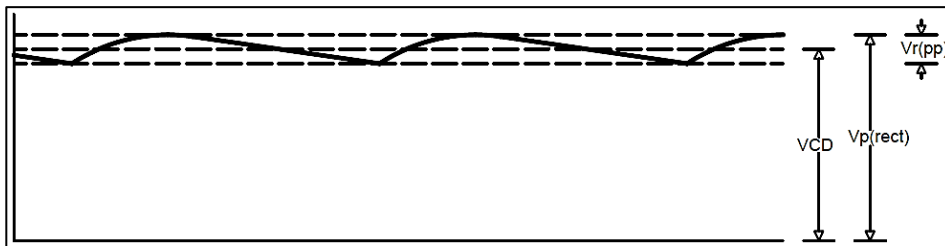
$$V_{in} \geq V_{out} + \Delta V + 0,7 V$$

Donde el valor de 0,7 voltios es el voltaje necesario para encender Q1 y  $\Delta V$  es la diferencia de voltaje entre la entrada y salida del regulador.

El valor de  $\Delta V$  es un dato proporcionado por el fabricante del regulador de voltaje, el cual depende de la corriente que este demandando el regulador.

Teniendo el capacitor C1 y un determinado consumo de corriente, la forma de onda del voltaje en el capacitor es como se muestra en la figura 37.

Figura 37. **Voltaje en capacitor C1 de fuente de voltaje**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Donde  $V_{CD}$  es el voltaje en corriente directa de la forma de onda,  $V_{p(rect)}$  es el voltaje pico suministrado por el puente rectificador y  $V_{r(pp)}$  es voltaje de rizo pico a pico, teniendo aproximadamente un valor de:

$$V_{r(pp)} \cong \frac{V_{p(rect)}}{f R_L C}$$

En la figura 34 se puede ver que el voltaje  $V_{in}$  del arreglo del regulador IC1, transistor Q1 y resistencia R1 debe ser como mínimo:

$$V_{in} = V_{p(rect)} - V_{r(pp)}$$

Sustituyendo este valor de  $V_{in}$  en la inecuación, que se obtuvo, se obtiene:

$$V_{p(rect)} - V_{r(pp)} \geq V_{out} + \Delta V + 0,7 V$$

Sustituyendo el valor de  $V_{r(pp)}$  en la inecuación anterior, se obtiene:

$$V_{p(rect)} - \frac{V_{p(rect)}}{fR_L C} \geq V_{out} + \Delta V + 0,7 V$$

Operando para obtener el valor de C se tiene:

$$V_{p(rect)} - V_{out} - \Delta V - 0,7 V \geq \frac{V_{p(rect)}}{fR_L C}$$

$$C \geq \frac{V_{p(rect)}}{fR_L(V_{p(rect)} - V_{out} - \Delta V - 0,7 V)}$$

Siendo  $R_L$  la carga alimentada con la fuente de voltaje, se puede sustituir por su valor correspondiente de voltaje y corriente máxima de consumo:

$$R_L = \frac{V_{out}}{I_{max}}$$

Si se toma el valor de  $V_{out}$  máximo dado por el fabricante como:

$$V_{out} = 1,05V_{Reg}$$

Donde  $V_{Reg}$  es el voltaje nominal del regulador.

Si además se sustituye el valor de  $V_{p(rect)}$  y el de  $V_{out}$  se obtiene la inecuación de la siguiente forma:

$$C \geq \frac{I_{max}(\sqrt{2}V_{rms} - 1,4 V)}{1,05V_{Reg}f(\sqrt{2}V_{rms} - 1,4 V - 1,05V_{Reg} - \Delta V - 0,7 V)}$$

Con la última inecuación obtenida, el valor del capacitor C1 de la fuente de voltaje puede ser calculado para obtener un valor dado en faradios. Para completar este valor de capacitancia se suelen usar varios capacitores conectados en paralelo. Además se hace notar que estos capacitores deben ser adecuados para la diferencia de potencial que se va a aplicar entre sus terminales.

El transistor Q1 de la figura 34 es llamado transistor de paso externo, el cual debe activarse cuando se sobrepase la corriente máxima de entrada al regulador de voltaje. Con ello se logra que la fuente de voltaje diseñada sea capaz de entregar una corriente mayor a la que es capaz de entregar el regulador de voltaje IC1 de la figura 34; esto se logra eligiendo un valor de resistencia R1 que provoque una caída de potencial de 0,7 voltios cuando en la terminal de entrada del regulador IC1 esté entrando una corriente máxima predeterminada.

Siendo  $I_{OR}$  la corriente máxima en la terminal de salida del regulador IC1 cuyo voltaje es  $V_{out}$ , se tiene un correspondiente voltaje de entrada  $V_{IR}$  con una corriente de entrada  $I_{IR}$  que debe ser igual a:



$$I_{IR} = \frac{V_{out}I_{OR}}{V_{IR}}$$

Donde  $V_{IR}$  se estima como la tensión mínima de entrada al regulador de voltaje IC1. Haciendo la sustitución correspondiente, la ecuación anterior queda expresada de la siguiente forma:

$$I_{IR} = \frac{V_{out}I_{OR}}{V_{out} + \Delta V}$$

Donde  $\Delta V$  es la diferencia de voltaje mínima entre la entrada y salida del regulador IC1.

Con lo anterior es posible calcular el valor necesario de R1, siendo de la siguiente forma:

$$R_1 = \frac{0,7 V}{I_{IR}}$$

Sustituyendo  $I_{IR}$  se obtiene:

$$R_1 = \frac{0,7 V (V_{out} + \Delta V)}{V_{out}I_{OR}}$$

Este es un valor dado en ohms y está en función de la magnitud de la corriente máxima que se quiera demandar del regulador de voltaje IC1. De esta manera el transistor Q1 suplirá la demanda adicional de corriente que el regulador ya no pueda suministrar, por lo cual se debe elegir el transistor adecuado.

Los valores de capacitancia para C2 y C3 suelen ser provistos por el fabricante del regulador de voltaje, normalmente suelen ser de 0.33  $\mu$ F y 0.1  $\mu$ F, respectivamente.

La fuente de voltaje presentada puede ser sustituida por otra de cualquier fabricante, teniendo el cuidado de proveer el voltaje adecuado y que la fuente sea capaz de proporcionar la corriente demandada por el circuito electrónico diseñado, para lo cual se recomienda que la fuente sea capaz de proporcionar no menos de 5 amperios. Además de la fuente de voltaje presentada se hace necesario el uso de un regulador de 5 voltios para alimentar el circuito de control; en este regulador se recomienda el uso de un transistor de paso externo, de tal manera que se pueda proveer toda la corriente demandada. Es también importante mencionar que se prefiere usar un regulador de voltaje adicional de 5 voltios para alimentar exclusivamente los microcontroladores.

#### **4.2. Control de potencia**

El control de potencia se refiere a la manera de manejar el voltaje trifásico que energiza el motor de la centrífuga, que para tal propósito se suelen utilizar contactores del tamaño adecuado para poder alimentar la corriente demandada por dicho motor. Para activar estos contactores se hace necesario alimentar las bobinas correspondientes con corriente alterna de 120 o 240 voltios. Estas bobinas se alimentan a través de relés que a su vez son manipulados por el circuito de control diseñado.

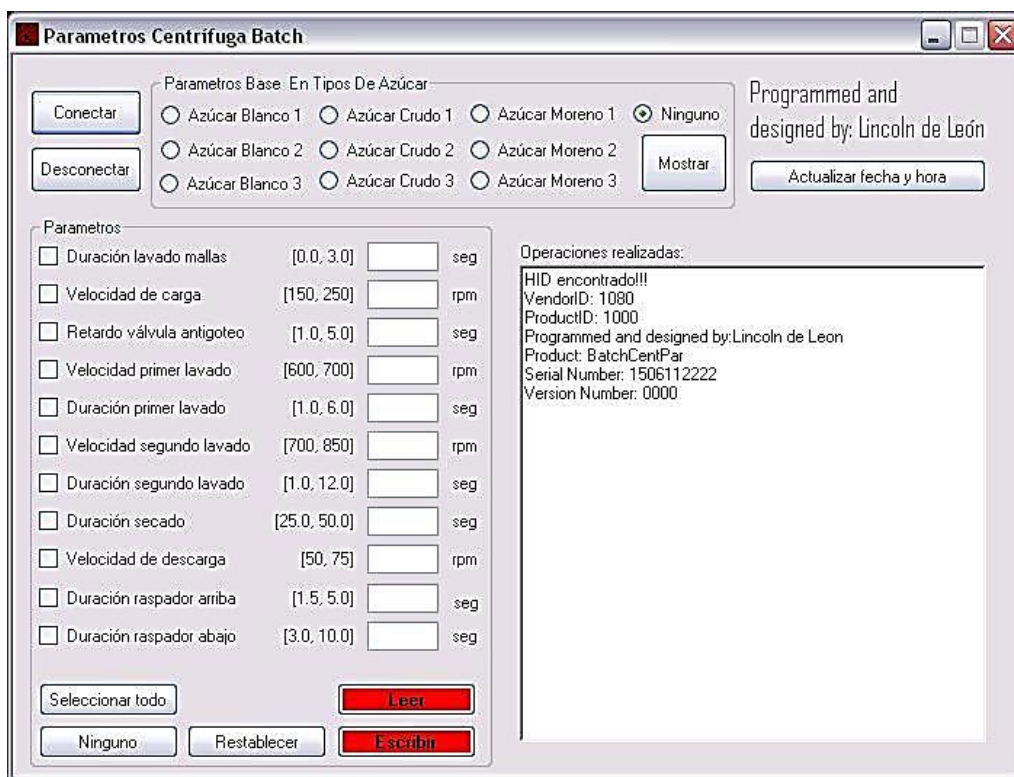
#### **4.3. Modificación de parámetros de operación**

Para realizar la conexión con el circuito de control, este debe estar correctamente conectado a la computadora, encendido, mantenerse en modo

manual y presionar el botón de arranque en el circuito de control durante cuatro segundos; luego de esto es posible indicar en el software que se realice la conexión.

En la figura 38 puede verse una captura de pantalla del software después de haberse establecido la conexión con el circuito de control. Como puede observarse en la ventana del software, después de haber realizado la conexión, ya es posible visualizar los botones de lectura y escritura en la parte inferior de la ventana, así como un botón adicional para actualizar la fecha y hora del circuito de control, el cual se ve en la parte superior derecha de la ventana.

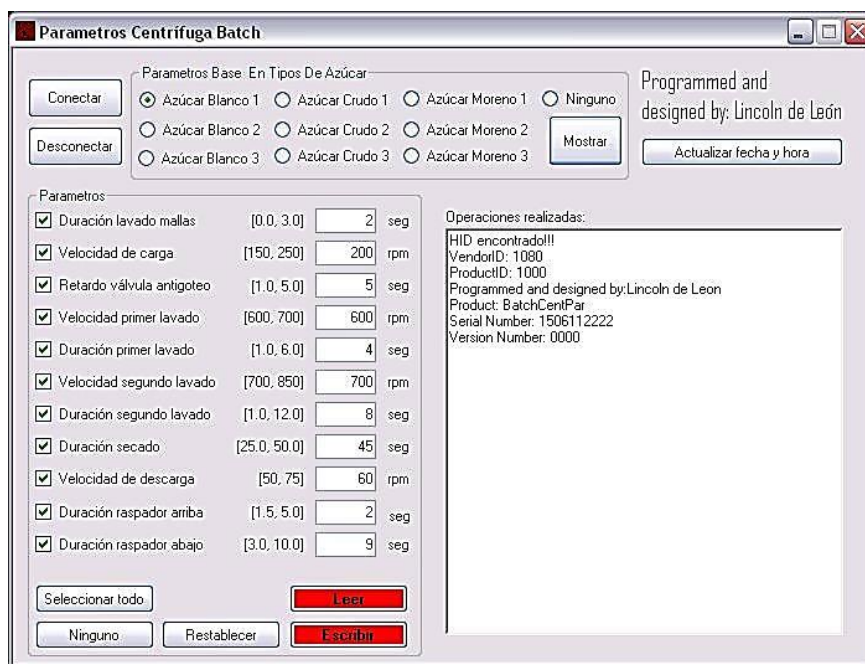
Figura 38. **Software conectado a circuito de control**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Para observar los parámetros predeterminados para una clase de azúcar, basta con seleccionarlo en la parte superior de la ventana e indicar que se muestren. Los parámetros se verán en el lado izquierdo de la ventana. En la figura 39 se han mostrado los parámetros para el azúcar blanca 1.

Figura 39. **Software mostrando parámetros predeterminados**

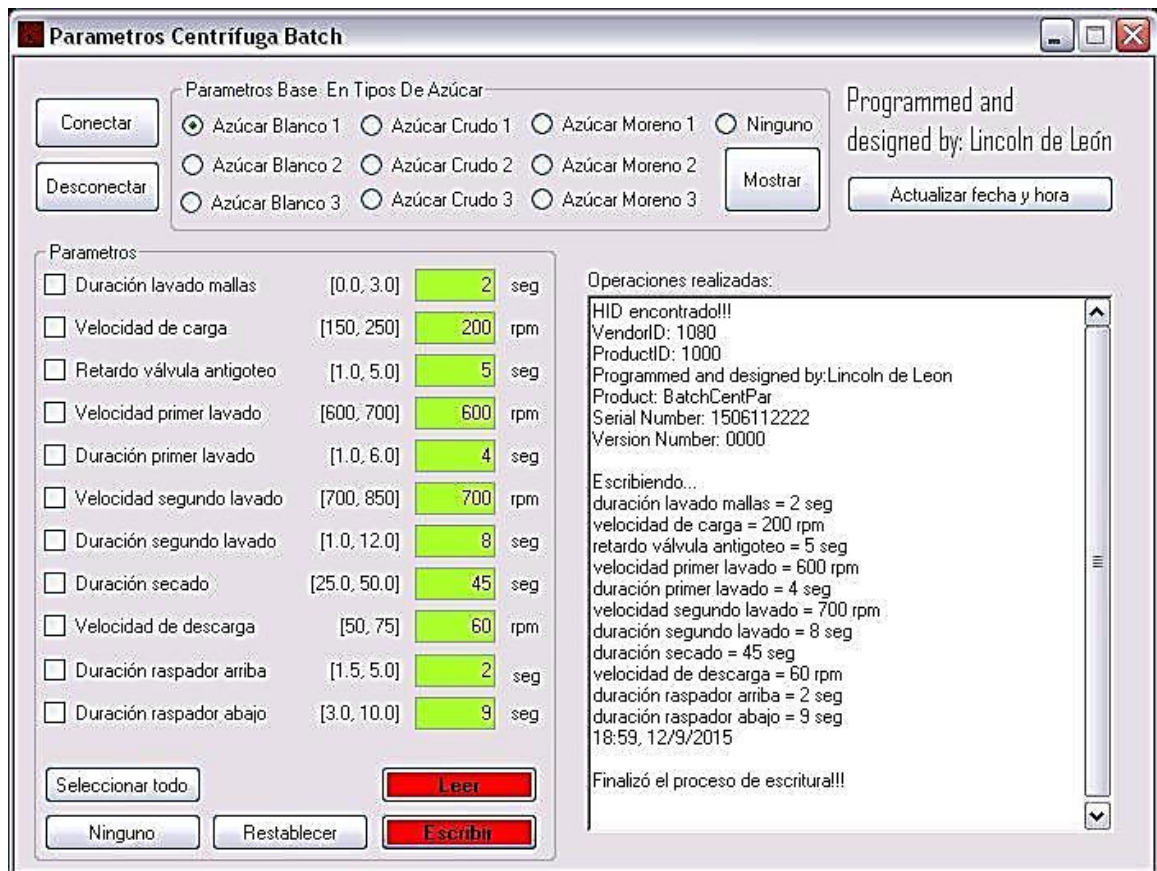


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Los parámetros a escribir en la memoria del circuito deben ser seleccionados. Teniendo un grupo de parámetros seleccionados para escritura y con la conexión establecida, la operación se muestra en la figura 40. Como puede verse en el lado derecho de la ventana, se muestran los valores que se escribieron, la hora y la fecha en que fueron modificados y que el proceso de escritura terminado.

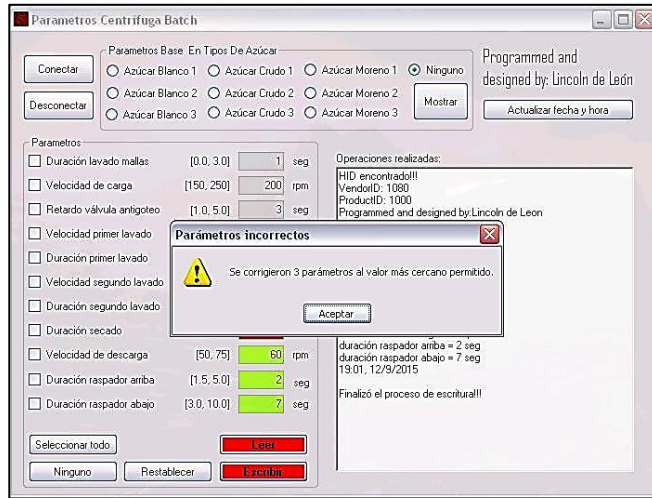
En la figura 41 se muestra un intento de escritura de tres parámetros que están fuera del intervalo permitido, los cuales son corregidos por el software al valor permitido más cercano. En este intento de escritura no se han seleccionado algunos parámetros, los cuales después de hacer la operación de escritura son sombreados en gris. En el lado derecho de la ventana se muestran los parámetros que se han cambiado, como se ve en la figura 42.

Figura 40. **Escritura de parámetros con software**



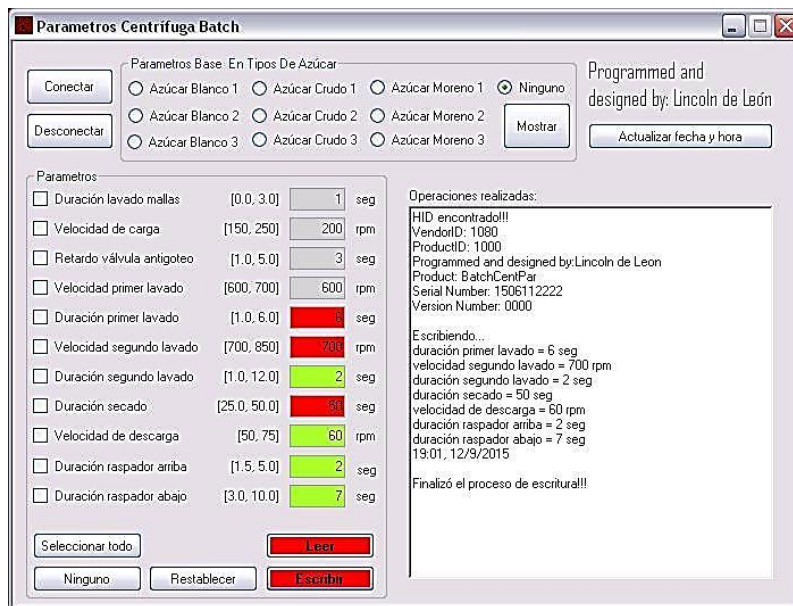
Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Figura 41. **Intento de escritura de parámetros no permitidos**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Figura 42. **Modificación y escritura de parámetros no permitidos**

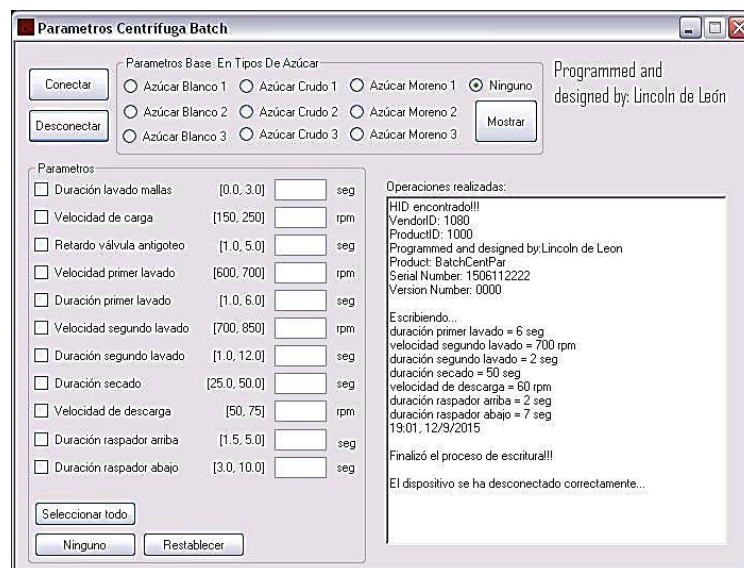


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Después de realizar las operaciones deseadas es posible indicar que se termine la conexión entre el circuito de control y el software, presionando el botón de desconectar ubicado en la parte superior izquierda de la ventana (ver figura 43), en la cual se han presionado los botones “Ninguno” y “Restablecer”. Es importante realizar la desconexión desde el software y luego desconectar el cable USB; si esto no se realiza, el equipo se desconectará por sí mismo después de pasar dos minutos sin realizar ninguna operación de lectura o escritura. En la figura 44 se muestra una captura de pantalla después de haber conectado y desconectado el equipo.

Cuando se pretenda establecer una conexión entre el circuito de control y el software y no exista una correcta conexión física, se mostrará un mensaje de error, en el cual se indica que se revise si el equipo está conectado y encendido, como se ilustra en la figura 45.

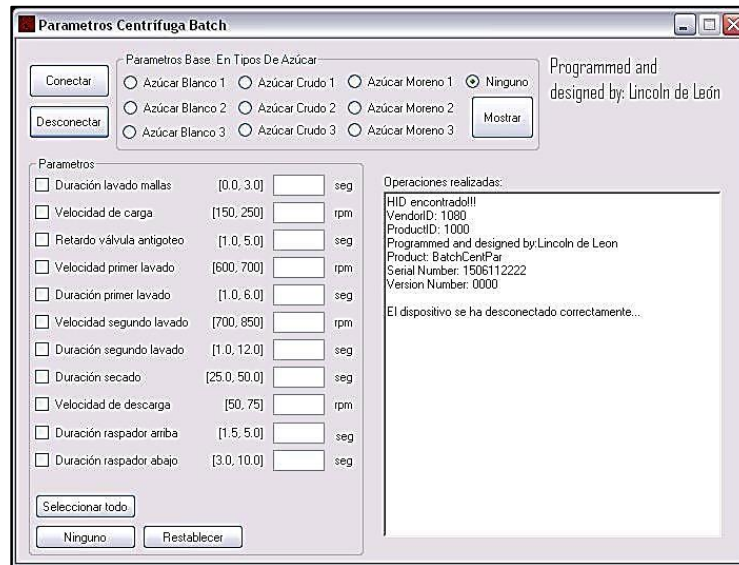
Figura 43. **Desconexión después de realizar escritura**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008

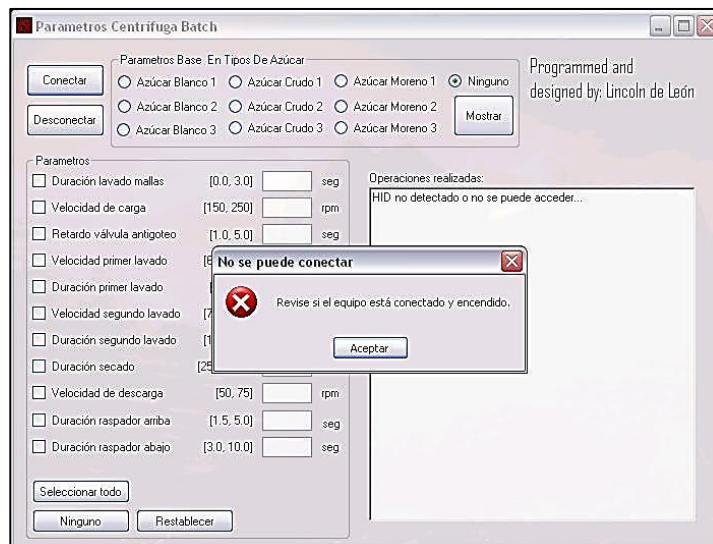


Figura 44. **Conexión y desconexión con el circuito de control**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.

Figura 45. **Error de conexión entre software y circuito de control**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visual Basic 2008.



#### 4.4. Programa a ejecutarse en microcontroladores

Para llevar a cabo el control automatizado de una centrífuga *batch*, se desarrollan dos listados de instrucciones que corresponderán a un igual número de microcontroladores. Se desarrolla el control principal en un microcontrolador denominado maestro, y se designa esclavo al otro microcontrolador, el cual es el encargado de realizar las acciones en los actuadores cuando el maestro se lo indique.

##### 4.4.1. Listado de entradas y salidas de los microcontroladores

Como se ha indicado se tienen dos microcontroladores en los cuales se reciben señales tanto digitales como analógicas; en el dispositivo designado como maestro, se reciben señales de sensores, así como también señales básicas de mando de la centrífuga. Este microcontrolador es también el encargado de comunicarse con una computadora para el cambio de parámetros, designar órdenes al esclavo, así como también comunicarse con una memoria EEPROM y un reloj. Ver las tablas I y II.

Tabla I. Entradas a microcontroladores

Nombre	Dato	Nombre	Dato
Velocidad motor	Analógico	Palpador despegado	Digital
Temperatura agua	Analógico	Válvula fondo abierta	Digital
Presión agua	Analógico	Válvula fondo cerrada	Digital
Presión aire	Analógico	Raspador pegado	Digital
Start y stop	Analógico	Raspador despegado	Digital
Temperatura amb.	Analógico	Raspador arriba	Digital
Modo automático	Analógico	Raspador abajo	Digital
Stop emergencia	Analógico	Raspador bloqueado	Digital
Válvula 1 abierta	Digital	Raspador bloqueo	Digital
Válvula 1 cerrada	Digital	Vibración eje	Digital
Válvula 2 abierta	Digital		
Válvula 2 cerrada	Digital		
Centrífuga llena	Digital		
Palpador pegado	Digital		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Análisis de funcionamiento por fases

El proceso de centrifugado debe ser ordenado; en el mismo deben ejecutarse las acciones de acuerdo con los parámetros que el operador haya determinado previamente. Es importante que el equipo tenga el control de lo que está sucediendo en todo momento, ya que de presentarse algún comportamiento incorrecto por parte del equipo, se proceda a detener el ciclo de centrifugado o a no permitir que la centrífuga empiece un nuevo ciclo, si el comportamiento no representa algún daño al equipo.

Tabla II. Salidas de microcontroladores

Nombre	Dato	Nombre	Dato
Velocidad baja	Digital	Freno	Digital
Velocidad alta	Digital	Indicador manual	Digital
Velocidad descarga	Digital	Indicador automático	Digital
Válvula agua goteo	Digital	Indicador de falla	Digital
Válvula agua masa	Digital	Arranque permitido	Digital
Válvula 1	Digital	Pantalla LCD RS	Digital
Válvula 2	Digital	Pantalla LCD E	Digital
Palpador	Digital	Pantalla LCD 1	Digital
Válvula de fondo	Digital	Pantalla LCD 2	Digital
Raspador (horizontal)	Digital	Pantalla LCD 3	Digital
Raspador (vertical)	Digital	Pantalla LCD 4	Digital
Bloqueo raspador	Digital	Indicador auditivo	Digital

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.2.1. Arranque de centrífuga**

Para que una centrífuga *batch* pueda empezar un ciclo, se hace necesario tener ciertas condiciones básicas, en las cuales se pueden mencionar que se tenga una presión y temperatura específica del agua de lavado, mantener una presión de aire adecuada para los actuadores neumáticos, válvula de fondo cerrada y raspador en posición de reposo y bloqueado; también se debe tener en consideración la temperatura ambiente del lugar en el que se encuentra ubicado el equipo de control, ya que de tenerse una temperatura muy alta, el equipo puede presentar acciones indeseadas.

#### **4.4.2.2. Recepción de masa**

Cuando las condiciones para que empiece un ciclo en la centrífuga se tengan, el motor eléctrico puede ser energizado y empezar el ciclo. Cuando se haya alcanzado la velocidad de carga, se debe proceder a cargar la canasta de la centrífuga abriendo las válvulas de alimentación, y permitiendo entrar la cantidad de masa que se haya seleccionado en el palpador. Cuando el palpador indique que la centrífuga está llena, las válvulas de alimentación deben ser cerradas.

#### **4.4.2.3. Aceleración de motor**

Teniendo la centrífuga llena se procede a acelerar el motor eléctrico hasta su velocidad máxima, de tal manera que se pueda lograr la separación entre miel y cristales de azúcar. La aceleración del motor puede durar varios segundos, ya que debido a la inercia rotacional que presenta la canasta cargada.

#### **4.4.2.4. Lavado de masa**

Cuando el motor se empieza a acelerar, a su máxima velocidad se procede a hacer el lavado de la masa, para lo cual se aplica el agua caliente a lo alto de toda la canasta. La duración y cantidad de lavados es un parámetro determinado por el operador, los cuales se ejecutan mientras el motor está acelerando. Cuando se realiza el primer lavado también se lava la tubería de carga de masa, para evitar goteo de masa durante el resto del proceso.

#### **4.4.2.5. Secado del azúcar**

Al momento en el que se haya alcanzado la máxima velocidad de giro en la centrífuga se le denomina tiempo de secado. El tiempo de secado lo debe determinar el usuario en función del tipo de azúcar producido. Es en este tiempo en el que se logra extraer la miel y el agua que los cristales de azúcar puedan tener. Es importante mencionar que con una temperatura alta del agua aplicada en los lavados se obtienen granos de azúcar más secos.

#### **4.4.2.6. Desaceleración de centrífuga**

Cuando el tiempo de secado del azúcar termina, el motor eléctrico es obligado a disminuir su velocidad de giro, es decir a desacelerar. Para lograr la desaceleración en el motor, este es conectado en velocidad baja a través de contactores. Cuando la velocidad haya disminuido a una magnitud cercana a la velocidad baja, el motor se desconecta de la red eléctrica y luego se aplica el freno hasta que la velocidad de giro sea cercana a la velocidad de descarga que el operador haya definido.

Si el tipo de arranque del motor eléctrico se hace a través de un variador de frecuencia, la desaceleración se logra disminuyendo gradualmente la frecuencia del voltaje que alimenta el motor, hasta que se obtenga la velocidad deseada.

#### **4.4.2.7. Descarga del azúcar**

Cuando la velocidad de descarga se haya alcanzado, la válvula de fondo debe ser abierta para permitir que los cristales de azúcar sean evacuados de la canasta. Adicionalmente, el raspador es accionado para despegar los cristales de azúcar que se encuentran aún adheridos a la canasta. Este proceso se realiza mientras la canasta se mantiene girando a una velocidad muy cercana a la velocidad de descarga, la cual el operador ha establecido previamente.

Teniendo un motor de dos velocidades resulta muy difícil mantener la velocidad de descarga usando solo contactores; es por ello que se suele usar un arrancador suave, el cual suministra energía eléctrica al motor por lapsos muy cortos, de tal manera que la velocidad del motor se mantenga dentro de un margen que permita que el azúcar se descargue completamente de la canasta.

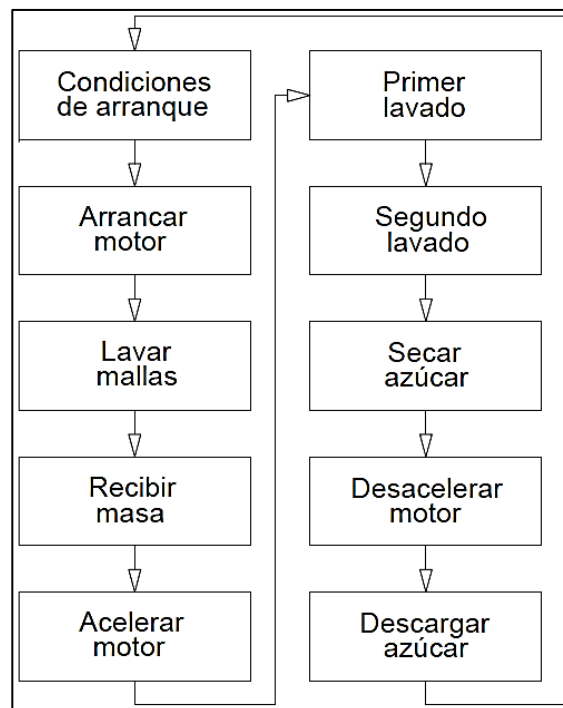
#### **4.4.3. Algoritmo final**

La secuencia ordenada de pasos para el funcionamiento de una centrífuga *batch*, se muestra en un diagrama de flujo en la figura 46. La secuencia se empieza generando condiciones de arranque del equipo. El diagrama mostrado muestra el ciclo que puede ser repetido una y otra vez, hasta que suceda una anomalía o que se indique que la máquina se detenga.

#### 4.4.4. Programa en lenguaje de alto nivel

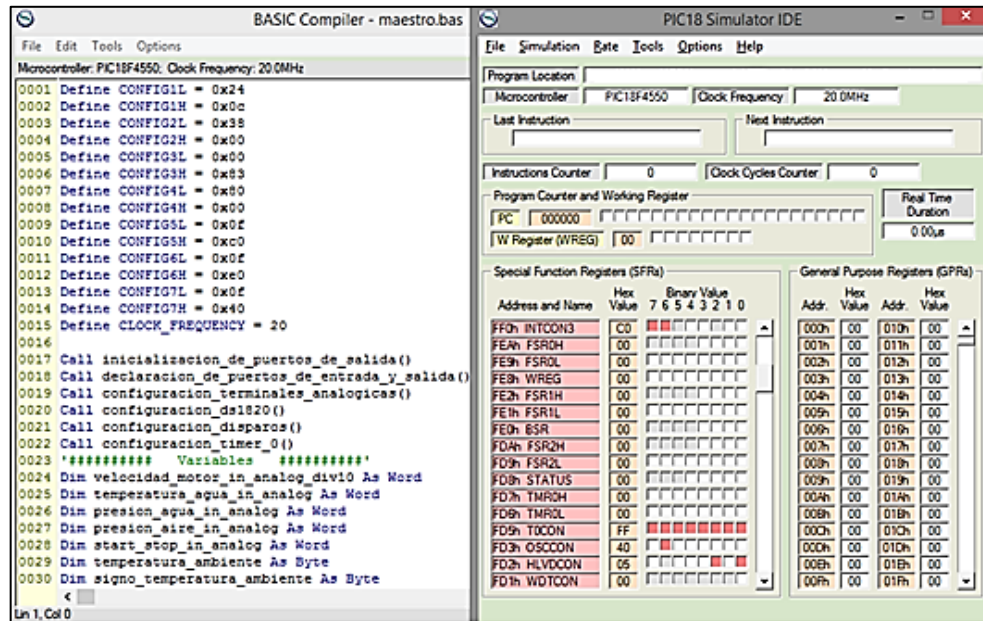
La secuencia de instrucciones que se desarrolló para el circuito de control fue realizada con el software PIC18 Simulator IDE v3.37, con una licencia personal (ver la figura 47). Usando una herramienta de este software llamada BASIC Compiler, se escribió la secuencia de instrucciones que los microcontroladores obedecerán, la cual está basada en el diagrama de flujo mostrado en la figura 46. El uso de la herramienta BASIC Compiler, es similar a un editor de texto con la diferencia que resalta en color azul las palabras propias del lenguaje de programación.

Figura 46. Diagrama de flujo de circuito de control



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Figura 47. Captura de pantalla del software PIC18 simulator IDE v3.37



Fuente: elaboración propia, con PIC18 Simulator IDE v3.37.

El código fuente para cada uno de los microcontroladores, maestro y esclavo, se muestra en el apéndice de este trabajo; también se muestra el código usado para operaciones de lectura y escritura de fecha y hora.

#### 4.4.5. Proceso de compilación

Debido a que el lenguaje de programación en el que se escribió la secuencia de instrucciones para el circuito de control desarrollado es un lenguaje de alto nivel, se hace necesario traducirlo a un lenguaje tal, que el microcontrolador lo pueda entender. El software utilizado proporciona una herramienta de compilación del código fuente, la cual fue utilizada en el desarrollo del proyecto.

La secuencia de instrucciones que se escribió, debe ser guardada en la computadora utilizada, con una extensión .bas y con la herramienta BASIC Compiler del software PIC18 simulator IDE v3.37, se genera un archivo con extensión .hex, el cual tiene el mismo nombre que se le ha dado al archivo escrito con extensión .bas.

El archivo con extensión .hex, debe transferirse a la memoria interna del microcontrolador; en el circuito de control desarrollado se hace necesario genera un archivo para cada uno de los microcontroladores usados.

#### **4.4.6. Grabación del programa en memoria del microcontrolador**

Para transferir el archivo que se va a grabar en la memoria interna del microcontrolador debe utilizarse un software y un circuito electrónico desarrollado para tal propósito. Este paquete de circuito y software para programar microcontroladores es desarrollado por diferentes fabricantes, con lo cual se hace notar que todos realizan la misma tarea. El programador del software PIC18 simulator IDE v3.37 ofrece varios diseños de circuito electrónico y software para realizar la grabación del archivo con extensión .hex a la memoria interna del microcontrolador.



## CONCLUSIONES

1. De la caña de azúcar se obtiene el guarapo, es decir la materia prima para la fabricación de azúcar, se obtiene también el bagazo usado como combustible para la generación de vapor, el cual se utiliza para la generación de energía eléctrica y para la fabricación de azúcar.
2. El método de separación de cristales de azúcar en una centrífuga *batch*, se basa en el aumento de la aceleración que experimentan las partículas que conforman una masa, la cual puede llegar a alcanzar valores muy superiores a la aceleración de la gravedad de la tierra.
3. El centrifugado de una masa se apoya en varios análisis de laboratorio que se realizan en la masa y en el azúcar, por lo que el circuito de control debe ser parametrizado utilizando el programa que se ha desarrollado, de tal manera que se obtenga la calidad de azúcar buscada.
4. Los movimientos mecánicos para el correcto funcionamiento de una centrífuga *batch* se ejecutan de acuerdo con el diseño y a las dimensiones de la máquina, lo cual se logra con el uso de actuadores neumáticos, ya sea lineales o rotativos.
5. El diseño del circuito de control desarrollado se fundamenta en el uso de dos microcontroladores, con lo cual se logra monitorear el estado de la máquina y actuar con base en la lista de instrucciones programada en cada microcontrolador, teniendo como dispositivos auxiliares otros dispositivos electrónicos.

6. En el circuito desarrollado el dispositivo encargado de realizar la secuencia de pasos necesarios para centrifugar una masa es un microcontrolador que se la ha denominado maestro, el cual recibe instrucciones de arranque y paro por parte del operador, además gobierna los actuadores neumáticos y el motor eléctrico con base en el estado de la máquina, el cual conoce a través de los diferentes sensores que se encuentran instalados.
  
7. Para controlar los diferentes actuadores se ha utilizado un microcontrolador denominado esclavo, el cual recibe las instrucciones del maestro a través de comunicación serial asíncrona y con base en las instrucciones recibidas, el esclavo ejecuta las acciones en los actuadores.
  
8. El programa que ejecuta el microcontrolador maestro se ha diseñado de manera tal que sea capaz de detectar anomalías en la operación de la centrífuga, tales como vibraciones altas, atoramiento de alguna válvula de alimentación de masa y el de actuadores neumáticos. Según la gravedad de la anomalía el microcontrolador mandará a detener inmediatamente la máquina o terminará el ciclo en curso y luego se detendrá.

## RECOMENDACIONES

1. El proceso para la fabricación de azúcar puede ser influido por el estado de la caña que se recibe en el ingenio, por lo cual es importante que en el área de preparación de caña se efectúe una correcta limpieza de la caña recibida, así como también el encargado del área de clarificación debe verificar que este proceso se esté realizando adecuadamente.
2. Para el cambio de parámetros de operación de una centrífuga *batch*, se exhorta a que el operador de centrífugas tenga en cuenta la calidad de masa recibida en la canasta, de tal manera que se pueda obtener el color de azúcar demandado.
3. Tomar en cuenta que el operador de una centrífuga *batch* tendrá el cuidado que se aplique la cantidad de agua adecuada durante el lavado, ya que se podría disolver una excesiva cantidad de granos de azúcar y con esto disminuir la eficiencia del proceso de cristalización.
4. Considerar que los parámetros de operación de una centrífuga *batch* dependerán de las dimensiones de los elementos que la conforman. Por lo cual, es deseable que el operador de centrífugas verifique el correcto funcionamiento de cada máquina.
5. Como una opción para mejorar el proceso de centrifugado, es conveniente que el ingenio invierta en medidores de flujo de agua de lavado, ya que se podría tener un mejor control de la cantidad de agua utilizada y de esa manera evitar diluir granos de azúcar.

6. Para el uso del circuito de control diseñado es de vital importancia que el personal de montaje instale la tarjeta electrónica en un lugar que esté libre de humedad, polvo, o sustancias extrañas que puedan interferir con el correcto funcionamiento del circuito.
  
7. Como parte del mejoramiento en el desempeño de una centrífuga *batch*, es viable que el ingenio adquiera variadores de frecuencia para controlar la velocidad del motor eléctrico de la centrífuga, ya que con esto se podrá obtener un desempeño más eficiente de la máquina.
  
8. Para la puesta en marcha del circuito de control diseñado se exhorta a monitorear continuamente el color del azúcar obtenido, de manera tal que se logre obtener el color de azúcar deseado, y así poder establecer un conjunto de parámetros de operación de la centrífuga para el tipo de azúcar que se esté produciendo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALEXANDER, Charles; SADIKU, Matthew. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. 3a ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2006. 901 p. ISBN: 970-10-5606-X.
2. BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 8a ed. México: Pearson Educación, Prentice-Hall, 2003. 1040 p. ISBN: 970-26-0436-2.
3. ÇENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. 1008 p. ISBN: 978-970-10-7286-8.
4. FLOYD, Thomas L. *Dispositivos electrónicos*. 8a ed. México: Pearson Educación, Prentice-Hall, 2008. 1008 p. ISBN: 978-970-26-1193-6.
5. PALACIOS, Enrique; REMIRO, Fernando; LÓPEZ, Lucas. *Microcontrolador PIC16F84, Desarrollo de proyectos*. México: Alfaomega Grupo Editor, 2004. 623 p. ISBN: 970-15-1033-X.
6. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens, 2012. 880 p. ISBN: 978-3-87040-142-9.
7. RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth. *Física Vol. 1*. 4a ed. México: Compañía Editorial Continental, 1993. 658 p. ISBN: 968-26-1230-6.



## APÉNDICES

1. Generación de vapor en un ingenio azucarero.
2. Diagrama del circuito de control.
3. Código fuente para el microcontrolador maestro. El nombre del archivo es: maestro.bas.
4. Código fuente para uso del circuito integrado DS1307. El nombre del archivo es: instrucciones\_ds1307.bas.
5. Código fuente para el microcontrolador esclavo. El nombre del archivo es: esclavo.bas.
6. Código fuente software de cambio de parámetros, desarrollado en Visual Basic 2008.





## Apéndice 1. **Generación de vapor en un ingenio azucarero**

Para el proceso de fabricación de azúcar se hace necesario el uso de vapor de agua ya sea para calentamiento de guarapo, evaporación, cristalización, entre otros. Es por que en un ingenio azucarero se dispone de un área de calderas, las cuales utilizan como combustible el bagazo de la caña de azúcar.

Para realizar la combustión del bagazo se necesita oxígeno, el cual es suministrado por un ventilador llamado ventilador de tiro forzado. Este ventilador toma aire de la atmósfera y lo conduce hacia un intercambiador de calor, denominado precalentador, en donde se eleva la temperatura del aire con los gases calientes que son producto de la combustión del bagazo. Luego este aire caliente es conducido hacia el hogar de la caldera, que es donde se tiene una continua alimentación de bagazo y donde se realiza la quema del mismo. Las paredes que conforman el hogar de la caldera están formadas por tubos, los cuales están llenos de agua.

Los gases producto de la quema del bagazo son extraídos por el ventilador de tiro inducido, que en conjunto con el ventilador de tiro forzado se busca constantemente que en el hogar de la caldera se tenga una presión ligeramente menor a la atmosférica.

Los gases, al ser extraídos del hogar, transfieren energía calorífica en el super *heater*, los cuales son tubos que recalientan el vapor para formar vapor saturado; luego pasan calentando el agua que se encuentra en el banco de convección, que son tubos llenos de agua que unen a ambos domos de la caldera; posteriormente los gases calientan el agua de alimentación a la caldera

en el economizador y por último calientan el aire que está impulsando el ventilador de tiro forzado.

Como último elemento se tiene el ventilador de tiro inducido, que es el que continuamente succiona los gases para poder expulsarlos por la chimenea. En la figura que se adjunta puede seguirse el flujo de aire desde el ventilador de tiro forzado hasta llegar a la chimenea, el cual se indica con flechas; de tal manera que se pueda tener una mejor comprensión del recorrido del aire y de los gases de la caldera.

Dependiendo del diseño de la caldera que se tenga, antes de liberar los gases hacia la atmósfera se hace una limpieza de estos para evitar que las cenizas contaminen el ambiente.

Al agua utilizada en una caldera se le denomina agua desmineralizada, la cual ha llevado cierto proceso de tratamiento para evitar incrustaciones en las tuberías de la caldera. El agua desmineralizada es agregada continuamente al desaireador, debido a ligeras pérdidas que se tengan en el proceso.

El recorrido del agua para la generación de vapor se puede empezar en el desaireador, que es de donde una o varias bombas de agua succionan el agua para impulsarla hacia la caldera. Como primer punto, el agua después de ser impulsada por la bomba de alimentación, pasa a través del economizador para calentarse y con lo cual se aprovecha la energía calorífica de los gases de combustión; luego esta agua es dirigida hacia el domo superior.

Debido a que el agua que rodea el hogar de la caldera, la cual está contenida dentro de tubos, se mantiene calentando continuamente a causa de la quema del bagazo, se produce una circulación natural; esto obliga al agua

caliente a ganar altura y al agua con menor temperatura a conducirse hacia la parte más baja de las paredes del hogar. El agua con más temperatura, debido a la circulación natural, llega a alcanzar el domo inferior de la caldera y como consecuencia del calentamiento de los tubos que mantienen unidos ambos domos, circula hasta llegar al domo superior, que es donde también llega el agua de alimentación que suministra la bomba y que previamente ha pasado por el economizador.

En el domo superior se tiene líquido saturado y vapor saturado, es decir se tiene agua en ambos estados. Es importante que el domo superior mantenga agua líquida a cierto nivel; este suele estar entre el cincuenta y sesenta por ciento, siendo el resto vapor saturado, lo cual se hace para evitar que agua líquida sea arrastrada hacia la tubería de vapor y llegue a la turbina, la cual podría resultar dañada. El vapor saturado producido en el domo es conducido hacia el *super heater*, el cual consiste de varios tubos por los que circula el vapor. Estos tubos a su vez son calentados por los gases de combustión del bagazo, logrando que el vapor al salir del *super heater* tenga una temperatura mayor, llamándose vapor sobrecalentado.

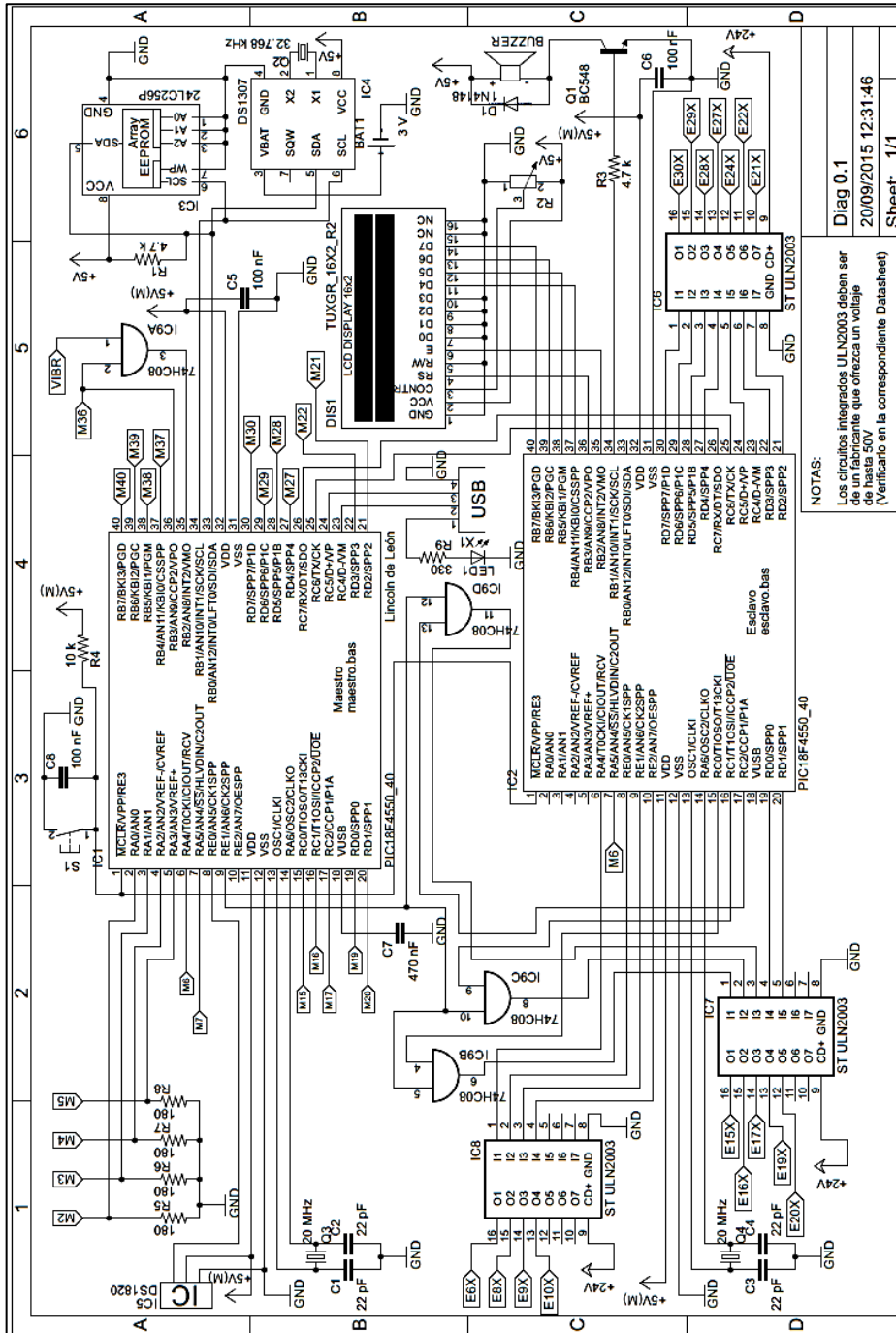
Con el uso del *super heater* para obtener vapor sobrecalentado, se asegura que con una pérdida pequeña de temperatura en el vapor, este no se condense y así tener únicamente vapor el cual le llegará a la turbina de vapor.

El movimiento giratorio de una turbina, ocasionado por el flujo de vapor, es aprovechado comúnmente para proveer la energía mecánica hacia un generador eléctrico, el cual suministra la energía eléctrica al ingenio y en ocasiones el excedente es suministrado a la red eléctrica nacional.

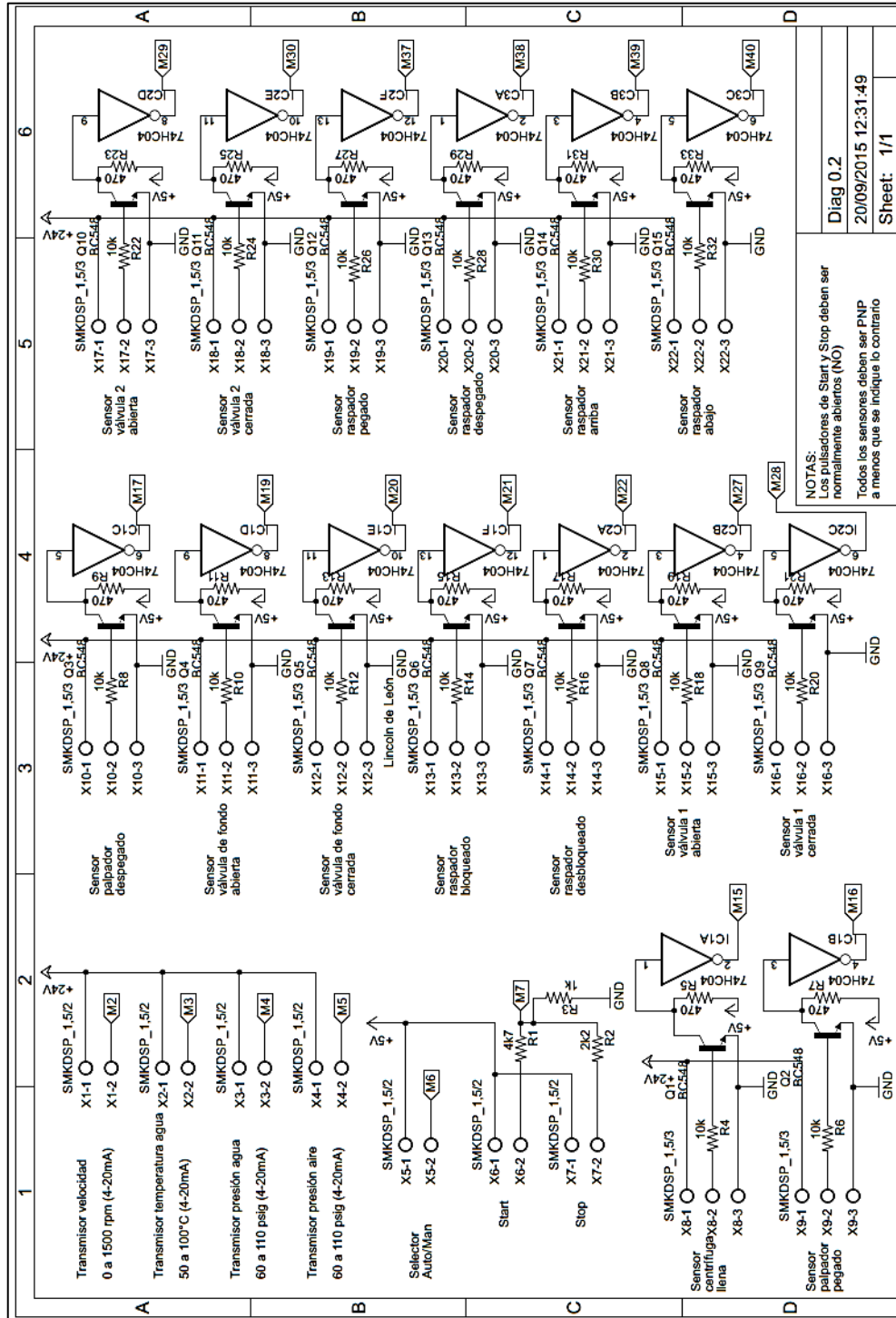
Las turbinas de vapor utilizadas en los ingenios azucareros, comúnmente extraen el vapor que se ha suministrado a ella a una presión de 138 kPa; es denominado vapor de escape. Este vapor tiene una presión y temperatura que aún le permite ser vapor y no líquido, de manera que es aprovechado en los evaporadores de primer efecto para el calentamiento del guarapo o jugo de caña, lo cual se lleva a cabo a través de la calandria del evaporador, que se encarga de calentar el jugo. Con esta transferencia de calor del vapor de escape hacia el jugo de caña, el vapor de agua pasa a su estado líquido, para luego ser llevada hacia el desaireador por parte de la bomba de condensados, completando el ciclo de circulación del agua.



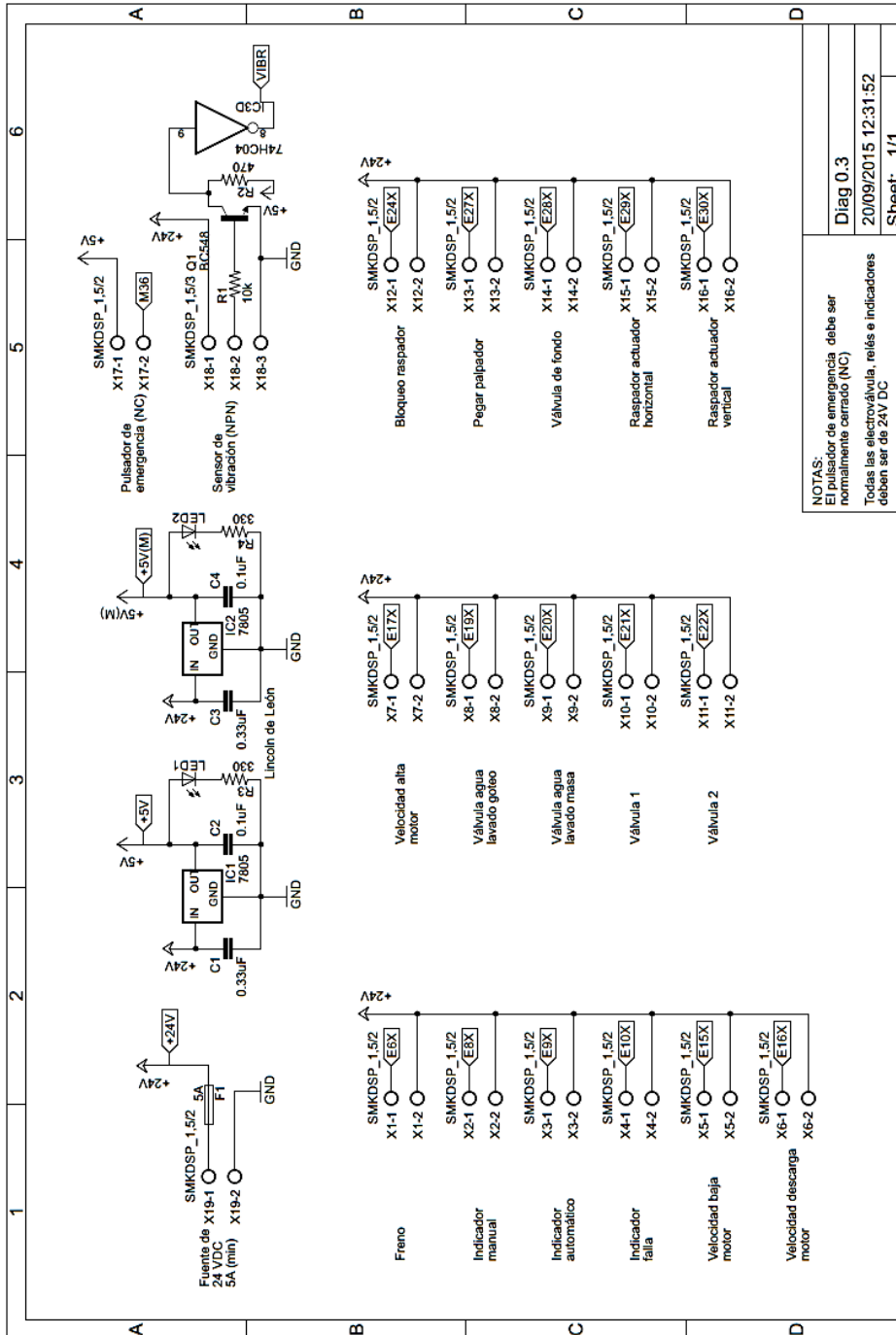
## Apéndice 2. Diagrama del circuito de control



Continuación del apéndice 2.



Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia.



### Apéndice 3. Código fuente para el microcontrolador maestro. El nombre del archivo es: maestro.bas

```
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontrolador: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0001 Define CONFIG1L = 0x24
0002 Define CONFIG1H = 0x0C
0003 Define CONFIG2L = 0x38
0004 Define CONFIG2H = 0x00
0005 Define CONFIG3L = 0x00
0006 Define CONFIG3H = 0x83
0007 Define CONFIG4L = 0x80
0008 Define CONFIG4H = 0x00
0009 Define CONFIG5L = 0x0F
0010 Define CONFIG5H = 0xC0
0011 Define CONFIG6L = 0x0E
0012 Define CONFIG6H = 0xE0
0013 Define CONFIG7L = 0x0F
0014 Define CONFIG7H = 0x40
0015 Define CLOCK_FREQUENCY = 20
0016
0017 Call inicializacion_de_puertos_de_salida()
0018 Call declaracion_de_puertos_de_entrada_y_salida()
0019 Call configuracion_terminales_analogicas()
0020 Call configuracion_ds1820()
0021 Call configuracion_disparos()
0022 Call configuracion_timer_0()
0023
0024 Dim velocidad_motor_in_analog_div10 As Word
0025 Dim temperatura_agua_in_analog As Word
0026 Dim presion_agua_in_analog As Word
0027 Dim presion_aire_in_analog As Word
0028 Dim start_stop_in_analog As Word
0029 Dim temperatura_ambiente As Byte
0030 Dim signo_temperatura_ambiente As Byte
0031 Dim duracion_lavado_mallas_decim_seg As Byte
0032 Dim velocidad_de_carga_rpm_div10 As Byte
0033 Dim retardo_valvula_antigoteo_decim_seg As Byte
0034 Dim velocidad_primer_lavado_rpm_div10 As Byte
0035 Dim duracion_primer_lavado_decim_seg As Byte
0036 Dim velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 As Byte
0037 Dim duracion_segundo_lavado_decim_seg As Byte
0038 Dim duracion_secado_lavado_seg_x As Word
0039 Dim velocidad_de_descarga_rpm_div10 As Byte
0040 Dim duracion_raspador_arriba_decim_seg As Byte
Lin:40, Col:0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0040 Dim duracion_raspador_arriba_decim_seg As Byte
0041 Dim duracion_raspador_abajo_decim_seg As Byte
0042 Dim velocidad_minima_descarga_div10 As Byte '= velocidad de descarga rpm div10 - 1 (-10 rpm)
0043 Dim velocidad_maxima_descarga_div10 As Byte '= velocidad de descarga rpm div10 + 1 (+10 rpm)
0044 Dim velocidad_motor_selec_0123 As Byte '0 = apagado, 1 = baja, 2 = alta, 3 = descarga
0045 velocidad_motor_selec_0123 = 0
0046 Dim orden_w As Word
0047 orden_w = 0
0048 Dim datos As Byte
0049 datos = 0
0050 Dim arr_per As Bit
0051 arr_per = 0
0052 Dim start_presionado As Bit
0053 start_presionado = 0
0054 Dim tiempo_0_decim_seg As Word
0055 Dim tiempo_1_decim_seg As Word
0056 Dim conteo_0 As Byte
0057 Dim conteo_1 As Byte
0058 Dim razon_stop As Word
0059 razon_stop = 0
0060 Dim razon_trip As Word
0061 razon_trip = 0
0062 Dim razon_alarma As Word
0063 razon_alarma = 0
0064 Dim terminar_comunicacion_usb_desde_software As Bit
0065 terminar_comunicacion_usb_desde_software = 0
0066
0067 Call inicializacion_usb()
0068 Hseropen 57600
0069 WaitMs 2000
0070 Call lectura_de_parametros_en_memoria_eprom_24lc256()
0071 Include "instrucciones_dsi307.bas" 'Ver archivo
0072
0073 Symbol auto_man_in = RA4
0074 Symbol l2csda = RE0
0075 Symbol i2cscl = RE1
0076 Symbol stop_emergencia_in = RB3
0077 Symbol raspador_pegado_in = RB4
0078 Symbol raspador_despegado_in = RB5
0079 Symbol raspador_arriba_in = RB6
Ln 79, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0079 Symbol raspador_arriba_in = RB6
0080 Symbol raspador_abajo_in = RB7
0081 Symbol centrifuga_llena_in = RC0
0082 Symbol palpador_pegado_in = RC1
0083 Symbol palpador_despegado_in = RC2
0084 Symbol valvula_de_fondo_abierta_in = RD0
0085 Symbol valvula_de_fondo_cerrada_in = RD1
0086 Symbol raspador_bloqueado_in = RD2
0087 Symbol raspador_desbloqueado_in = RD3
0088 Symbol valvula_1_masa_abierta_in = RD4
0089 Symbol valvula_1_masa_cerrada_in = RD5
0090 Symbol valvula_2_masa_abierta_in = RD6
0091 Symbol valvula_2_masa_cerrada_in = RD7
0092 Symbol arranque_motor_permitido_out = RE1
0093 arranque_motor_permitido_out = 1
0094 Const r_in_analog_c = 180 'Valor en ohmios
0095 Const rpm_alta_c = 1500 '= Valor a 20mA, el valor rpm_bajo es igual a 0 rpm (4 mA)
0096 Const btn_1_min_c = 83
0097 Const btn_1_max_c = 246
0098 Const btn_2_min_c = 246
0099 Const btn_2_max_c = 364
0100 Const btn_amb_min_c = 364
0101 Const btn_amb_max_c = 729
0102 Const duracion_max_respuesta_valvula_antigoteo_decim_seg = 30
0103 Const duracion_max_apertura_valvula_antigoteo_decim_seg = 70
0104 Const duracion_max_cierre_valvula_antigoteo_decim_seg = 70
0105 Const duracion_max_respuesta_palpador_decim_seg = 20
0106 Const duracion_max_pegado_palpador_decim_seg = 30
0107 Const duracion_max_despegado_palpador_decim_seg = 30
0108 Const duracion_max_respuesta_valvula_carga_decim_seg = 30
0109 Const duracion_max_apertura_valvula_carga_decim_seg = 70
0110 Const duracion_max_cierre_valvula_carga_decim_seg = 70
0111 Const duracion_max_respuesta_valvula_de_fondo_decim_seg = 30
0112 Const duracion_max_apertura_valvula_de_fondo_decim_seg = 50
0113 Const duracion_max_respuesta_bloqueo_raspador_decim_seg = 30
0114 Const duracion_max_contraet_bloqueo_raspador_decim_seg = 50
0115 Const duracion_max_respuesta_horizontal_raspador_decim_seg = 30
0116 Const duracion_max_pegar_raspador_horizontal_decim_seg = 50
0117 Const duracion_max_respuesta_vertical_raspador_decim_seg = 30
0118 Const duracion_max_bajar_raspador_vertical_configmec_decim_seg = 200
```

Ln 118, Col 0

Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0118 Const duracion_max_bajar_raspador_vertical_configmec_decim_seg = 200
0119 Const duracion_max_carga_centrifuga_decim_seg = 200
0120 Const velocidad_baja_motor_div10 = 50
0121 Const velocidad_alta_motor_div10 = 110
0122 Const duracion_max_desconectar_contactor_mil_seg = 500
0123 Const duracion_max_alcanzar_velocidad_min_lavado_despues_antigoteco_decim_seg = 200
0124 Const velocidad_min_primer_lavado_div_10 = 60
0125 Const duracion_max_alcanzar_velocidad_primer_lavado_decim_seg = 200
0126 Const duracion_max_espera_segundo_lavado_decim_seg = 200
0127 Const duracion_max_espera_velocidad_secado_decim_seg = 200
0128 Const velocidad_permitida_para_activar_freno_div10 = 65
0129 Const velocidad_mayor_a_velocidad_de_descarga_div10 = 1
0130 Const espera_envio_comunicacion_serial = 125
0131
0132 Call generar_condiciones_de_arranque_sin_bloqueo_rasp()
0133 Call inicio_pantalla()
0134
0135 principal:
0136 If auto_man_in = 0 Then 'Rutina de comunicación USB
0137   Adcin 4, start_stop_in_analog
0138   If start_stop_in_analog >= btn_1_min_c And start_stop_in_analog <= btn_1_max_c Then
0139     Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0140     Call activar_timer_0()
0141     While start_stop_in_analog >= btn_1_min_c And start_stop_in_analog <= btn_1_max_c And tiempo_0_decim_seg <= 40
0142       Adcin 4, start_stop_in_analog
0143     Wend
0144     Call indicar_comunicacion_usb_en_proceso()
0145     Call apagar_timer_0()
0146     If start_stop_in_analog >= btn_1_min_c And start_stop_in_analog <= btn_1_max_c Then
0147       USBStart
0148       UsbService
0149       Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0150       Call activar_timer_0()
0151       UsbService
0152       Call indicar_comunicacion_usb_establecida()
0153       While auto_man_in = 0 And terminar_comunicacion_usb_desde_software = 0 And tiempo_0_decim_seg <= 1200
0154         UsbService
0155         WaitMs 1
0156       Wend
0157       terminar_comunicacion_usb_desde_software = 0
Ln 157, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroler: PIC18F4550; Clock frequency: 20.0MHz
0157   terminar_comunicacion_usb_desde_software = 0
0158   Call apagar_timer_0()
0159   USBStop
0160   Call indicar_comunicacion_usb_terminada()
0161   Endif
0162   Endif
0163   Endif
0164   IF auto_man_in = 1 Then
0165     WaitMs 500
0166   Endif
0167   While auto_man_in = 1 'Modo automático seleccionado
0168     If arr_per = 0 Then
0169       Call generar_condiciones_de_arranque_sin_bloqueo_rasp()
0170       While raspador_arriba_in = 0 And auto_man_in = 1
0171         Wend
0172       Call despegar_raspador()
0173       While raspador_despegado_in = 0 And auto_man_in = 1
0174         Wend
0175       Call bloquear_raspador()
0176       WaitMs 1000
0177     Endif
0178     While arr_per = 0 And auto_man_in = 1
0179       Call revisar_condiciones_de_arranque() 'Se revisa hasta que permita el arranque (arr_per = 1)
0180     Wend
0181     If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
0182       arranque_motor_permitido_out = 1
0183     Endif
0184     If arr_per = 1 And auto_man_in = 1 And start_presionado = 0 Then
0185       Adcin 4, start_stop_in_analog
0186       While start_stop_in_analog >= btn_1_min_c 'Lectura al presionar Start
0187         If start_stop_in_analog >= btn_1_min_c And start_stop_in_analog < btn_1_max_c Then
0188           start_presionado = 1
0189         Endif
0190         WaitMs 200 'Espera para estabilizacion, al presionar Start
0191         Adcin 4, start_stop_in_analog
0192       Wend
0193     Endif
0194     If start_presionado = 1 And arr_per = 1 And auto_man_in = 1 Then 'Se arranca motor en velocidad baja y se lava la malla
0195       orden_w = 0x00e6
0196       Call enviar_orden_a_escravo()
Ln 196, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0196 Call enviar_orden_a_escravo()
0197 Call lavar_malla_y_arrancar_motor_vel_baja()
0198 Call apagar_timer_0()
0199 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0200 Call activar_timer_0()
0201 Call obtener_velocidad_de_motor() 'Se espera a se alcance la velocidad de carga y que se cumpla el tiempo de lavado
0202 While velocidad_motor_in analog_div10 < velocidad_de_carga_rpm_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0203 Call obtener_velocidad_de_motor()
0204 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_lavado_mallas_decim_seg And TOCON.TMR0ON = 1 Then
0205 Call apagar_timer_0()
0206 Call apagar_timer_0()
0207 If velocidad_motor_in analog_div10 <= (velocidad_de_carga_rpm_div10 / 4) Then
0208 razon_trip = 0x000d 'Disparo motor no arranca o esta atascado
0209 INTCON3.INT2IF = 1
0210 Endif
0211 Endif
0212 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0213 Wend
0214 If TOCON.TMR0ON = 1 Then
0215 Call apagar_lavado_de_mallas() 'Se apaga el lavado si la duracion del lavado es muy grande
0216 Call apagar_timer_0()
0217 Endif
0218 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se abre la válvula antigoteo y se espera a que responda
0219 Call abrir_valvula_antigoteo()
0220 Call apagar_timer_0()
0221 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0222 Call activar_timer_0()
0223 While valvula_2_masa_a_cerrada_in = 1 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_respuesta_valvula_antigoteo_decim_seg And auto_
0224 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0225 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0226 Wend
0227 Call apagar_timer_0()
0228 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_valvula_antigoteo_decim_seg Then
0229 razon_trip = 0x000f 'Disparo valvula 2 (antigoteo no responde)
0230 INTCON3.INT2IF = 1
0231 Endif
0232 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se pega el palpador y se espera a que responda
0233 Call pegar_palpador()
0234 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0235 Call activar_timer_0()
Ln 235; Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0235 Call activar_timer_0()
0236 While palpador_despegado_in = 1 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_respuesta_palpador_decim_seg And auto_man_in = 1
0237 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0238 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0239 Wend
0240 Call apagar_timer_0()
0241 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_palpador_decim_seg Then
0242 razon_stop = 0x0013 'Stop Palpador no responde
0243 Endif
0244 Endif
0245 Call usar_tiempo_0_decim_seg() 'Se revisa si las 2 acciones anteriores se han realizado con éxito
0246 Call usar_tiempo_1_decim_seg()
0247 Call activar_timer_0()
0248 While valvula_2_masa_a_abierta_in = 0 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_apertura_valvula_antigoteo_decim_seg And auto_
0249 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0250 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0251 Wend
0252 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_apertura_valvula_antigoteo_decim_seg Then
0253 razon_alarma = 0x0012 'Válvula 2 no abre completamente
0254 Endif
0255 While palpador_pegado_in = 0 And tiempo_1_decim_seg <= duracion_max_pegado_palpador_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_p
0256 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0257 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0258 Wend
0259 If tiempo_1_decim_seg >= duracion_max_pegado_palpador_decim_seg Then
0260 razon_stop = 0x0014
0261 Endif
0262 Endif
0263 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se abre la válvula de carga y se espera a que responda
0264 Call abrir_valvula_de_carga()
0265 Call apagar_timer_0()
0266 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0267 Call activar_timer_0()
0268 While valvula_1_masa_a_cerrada_in = 1 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_respuesta_valvula_carga_decim_seg And auto_man_
0269 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0270 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0271 Wend
0272 Call apagar_timer_0()
0273 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_valvula_carga_decim_seg Then
0274 razon_trip = 0x000e
Ln 274, Col 0 Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0274   razon_trip = 0x000e
0275   INTCON3.INT2IF = 1
0276   Endif
0277   Call usar_tiempo_0 decim_seg() 'Se revisa si la válvula de carga abre completamente
0278   Call usar_tiempo_1 decim_seg()
0279   Call activar_timer_0()
0280   While valvula_1_masa_a_abierta.in = 0 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_apertura_valvula_carga_decim_seg And auto_man_
0281   'Codigo no visible.--> And auto_man.in = 1 And arr_per = 1
0282   Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0283   Wend
0284   If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_apertura_valvula_carga_decim_seg Then
0285   razon_alarma = 0x0011 'Valvula 1 (de carga) no abre completamente
0286   Endif
0287   While centrifuga_llena.in = 0 And tiempo_1_decim_seg <= duracion_max_carga_centrifuga_decim_seg And auto_man.in = 1 And arr_
0288   'Codigo no visible.--> And auto_man.in = 1 And arr_per = 1
0289   Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0290   Wend 'Se espera a que la centrifuga se llene o que pase el tiempo máximo de carga
0291   If tiempo_1_decim_seg >= duracion_max_carga_centrifuga_decim_seg Then
0292   razon_stop = 0x0015
0293   Endif
0294   Call apagar_timer_0()
0295   Endif
0296   If auto_man.in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se despega palpador y se cierra válvula de carga
0297   Call_despegar_palpador()
0298   Call cerrar_valvula_de_carga()
0299   Call apagar_timer_0()
0300   Call usar_tiempo_0 decim_seg()
0301   Call activar_timer_0() 'Se espera a que responda la válvula de carga
0302   While valvula_1_masa_a_abierta.in = 1 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_respuesta_valvula_carga_decim_seg And auto_man_
0303   'Codigo no visible.--> And auto_man.in = 1 And arr_per = 1
0304   Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0305   Wend
0306   If tiempo_0 decim_seg() >= duracion_max_respuesta_valvula_carga_decim_seg Then
0307   razon_stop = 0x0018 'Valvula de carga no cierra
0308   Call cerrar_valvula_antigoteo() 'Se cierra para evitar sobrecarga en la canasta
0309   Endif
0310   Call apagar_timer_0()
0311   Call usar_tiempo_1 decim_seg() 'Usado para verificar tiempo de cierre de válvula
0312   Call usar_tiempo_0 decim_seg() 'Usado para verificar respuesta de palpador
0313   Call activar_timer_0() 'Se espera a que responda el palpador
Ln 313, Col 0
Num of lines: 1187

```



Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0313 Call activar_timer_0() 'Se espera a que responda el palpador
0314 While palpador_pegado_in = 1 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_respuesta_palpador_decim_seg And auto_man_in = 1 And ar:
0315 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0316 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0317 Wend
0318 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_palpador_decim_seg Then
0319     razon_trip = 0x0016
0320     INTCON3.INT2IF = 1
0321 Endif
0322 Call apagar_timer_0()
0323 Call usar_tiempo_0_decim_seg() 'Usado para verificar tiempo para que despegue el palpador
0324 Call activar_timer_0() 'Se espera a que cierre la válvula de carga
0325 While valvula_1_masa_a_cerrada_in = 0 And tiempo_1_decim_seg() <= duracion_max_cierre_valvula_carga_decim_seg And auto_man:
0326 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0327 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0328 Wend
0329 If tiempo_1_decim_seg >= duracion_max_cierre_valvula_carga_decim_seg Then
0330     razon_stop = 0x001a 'Válvula de carga no cierra completamente
0331 Endif
0332 Call apagar_timer_0()
0333 Call usar_tiempo_1_decim_seg() 'Usado para contar tiempo de retardo de cierre de válvula antigoteo
0334 Call activar_timer_0() 'Se espera a que el palpador despegue completamente
0335 While palpador_despegado_in = 0 And tiempo_0_decim_seg() <= duracion_max_despegado_palpador_decim_seg And auto_man_in = 1 A:
0336 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0337 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0338 Wend
0339 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_despegado_palpador_decim_seg Then
0340     razon_trip = 0x0016
0341     INTCON3.INT2IF = 1
0342 Else
0343     razon_stop = 0x0017
0344 Endif
0345 Endif
0346 Endif
0347 While tiempo_1_decim_seg <= retardo_valvula_antigoteo_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0348 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0349 Wend 'Se espera retardo válvula antigoteo (ver tiempo_1_...)
0350 Call apagar_timer_0()
0351 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Cerrar válvula antigoteo y esperar a que responda
0352
Ln 352, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0352 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Cerrar válvula antigoteo y esperar a que responda
0353 Call cerrar_valvula_antigoteo()
0354 Call apagar_timer_0()
0355 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0356 Call activar_timer_0()
0357 While valvula_2_masa_a_abierta_in = 1 And tiempo_0_decim_seg <= duracion_max_respuesta_valvula_antigoteo_decim_seg And auto_
0358 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0359 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0360 Wend
0361 Call apagar_timer_0()
0362 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_valvula_antigoteo_decim_seg Then
0363 If valvula_1_masa_a_cerrada_in = 1 Then
0364 razon_stop = 0x0019
0365 Else
0366 razon_alarma = 0x0064
0367 Endif
0368 Endif
0369 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0370 Call activar_timer_0() 'Se espera a que la válvula antigoteo cierre
0371 While valvula_2_masa_a_cerrada_in = 0 And tiempo_0_decim_seg() <= duracion_max_cierre_valvula_antigoteo_decim_seg And auto_
0372 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0373 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0374 Wend
0375 If tiempo_0_decim_seg() >= duracion_max_cierre_valvula_antigoteo_decim_seg Then
0376 If valvula_1_masa_a_cerrada_in = 1 Then
0377 razon_stop = 0x001b
0378 Else
0379 If valvula_2_masa_a_cerrada_in = 0 Then
0380 razon_trip = 0x001c
0381 INTCON3.INT2IF = 1
0382 Endif
0383 Endif
0384 Endif
0385 velocidad_motor_selec_0123 = 1
0386 Call apagar_timer_0() 'Esperar a hacer el cambio de velocidad
0387 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0388 Call activar_timer_0()
0389 Call obtener_velocidad_de_motor()
0390 While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_min_primer_lavado_div_10 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_alcanzar_velo_
0391

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestrob.as
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock frequency: 20.0MHz
0391 While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_min_primer_lavado_div10 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_alcanzar_velo.
0392 'Codigo no visible.--> And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_alcanzar_velocidad_min_lavado_despues_antigoteo_decim_seg...
0393 'Codigo no visible.--> ...lavado_despues_antigoteo_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0394 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0395 Call obtener_velocidad_de_motor()
0396 If velocidad_motor_selec_0123 = 1 Then
0397 Call evaluar_posibilidad_de_aumentar_velocidad_1_a_2()
0398 Endif
0399 Wend
0400 Call apagar_timer_0()
0401 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_alcanzar_velocidad_min_lavado_despues_antigoteo_decim_seg Then
0402 razon_trip = 0x001d
0403 INTCON3.INT2IF = 1
0404 Endif
0405 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Esperar velocidad de primer lavado
0406 Call apagar_timer_0()
0407 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0408 Call activar_timer_0()
0409 Call obtener_velocidad_de_motor()
0410 While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_primer_lavado_rpm_div10 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_alcanzar_ve.
0411 'Codigo no visible.--> And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_alcanzar_velocidad_primer_lavado_decim_seg...
0412 'Codigo no visible.--> ...And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0413 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0414 Call obtener_velocidad_de_motor()
0415 Wend 'Esto debe mantenerse mientras se alcance la velocidad del primer lavado
0416 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_alcanzar_velocidad_primer_lavado_decim_seg Then
0417 razon_trip = 0x001e
0418 INTCON3.INT2IF = 1
0419 Endif
0420 Endif
0421 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Efectuar el primer lavado
0422 Call apagar_timer_0()
0423 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0424 Call activar_timer_0()
0425 Call abrir_valvula_agua_lavado_masa()
0426 Call abrir_valvula_agua_lavado_goteo()
0427 While tiempo_0_decim_seg < duracion_primer_lavado_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0428 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0429 Wend
0430 Call apagar_timer_0()
Ln 430, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0430 Call apagar_timer_0()
0431 Call cerrar_valvula_agua_lavado_masa()
0432 Call cerrar_valvula_agua_lavado_goteo()
0433 Endif
0434 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Esperar velocidad de segunda lavado
0435 Call apagar_timer_0()
0436 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0437 Call activar_timer_0()
0438 Call obtener_velocidad_de_motor()
0439 While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_espera_seg
0440 'Codigo no visible.--> And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_espera_segundo_lavado_decim_seg...
0441 'Codigo no visible.--> ...And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0442 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0443 Call obtener_velocidad_de_motor()
0444 Wend
0445 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_espera_segundo_lavado_decim_seg Then
0446 razon_trip = 0x001f
0447 INTCON3.INTZIF = 1
0448 Endif
0449 Endif
0450 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Efectuar segundo lavado
0451 Call apagar_timer_0()
0452 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0453 Call activar_timer_0()
0454 Call abrir_valvula_agua_lavado_masa()
0455 While tiempo_0_decim_seg < duracion_segundo_lavado_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0456 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0457 Wend
0458 Call apagar_timer_0()
0459 Call cerrar_valvula_agua_lavado_masa()
0460 Endif
0461 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Esperar velocidad de secado
0462 Call apagar_timer_0()
0463 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0464 Call activar_timer_0()
0465 Call obtener_velocidad_de_motor()
0466 While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_alta_motor_div10 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_espera_velocidad_s
0467 'Codigo no visible.--> And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_espera_velocidad_secado_decim_seg...
0468 'Codigo no visible.--> ...And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0469 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
Ln 469 Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0469 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0470 Call obtener_velocidad_de_motor()
0471 Wend
0472 Call apagar_timer_0()
0473 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_espera_velocidad_secado_decim_seg Then
0474     razon_trip = 0x0020
0475     INTCON3.INT2IF = 1
0476 Endif
0477 Endif
0478 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Esperar tiempo de secado
0479     Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0480     Call activar_timer_0()
0481     While tiempo_0_decim_seg < duracion_secado_decim_seg x And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0482         Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0483     Wend
0484     Call apagar_timer_0()
0485 Endif
0486 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Desacelerar conectando motor en velocidad baja
0487     Call disminuir_velocidad_de_2_a_1()
0488 Endif
0489 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Esperar que disminuya velocidad para poder frenar
0490     Call obtener_velocidad_de_motor()
0491     While velocidad_motor_in_analog_div10 < velocidad_permitida_para_activar_freno_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0492         'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0493         Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0494         Call obtener_velocidad_de_motor()
0495     Wend
0496 Endif
0497 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Desacelerar desconectando motor y activando el freno
0498     Call apagar_motor()
0499     WaitMs duracion_max_desconectar_contactor_mil_seg
0500     Call activar_freno()
0501     Call obtener_velocidad_de_motor()
0502     While velocidad_motor_in_analog_div10 > velocidad_de_descarga_rpm_div10 + velocidad_mayor_a_velocidad_de_descarga_div10 And
0503         'Codigo no visible.--> + velocidad_mayor_a_velocidad_de_descarga_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0504         Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0505         Call obtener_velocidad_de_motor()
0506     Wend
0507     Call desactivar_freno()
0508 Endif
Ln 508, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0508 Endif
0509 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Abrir válvula de fondo
0510 Call apagar_timer_0()
0511 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0512 Call activar_timer_0()
0513 Call abrir_valvula_de_fondo()
0514 While valvula_de_fondo_cerrada_in = 1 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_respuesta_valvula_de_fondo_decim_seg And auto_m
0515 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0516 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0517 Wend 'Se espera a que la válvula de fondo responda
0518 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_valvula_de_fondo_decim_seg Then
0519     razon_trip = 0x0023
0520     INTCON3.INT2IF = 1
0521 Endif
0522 Call apagar_timer_0()
0523 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0524 Call activar_timer_0()
0525 While valvula_de_fondo_abierta_in = 0 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_apertura_valvula_de_fondo_decim_seg And auto_man
0526 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0527 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0528 Wend 'Se espera a que válvula de fondo abra completamente
0529 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_apertura_valvula_de_fondo_decim_seg Then
0530     razon_trip = 0x0023
0531     INTCON3.INT2IF = 1
0532 Endif
0533 Endif
0534 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se desbloquea el raspador
0535 Call apagar_timer_0()
0536 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0537 Call activar_timer_0()
0538 Call desbloquear_raspador()
0539 While raspador_bloqueado_in = 1 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_respuesta_bloqueo_raspador_decim_seg And auto_man_in
0540 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0541 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0542 Wend 'Se espera a que bloqueo responda
0543 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_bloqueo_raspador_decim_seg Then
0544     razon_trip = 0x0027
0545     INTCON3.INT2IF = 1
0546 Endif
0547 Call apagar_timer_0()
    
```

Num of lines: 1187

Ln 547, Col 0

Continuación del apéndice 3.

```
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0547 Call apagar_timer_0()
0548 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0549 Call activar_timer_0() 'Se espera que el bloqueo se desabilite completamente
0550 While raspador_debloqueado_in = 0 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_contraer_bloqueo_raspador_decim_seg And auto_man_in = 1
0551 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0552 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0553 Wend
0554 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_contraer_bloqueo_raspador_decim_seg Then
0555     razon_stop = 0x0028
0556 Endif
0557 Endif
0558 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se pega el raspador
0559 Call apagar_timer_0()
0560 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0561 Call activar_timer_0()
0562 Call pegar_raspador()
0563 While raspador_despago_in = 1 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_respuesta_horizontal_raspador_decim_seg And auto_man_in = 1
0564 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0565 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0566 Wend 'Se espera a que responda el actuador horizontal del raspador
0567 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_horizontal_raspador_decim_seg Then
0568     razon_trip = 0x0029
0569     INTCON3.INT2IF = 1
0570 Endif
0571 Call apagar_timer_0()
0572 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0573 Call activar_timer_0() 'Se espera a que el raspador pegue completamente a la malla
0574 While raspador_pegado_in = 0 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_pegar_raspador_horizontal_decim_seg And auto_man_in = 1
0575 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0576 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0577 Wend
0578 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_pegar_raspador_horizontal_decim_seg Then
0579     razon_trip = 0x002a
0580     INTCON3.INT2IF = 1
0581 Endif
0582 Endif
0583 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Se espera el tiempo de retardo con el raspador arriba
0584 Call apagar_timer_0()
0585 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0586 Call activar_timer_0()
Ln 586, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestrob.as
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0586 Call activar_timer_0()
0587 While tiempo_0_decim_seg < duracion_raspador_arriba_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0588 Call conectar_velocidad_de_descarga_si_es_necesario_o_apagar_motor()
0589 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0590 Wend
0591 Call apagar_timer_0()
0592 Endif
0593 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then 'Bajar raspador
0594 Call apagar_timer_0()
0595 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0596 Call activar_timer_0()
0597 Call bajar_raspador() 'Se espera a que responda el actuador vertical del raspador
0598 While raspador_arriba_in = 1 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_respuesta_vertical_raspador_decim_seg And auto_man_in =
0599 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0600 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0601 Wend
0602 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_respuesta_vertical_raspador_decim_seg Then
0603 razon_trip = 0x002b
0604 INCON3.INI2IF = 1
0605 Endif
0606 Call apagar_timer_0()
0607 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0608 Call activar_timer_0()
0609 While raspador_abajo_in = 0 And tiempo_0_decim_seg < duracion_max_bajar_raspador_vertical_configmec_decim_seg And auto_man
0610 'Codigo no visible.--> And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0611 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0612 Wend 'Se espera a que baje completamente el raspador
0613 If tiempo_0_decim_seg >= duracion_max_bajar_raspador_vertical_configmec_decim_seg Then
0614 razon_trip = 0x002c
0615 INCON3.INI2IF = 1
0616 Endif
0617 Call apagar_timer_0()
0618 Endif
0619 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
0620 Call apagar_timer_0()
0621 Call usar_tiempo_0_decim_seg()
0622 Call activar_timer_0()
0623 While tiempo_0_decim_seg < duracion_raspador_abajo_decim_seg And auto_man_in = 1 And arr_per = 1
0624 Call evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
0625 Wend 'Se espera el tiempo de retardo con el raspador abajo

```

Lin 625, Col 0 Num of lines: 1187



Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0625 Wend 'Se espera el tiempo de retardo con el raspador abajo
0626 Endif
0627 arr_per = 0 'No se permite el arranque, hasta que se generen las condiciones de arranque
0628 If razon_stop > 0 Then
0629   razon_stop = 0
0630   arr_per = 0
0631   start_presionado = 0
0632   orden_w = 0x00eb
0633   Call enviar_orden_a_esclavo()
0634 Endif
0635 Else
0636   If orden_w < 0x00ca Or orden_w > 0x00ca Then
0637     orden_w = 0x00ca 'Mensaje para que el usuario presione Start
0638     If auto_man_in = 1 Then Call enviar_orden_a_esclavo()
0639   Endif
0640 Endif 'If start_presionado = 1 And arr_per = 1 And auto_man_in = 1 Then
0641 Wend 'While de auto_man = 1
0642 Goto principal
0643 End
0644 On High Interrupt
0645 Save System
0646 If INCON3.INT2IF = 1 Then
0647   orden_w = 0x03e8
0648   Call enviar_orden_a_esclavo()
0649   arr_per = 0
0650   If stop_emergencia_in = 1 Then
0651     orden_w = 0x00e9
0652     Call enviar_orden_a_esclavo()
0653   Else
0654     orden_w = 0x00e8
0655     Call enviar_orden_a_esclavo()
0656   Endif
0657   If razon_trip > 0 Then
0658     orden_w = 0x00ea
0659     Call enviar_orden_a_esclavo()
0660   Endif
0661   If velocidad_motor_selec_0123 = 2 Then
0662     Call obtener_velocidad_de_motor()
0663     If velocidad_motor_in_analog_div10 > velocidad_permitida_para_activar_freno_div10 Then
0664       Call arrancar_motor_velocidad_baja()
0665     Endif
0666   Endif
0667 End
Ln 664, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0664 Call arrancar_motor_velocidad_baja()
0665 Endif
0666 While velocidad_motor_in analog_div10 > velocidad_permitida_para_activar_freno_div10
0667 Call obtener_velocidad_de_motor() 'Espera a activar freno
0668 Wend
0669 Endif
0670 Call apagar_motor()
0671 WaitMs duracion_max_desconectar_contactor_mil_seg
0672 arranque_motor_permitido_out = 0
0673 Call activar_freno()
0674 start_presionado = 0
0675 While stop_emergencia_in = 0 'Hongo de emergencia aun presionado
0676 WaitMs 1000
0677 orden_w = 0x01a4
0678 Call enviar_orden_a_esclavo()
0679 Wend
0680 Call desactivar_freno()
0681 WaitMs 250 'Estabilización señal hongo de emergencia
0682 arranque_motor_permitido_out = 1
0683 INTCN3.INT2IF = 0 'Deshabilita bandera para poder regresar
0684 Endif
0685 Resume
0686 On Low Interrupt
0687 Save System
0688 If INTCN.TMR0IF = 1 Then
0689 TMR0H = 0x3c '15536 = 0x3cb0
0690 TMR0L = 0xb0
0691 conteo_0 = conteo_0 + 1
0692 If conteo_0 = 10 Then
0693 conteo_0 = 0
0694 tiempo_0_decim_seg = tiempo_0_decim_seg + 1
0695 Endif
0696 conteo_1 = conteo_1 + 1
0697 If conteo_1 = 10 Then
0698 conteo_1 = 0
0699 tiempo_1_decim_seg = tiempo_1_decim_seg + 1
0700 Endif
0701 If razon_trip > 0 Then razon_trip = 0
0702 INTCN.TMR0IF = 0
0703 Endif
Ln 703, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0703 Endif
0704 Resume
0705 inpc_outpic_ade_r:
0706 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0000, UsbIoBuffer(0)
0707 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0001, UsbIoBuffer(1)
0708 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0002, UsbIoBuffer(2)
0709 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0003, UsbIoBuffer(3)
0710 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0004, UsbIoBuffer(4)
0711 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0005, UsbIoBuffer(5)
0712 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0006, UsbIoBuffer(6)
0713 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0007, UsbIoBuffer(7)
0714 tiempo_0_decim_seg = 0
0715 Return
0716 outpc_inpic_r:
0717 Select Case UsbIoBuffer(0)
0718 Case 50 'Escribir minutos
0719 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0000, UsbIoBuffer(1)
0720 Case 51 'Escribir hora
0721 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0001, UsbIoBuffer(1)
0722 Case 52 'Escribir fecha
0723 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0002, UsbIoBuffer(1)
0724 Case 53 'Escribir mes
0725 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0003, UsbIoBuffer(1)
0726 Case 54 'Escribir año
0727 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0004, UsbIoBuffer(1)
0728 Case 55 'Escribir duracion_lavado_mallas_decim_seg
0729 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0005, UsbIoBuffer(1)
0730 Case 56 'Escribir velocidad_de_carga_rpm_div10
0731 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0006, UsbIoBuffer(1)
0732 Case 57 'Escribir retardo_valvula_antigoteo_decim_seg
0733 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0007, UsbIoBuffer(1)
0734 Case 58 'Escribir velocidad_primer_lavado_rpm_div10
0735 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0008, UsbIoBuffer(1)
0736 Case 59 'Escribir duracion_primer_lavado_decim_seg
0737 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x0009, UsbIoBuffer(1)
0738 Case 60 'Escribir velocidad_segundo_lavado_rpm_div10
0739 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000a, UsbIoBuffer(1)
0740 Case 61 'Escribir duracion_segundo_lavado_decim_seg
0741 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000b, UsbIoBuffer(1)
0742 Case 62 'Escribir duracion_secado_decim_seg
Ln 742, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0742 Case 62 'Escribir duracion_secado_decim_seg
0743 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000c, UsbIoBuffer(1)
0744
0745 Case 63 'Escribir velocidad de descarga rpm div10
0746 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000d, UsbIoBuffer(1)
0747
0748 Case 64 'Escribir duracion_raspador_arriba_decim_seg
0749 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000e, UsbIoBuffer(1)
0750
0751 Case 65 'Escribir duracion_raspador_abajo_decim_seg
0752 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xa0, 0x000f, UsbIoBuffer(1)
0753
0754 Case 100 'Actualizar fecha y hora
0755 minutos = UsbIoBuffer(1)
0756 Call ds1307_escribir_minutos()
0757 horas = UsbIoBuffer(2)
0758 Call ds1307_escribir_horas_24hr()
0759 fecha = UsbIoBuffer(3)
0760 Call ds1307_escribir_fecha()
0761 mes = UsbIoBuffer(4)
0762 Call ds1307_escribir_mes()
0763 anio = UsbIoBuffer(5)
0764 Call ds1307_escribir_anio()
0765 Case 255
0766 terminar_comunicacion_usb_desde_software = 1
0767
0768 Case Else
0769 EndSelect
0770 Call lectura_de_parametros_en_memoria_eprom_24lc256()
0771 tiempo_0_decim_seg = 0
0772 Return
0773 inpc outpic ade f:
0774 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0008, UsbFtBuffer(0)
0775 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x0009, UsbFtBuffer(1)
0776 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000a, UsbFtBuffer(2)
0777 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000b, UsbFtBuffer(3)
0778 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000c, UsbFtBuffer(4)
0779 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000d, UsbFtBuffer(5)
0780 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000e, UsbFtBuffer(6)
0781 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xa1, 0x000f, UsbFtBuffer(7)
0782 tiempo_0_decim_seg = 0
0783 Return
0784 outpc_inpic_f:
0785 Return
0786 Proc inicializacion_de_puertos_de_salida()
0787
0788
0789
0790
0791
0792
0793
0794
0795
0796
0797
0798
0799
0800
0801
0802
0803
0804
0805
0806
0807
0808
0809
0810
0811
0812
0813
0814
0815
0816
0817
0818
0819
0820
0821
0822
0823
0824
0825
0826
0827
0828
0829
0830
0831
0832
0833
0834
0835
0836
0837
0838
0839
0840
0841
0842
0843
0844
0845
0846
0847
0848
0849
0850
0851
0852
0853
0854
0855
0856
0857
0858
0859
0860
0861
0862
0863
0864
0865
0866
0867
0868
0869
0870
0871
0872
0873
0874
0875
0876
0877
0878
0879
0880
0881
0882
0883
0884
0885
0886
0887
0888
0889
0890
0891
0892
0893
0894
0895
0896
0897
0898
0899
0900
Ln 781, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0781 Proc inicializacion_de_puertos_de_salida()
0782 RE.1 = 0 'Arranque de motor NO permitido
0783 RE.2 = 0 'LED indicador en placa
0784 End Proc
0785 Proc declaracion_de_puertos_de_entrada_y_salida()
0786 TRISA.0 = 1 'Entrada analogica AN0
0787 TRISA.1 = 1 'Entrada analogica AN1
0788 TRISA.2 = 1 'Entrada analogica AN2
0789 TRISA.3 = 1 'Entrada analogica AN3
0790 TRISA.4 = 1
0791 TRISA.5 = 1 'Entrada analogica AN4
0792 TRISB = 0xff 'SDA y SCI configurados como entradas
0793 TRISC.0 = 1
0794 TRISC.1 = 1
0795 TRISC.2 = 1
0796 TRISC.6 = 1
0797 TRISC.7 = 1
0798 TRISD = 0xff
0799 'TRISE.0 //Configurado para DS1820
0800 TRISE.1 = 0
0801 TRISE.2 = 0
0802 End Proc
0803 Proc configuracion_terminales_analogicas()
0804 ADCON1 = 0x0a '% 00 00 1010 (AN0-AN4)
0805 End Proc
0806 Proc configuracion_ds1820()
0807 Define 1WIRE_REG = PORTE
0808 Define 1WIRE_BIT = 0
0809 DS1820Start
0810 WaitMs 1000
0811 End Proc
0812 Proc configuracion_disparos()
0813 RCON.IPEN = 1 'Habilita niveles de prioridad en interrupciones
0814 INTCON.7 = 1 'GIE/GIEH 'Habilita todas las interrupciones
0815 INTCON2.INTEDG2 = 0 'INT2 activado con una IPN
0816 INTCON3.INTZIF = 1 'bit 7, prioridad alta a INT2
0817 INTCON3.INTZIE = 1 'bit 4, INT2 habilitada
0818 INTCON3.INTZIF = 0 'bit 1, no ha ocurrido interrupción
0819 End Proc
0820 Proc configuracion_timer_0() 'INTCON.7 = 1 'Hecho anteriormente
Ln 820 Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroler: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz

0820 Proc configuracion_timer_0() 'INTCON.7 = 1 'Hecho anteriormente
0821 INTCON.6 = 1 'PEIE/GIE1 '1 = Habilita todas las interrupciones de prioridad baja de los perifericos
0822 INTCON.TMR0IF = 0 '1 = El registro de TMR0 se ha desbordado
0823 INTCON2.TMR0IF = 0 '0 = Prioridad baja
0824 T0CON = 0x08 '0000x 1000
0825 End Proc
0826 Proc inicializacion_usb()
0827   UsbSetVendorId 0x1080
0828   UsbSetProductId 0x1000
0829   UsbSetVersionNumber 0
0830   UsbSetManufacturerString "Lincoln de Leon"
0831   UsbSetProductString "BatchCentPar"
0832   UsbSetSerialNumberString "1506112222"
0833   UsbOnInGosub inpc_outpic_ade_x 'InPcOutPicBeforeSendingR
0834   UsbOnInGosub outpc_inpic_r 'OutPcInPicR
0835   UsbOnFtInGosub inpc_outpic_ade_f 'InPcOutPicBeforeSendingF
0836   UsbOnFtOutGosub outpc_inpic_f 'OutPcInPicF
0837 End Proc
0838 Proc lectura_de_parametros_en_memoria_eprom_24lc256() 'Leer = 1, Escribir = 0
0839 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x0005, duracion_lavado_maillas_decim_seg
0840 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x0006, velocidad_de_carga_rpm_div10
0841 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x0007, retardo_valvula_antigoteo_decim_seg
0842 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x0008, velocidad_primer_lavado_rpm_div10
0843 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x0009, duracion_primer_lavado_decim_seg
0844 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000a, velocidad_segundo_lavado_rpm_div10
0845 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000b, duracion_segundo_lavado_decim_seg
0846 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000c, duracion_secado_decim_seg x.LB 'Ver final de estructura
0847 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000d, velocidad_de_descarga_rpm_div10
0848 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000e, duracion_raspador_arriba_decim_seg
0849 I2CRead i2csda, i2cscl, 0x01, 0x000f, duracion_raspador_abajo_decim_seg
0850 velocidad_minima_de_descarga_div10 = velocidad_de_descarga_rpm_div10 - 1
0851 velocidad_maxima_de_descarga_div10 = velocidad_de_descarga_rpm_div10 + 1
0852 duracion_secado_decim_seg x = duracion_secado_decim_seg_x + 250 'Se suma 25 seg que se restaron en programa de la PC
0853 End Proc
0854 Proc generar_condiciones_de_arranque_sin_bloqueo_rasp()
0855   velocidad_motor_selec_0123 = 0
0856   orden_w = 0x00c8
0857   Call enviar_orden_a_esclavo()
0858   arr_per = 0
0859 End Proc
Lin 859, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0859 End Proc
0860 Proc revisar_condiciones_de_arranque()
0861 arr_per = 0
0862 Call obtener_velocidad_de_motor()
0863 If velocidad_motor_in_analog_div10 <= velocidad_de_carga_rpm_div10 Then 'Evaluar velocidad motor
0864 arr_per = 1
0865 Else
0866 orden_w = 0x00cb
0867 Call enviar_orden_a_esclavo()
0868 WaitMs 500
0869 Endif
0870 If arr_per = 1 And valvula_1_masa_a_cerrada_in = 0 Then 'Evaluar valvula de carga
0871 arr_per = 0
0872 orden_w = 0x00cc
0873 Call enviar_orden_a_esclavo()
0874 WaitMs 500
0875 Endif
0876 If arr_per = 1 And valvula_2_masa_a_cerrada_in = 0 Then 'Evaluar valvula antigoteo
0877 arr_per = 0
0878 orden_w = 0x00cd
0879 Call enviar_orden_a_esclavo()
0880 WaitMs 500
0881 Endif
0882 If arr_per = 1 And palpador_despegado_in = 0 Then 'Evaluar posicion palpador
0883 arr_per = 0
0884 orden_w = 0x00ce
0885 Call enviar_orden_a_esclavo()
0886 WaitMs 500
0887 Endif
0888 If arr_per = 1 And valvula_de_fondo_cerrada_in = 0 Then 'Evaluar válvula de fondo
0889 arr_per = 0
0890 orden_w = 0x00cf
0891 Call enviar_orden_a_esclavo()
0892 WaitMs 500
0893 Endif
0894 If arr_per = 1 And raspador_bloqueado_in = 0 Then 'Evaluar bloqueo raspador
0895 arr_per = 0
0896 orden_w = 0x00d0
0897 Call enviar_orden_a_esclavo()
0898 WaitMs 500
Ln 898, Col 0
Num of lines: 1187

```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0898      WaitMs 500
0899      Endif
0900      If arr_per = 1 And raspador_arriba_in = 0 Then 'Evaluar raspador arriba
0901          arr_per = 0
0902          orden_w = 0x00d1
0903          Call enviar_orden_a_esclavo()
0904          WaitMs 500
0905      Endif
0906      If arr_per = 1 And raspador_despegado_in = 0 Then 'Evaluar raspador despegado
0907          arr_per = 0
0908          orden_w = 0x00d2
0909          Call enviar_orden_a_esclavo()
0910          WaitMs 500
0911      Endif
0912      If arr_per = 1 Then 'Evaluar temperatura ambiente tarjeta electrónica
0913          DS1820Start
0914          WaitMs 1000
0915          DS1820Readf temperatura_ambiente, signo_temperatura_ambiente
0916          If signo_temperatura_ambiente = 0xff Then
0917              arr_per = 0
0918              orden_w = 0x00d5 'Escribir lcd "T amb bajo 0"
0919              Call enviar_orden_a_esclavo()
0920              WaitMs 500
0921          Else
0922              If temperatura_ambiente > 0x8c Then '140/2 = 70°C (8*16+12)/2
0923                  arr_per = 0
0924                  orden_w = 0x00d6 'Escribir lcd "Temperatura --ambiente > 70°C"
0925                  Call enviar_orden_a_esclavo()
0926                  WaitMs 500
0927              Endif
0928          Endif
0929      Endif
0930      If arr_per = 1 Then 'Evaluar temperatura_agua_in_analog
0931          Adcin 1, temperatura_agua_in_analog
0932          temperatura_agua_in_analog = (50 / 16) * ((15000 * temperatura_agua_in_analog) / (1023 * r_in_analog_c) - 20) + 100
0933          If temperatura_agua_in_analog < 70 Then
0934              arr_per = 0
0935              orden_w = 0x00da
0936              datos = temperatura_agua_in_analog
0937              Call enviar_orden_a_esclavo()
Ln 937 Col 0
Num of lines: 1187

```



Continuación del apéndice 3.

```
BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0937 Call enviar_orden_a_esclavo()
0938 WaitMs 500
0939 Endif
0940 Endif
0941 If arr_per = 1 Then 'Evaluar presion_agua_in_analog
0942   Adcin 2, presion_agua_in_analog
0943   presion_agua_in_analog = (50 / 16) * ((5000 * presion_agua_in_analog) / (1023 * r_in_analog_c)) - 20) + 110
0944   If presion_agua_in_analog < 80 Then
0945     arr_per = 0
0946     orden_w = 0x00db
0947     datos = presion_agua_in_analog
0948     Call enviar_orden_a_esclavo()
0949     WaitMs 500
0950   Endif
0951   If presion_agua_in_analog > 100 Then
0952     arr_per = 0
0953     orden_w = 0x00dc
0954     datos = presion_agua_in_analog
0955     Call enviar_orden_a_esclavo()
0956     WaitMs 500
0957   Endif
0958 Endif
0959 If arr_per = 1 Then 'Evaluar presion_aire_in_analog
0960   Adcin 3, presion_aire_in_analog
0961   presion_aire_in_analog = (50 / 16) * ((5000 * presion_aire_in_analog) / (1023 * r_in_analog_c)) - 20) + 110
0962   If presion_aire_in_analog < 85 Then '< a 6 bar (1 bar = 14.5 psi)
0963     arr_per = 0
0964     orden_w = 0x00dd
0965     datos = presion_aire_in_analog
0966     Call enviar_orden_a_esclavo()
0967     WaitMs 500
0968   Endif
0969 Endif
0970 End Proc
0971 Proc obtener_velocidad_de_motor() 'Este valor de velocidad esta dividido entre 10
0972   Adcin 0, velocidad_motor_in_analog_div10
0973   velocidad_motor_in_analog_div10 = (rpm_alta_c / 160) * ((5000 * velocidad_motor_in_analog_div10) / (1023 * r_in_analog_c) - 4)
0974 End Proc
0975 Proc enviar_orden_a_esclavo()
0976   Hserout orden_w, datos
Ln 976, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```
BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0976 Hserout orden_w, datos
0977 WaitMs espera_envio_comunicacion_serial
0978 End Proc
0979 Proc lavar_malla_y_arrancar_motor_vel_baja()
0980 If velocidad_motor_selec 0123 = 0 Then
0981 Call arrancar_motor_velocidad_baja()
0982 orden_w = 0x0136
0983 Call enviar_orden_a_esclavo()
0984 Endif
0985 End Proc
0986 Proc arrancar_motor_velocidad_baja()
0987 velocidad_motor_selec 0123 = 1
0988 orden_w = 0x012c
0989 Call enviar_orden_a_esclavo()
0990 End Proc
0991 Proc apagar_lavado_de_mallas()
0992 orden_w = 0x0137
0993 Call enviar_orden_a_esclavo()
0994 End Proc
0995 Proc abrir_valvula_antigoteco()
0996 orden_w = 0x0140
0997 Call enviar_orden_a_esclavo()
0998 End Proc
0999 Proc pegar_palpador()
1000 orden_w = 0x014a
1001 Call enviar_orden_a_esclavo()
1002 End Proc
1003 Proc abrir_valvula_de_carga()
1004 orden_w = 0x0154
1005 Call enviar_orden_a_esclavo()
1006 End Proc
1007 Proc despegar_palpador()
1008 orden_w = 0x014b
1009 Call enviar_orden_a_esclavo()
1010 End Proc
1011 Proc cerrar_valvula_de_carga()
1012 orden_w = 0x0155
1013 Call enviar_orden_a_esclavo()
1014 End Proc
1015 Proc apagar_motor()
Ln 1015, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
1015 Proc apagar_motor()
1016   velocidad_motor_selec_0123 = 0
1017   orden_w = 0x012F
1018   Call enviar_orden_a_esclavo()
1019 End Proc
1020 Proc arrancar_motor_velocidad_alta()
1021   If velocidad_motor_selec_0123 = 0 Then
1022     velocidad_motor_selec_0123 = 2
1023     orden_w = 0x012d
1024     Call enviar_orden_a_esclavo()
1025   Endif
1026 End Proc
1027 Proc cerrar_valvula_antigoteo()
1028   orden_w = 0x0141
1029   Call enviar_orden_a_esclavo()
1030 End Proc
1031 Proc abrir_valvula_agua_lavado_masa()
1032   orden_w = 0x015e
1033   Call enviar_orden_a_esclavo()
1034 End Proc
1035 Proc abrir_valvula_agua_lavado_goteo()
1036   orden_w = 0x0168
1037   Call enviar_orden_a_esclavo()
1038 End Proc
1039 Proc cerrar_valvula_agua_lavado_masa()
1040   orden_w = 0x015f
1041   Call enviar_orden_a_esclavo()
1042 End Proc
1043 Proc cerrar_valvula_agua_lavado_goteo()
1044   orden_w = 0x0169
1045   Call enviar_orden_a_esclavo()
1046 End Proc
1047 Proc evaluar_posibilidad_de_aumentar_velocidad_1_a_2()
1048   Call obtener_velocidad_de_motor()
1049   If velocidad_motor_in_analog_div10 >= velocidad_baja_motor_div10 Then
1050     Call apagar_motor()
1051     WaitMs duracion_max_desconectar_contactor_mil_seg
1052     If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
1053       Call arrancar_motor_velocidad_alta()
1054     Endif

```

Num of lines: 1187

Ln 1054, Col 0

Continuación del apéndice 3.

```
BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
1054 Endif
1055 Endif
1056 End Proc
1057 Proc disminuir_velocidad_de_2_a_1()
1058 Call apagar_motor()
1059 WaitMs duracion_max_desconectar_contactor_mil_seg
1060 If auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
1061 Call arrancar_motor_velocidad_baja()
1062 Endif
1063 End Proc
1064 Proc activar_freno()
1065 orden_w = 0x0172
1066 Call enviar_orden_a_esclavo()
1067 End Proc
1068 Proc desactivar_freno()
1069 orden_w = 0x0173
1070 Call enviar_orden_a_esclavo()
1071 End Proc
1072 Proc abrir_valvula_de_fondo()
1073 orden_w = 0x017c
1074 Call enviar_orden_a_esclavo()
1075 End Proc
1076 Proc desbloquear_raspador()
1077 orden_w = 0x0186
1078 Call enviar_orden_a_esclavo()
1079 End Proc
1080 Proc pegar_raspador()
1081 orden_w = 0x0190
1082 Call enviar_orden_a_esclavo()
1083 End Proc
1084 Proc arrancar_motor_velocidad_de_descarga()
1085 If velocidad_motor_selec_0123 = 0 Then
1086 velocidad_motor_selec_0123 = 3
1087 orden_w = 0x012e
1088 Call enviar_orden_a_esclavo()
1089 Endif
1090 End Proc
1091 Proc conectar_velocidad_de_descarga_si_es_necesario_o_apagar_motor()
1092 Call obtener_velocidad_de_motor()
1093 If velocidad_motor_in_analog_div10 <= velocidad_minima_de_descarga_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
Lin 1083, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550, Clock frequency: 20.0MHz
1093 If velocidad_motor_in_analog_div10 <= velocidad_minima_de_descarga_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
1094 Call arrancar_motor_velocidad_de_descarga()
1095 Endif
1096 If velocidad_motor_in_analog_div10 >= velocidad_maxima_de_descarga_div10 And auto_man_in = 1 And arr_per = 1 Then
1097 Call apagar_motor()
1098 Endif
1099 End Proc
1100 Proc bajar_raspador()
1101 If raspador_pegado_in = 1 Then
1102 orden_w = 0x019a
1103 Call enviar_orden_a_esclavo()
1104 Endif
1105 End Proc
1106 Proc despegar_raspador() 'La rutina para subir raspador se ejecuta cuando se generan las condiciones de arranque
1107 orden_w = 0x0191
1108 Call enviar_orden_a_esclavo()
1109 End Proc
1110 Proc evaluar_si_se_ha_presionado_stop_y_accionar()
1111 Adcin 4, start_stop_in_analog
1112 If arr_per = 1 And start_stop_in_analog > btn_2_min_c And start_stop_in_analog < btn_2_max_c Then
1113 orden_w = 0x03e9
1114 Call enviar_orden_a_esclavo()
1115 orden_w = 0x00e7
1116 Call enviar_orden_a_esclavo()
1117 arr_per = 0
1118 start_presionado = 0
1119 Endif
1120 End Proc
1121 Proc bloquear_raspador()
1122 orden_w = 0x0187
1123 Call enviar_orden_a_esclavo()
1124 End Proc
1125 Proc indicar_comunicacion_usb_en_proceso()
1126 orden_w = 0x02bc
1127 Call enviar_orden_a_esclavo()
1128 WaitMs 1000
1129 orden_w = 0x02bd
1130 Call enviar_orden_a_esclavo()
1131 End Proc
1132 Proc indicar_comunicacion_usb_establecida()
1133 End Proc
Ln 1132, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```

BASIC Compiler - maestro.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
1132 Proc indicar_comunicacion_usb_establecida()
1133   orden_w = 0x02bc
1134   Call enviar_orden_a_esclavo()
1135   orden_w = 0x0118
1136   Call enviar_orden_a_esclavo()
1137 End Proc
1138 Proc indicar_comunicacion_usb_terminada()
1139   orden_w = 0x0119
1140   Call enviar_orden_a_esclavo()
1141   orden_w = 0x02bd
1142   Call enviar_orden_a_esclavo()
1143   WaitMs 1000
1144   orden_w = 0x02bc
1145   Call enviar_orden_a_esclavo()
1146   WaitMs 500
1147   orden_w = 0x02bd
1148   Call enviar_orden_a_esclavo()
1149 End Proc
1150 Proc activar_timer_0()
1151   INTCON.TMR0IF = 0 'No ha ocurrido desbordamiento de TMRO
1152   TMR0H = 0x3c '15536 = 0x3cb0
1153   TMR0L = 0xb0
1154   INTCON.TMR0IE = 1 'Habilita interrupcion de TMRO
1155   TOCON.TMR0ON = 1 'Empieza el conteo en TMRO
1156 End Proc
1157 Proc apagar_timer_0()
1158   TOCON.TMR0ON = 0 'Conteo en TMRO apagado
1159   INTCON.TMR0IF = 0 'No ha ocurrido desbordamiento de TMRO
1160   INTCON.TMR0IE = 0 'Desabilita interrupcion de TMRO
1161 End Proc
1162 Proc usar_tiempo_0_decim_seg()
1163   tiempo_0_decim_seg = 0
1164   conteo_0 = 0
1165 End Proc
1166 Proc usar_tiempo_1_decim_seg()
1167   tiempo_1_decim_seg = 0
1168   conteo_1 = 0
1169 End Proc
1170 Proc inicio_pantalla()
1171   Call ds1307_leer_hora_completa()
Ln 1171, Col 0
Num of lines: 1187
```

Continuación del apéndice 3.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - maestro.bas
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
1148 Call enviar_orden_a_esclavo()
1149 End Proc
1150 Proc activar_timer_0()
1151 INTCON.TMR0IF = 0 'No ha ocurrido desbordamiento de TMR0
1152 TMR0H = 0x3c '15536 = 0x3cb0
1153 TMR0L = 0xb0
1154 INTCON.TMR0IE = 1 'Habilita interrupcion de TMR0
1155 TOCON.TMR0ON = 1 'Empieza el conteo en TMR0
1156 End Proc
1157 Proc apagar_timer_0()
1158 TOCON.TMR0ON = 0 'Conteo en TMR0 apagado
1159 INTCON.TMR0IF = 0 'No ha ocurrido desbordamiento de TMR0
1160 INTCON.TMR0IE = 0 'Desabilita interrupcion de TMR0
1161 End Proc
1162 Proc usar_tiempo_0_decim_seg()
1163 tiempo_0_decim_seg = 0
1164 conteo_0 = 0
1165 End Proc
1166 Proc usar_tiempo_1_decim_seg()
1167 tiempo_1_decim_seg = 0
1168 conteo_1 = 0
1169 End Proc
1170 Proc inicio_pantalla()
1171 Call ds1307_leer_hora_completa()
1172 Call ds1307_leer_fecha_completa()
1173 orden_w = 0x006f
1174 Call enviar_orden_a_esclavo()
1175 orden_w = 0x0070
1176 Call enviar_orden_a_esclavo()
1177 orden_w = 0x0071
1178 Call enviar_orden_a_esclavo()
1179 orden_w = 0x0073
1180 Call enviar_orden_a_esclavo()
1181 orden_w = 0x0074
1182 Call enviar_orden_a_esclavo()
1183 orden_w = 0x0075
1184 Call enviar_orden_a_esclavo()
1185 orden_w = 0x0066
1186 Call enviar_orden_a_esclavo()
1187 End Proc
Jun 1187, Col 0 Num of lines: 1187
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Código fuente para uso del circuito integrado DS1307. El nombre del archivo es: instrucciones\_ds1307.bas

```

BASIC Compiler - instrucciones_ds1307.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0001 'Archivo usado para DS1307 con PIC 18F4550 ((R/'W = 1/0))
0002 Dim temp12c As Byte
0003 Dim segundos As Byte
0004 Dim minutos As Byte
0005 Dim horas As Byte
0006 Dim fecha As Byte
0007 Dim mes As Byte
0008 Dim anio As Byte
0009 '#### Ajustes ###
0010 Proc ds1307_ajuste_sqwout_lhz() 'Ajuste SQWE/OUT 1 Hz (R/'W = 1/0 DS1307)
0011 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x07, 0x10
0012 End Proc
0013 '#### Leer ###
0014 Proc ds1307_leer_segundos()
0015 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x00, segundos
0016 temp12c = segundos
0017 segundos = ShiftLeft(segundos, 4)
0018 segundos = ShiftRight(segundos, 4)
0019 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 1)
0020 temp12c = ShiftRight(temp12c, 5)
0021 segundos = 10 * temp12c + segundos
0022 End Proc
0023 Proc ds1307_leer_minutos()
0024 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x01, minutos
0025 temp12c = minutos
0026 minutos = ShiftLeft(minutos, 4)
0027 minutos = ShiftRight(minutos, 4)
0028 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 1)
0029 temp12c = ShiftRight(temp12c, 5)
0030 minutos = 10 * temp12c + minutos
0031 End Proc
0032 Proc ds1307_leer_horas_24hr()
0033 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x02, horas
0034 temp12c = horas
0035 horas = ShiftLeft(horas, 4)
0036 horas = ShiftRight(horas, 4)
0037 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 2)
0038 temp12c = ShiftRight(temp12c, 6)
0039 horas = 10 * temp12c + horas
0040 End Proc
Ln 40, Col 0
Num of lines: 130

```



Continuación del apéndice 4.

```

BASIC Compiler - instrucciones_ds1307.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0040 End Proc
0041 Proc ds1307_leer_fecha()
0042 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x04, fecha
0043 tempi2c = fecha
0044 fecha = ShiftLeft(fecha, 4)
0045 fecha = ShiftRight(fecha, 4)
0046 tempi2c = ShiftLeft(tempi2c, 2)
0047 tempi2c = ShiftRight(tempi2c, 6)
0048 fecha = 10 * tempi2c + fecha
0049 End Proc
0050 Proc ds1307_leer_mes()
0051 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x05, mes
0052 tempi2c = mes
0053 mes = ShiftLeft(mes, 4)
0054 mes = ShiftRight(mes, 4)
0055 tempi2c = ShiftLeft(tempi2c, 3)
0056 tempi2c = ShiftRight(tempi2c, 7)
0057 mes = 10 * tempi2c + mes
0058 End Proc
0059 Proc ds1307_leer_anio()
0060 I2CRead i2csda, i2cscl, 0xd1, 0x06, anio
0061 tempi2c = anio
0062 anio = ShiftLeft(anio, 4)
0063 anio = ShiftRight(anio, 4)
0064 tempi2c = ShiftRight(tempi2c, 4)
0065 anio = 10 * tempi2c + anio
0066 End Proc
0067 ##### Escribir ###
0068 Proc ds1307_escribir_segundos()
0069 tempi2c = segundos / 10 'decenas
0070 segundos = segundos - 10 * tempi2c 'unidades
0071 tempi2c = ShiftLeft(tempi2c, 4)
0072 segundos = tempi2c + segundos 'El ajuste CH no es necesario
0073 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x00, segundos
0074 End Proc
0075 Proc ds1307_escribir_minutos()
0076 tempi2c = minutos / 10 'decenas
0077 minutos = minutos - 10 * tempi2c 'unidades
0078 tempi2c = ShiftLeft(tempi2c, 4)
0079 minutos = tempi2c + minutos
<
Ln 79, Col 0
Num of lines: 130

```

Continuación del apéndice 4.

```

BASIC Compiler - instrucciones_ds1307.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0079 minutos = temp12c + minutos
0080 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x01, minutos
0081 End Proc
0082 Proc ds1307_escribir_horas_24hr()
0083 temp12c = horas / 10 'decenas
0084 horas = horas - 10 * temp12c 'unidades
0085 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0086 horas = temp12c + horas 'El bit 7 esta en cero(mod0 24hr)
0087 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x02, horas
0088 End Proc
0089 Proc ds1307_escribir_fecha()
0090 temp12c = fecha / 10 'decenas
0091 fecha = fecha - 10 * temp12c 'unidades
0092 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0093 fecha = temp12c + fecha
0094 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x04, fecha
0095 End Proc
0096 Proc ds1307_escribir_mes()
0097 temp12c = mes / 10 'decenas
0098 mes = mes - 10 * temp12c 'unidades
0099 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0100 mes = temp12c + mes
0101 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x05, mes
0102 End Proc
0103 Proc ds1307_escribir_anio()
0104 temp12c = anio / 10 'decenas
0105 anio = anio - 10 * temp12c 'unidades
0106 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0107 anio = temp12c + anio
0108 I2CWrite i2csda, i2cscl, 0xd0, 0x06, anio
0109 End Proc
0110 '#### Adicionales ####
0111 Proc ds1307_leer_hora_completa()
0112 Call ds1307_leer_segundos()
0113 Call ds1307_leer_minutos()
0114 Call ds1307_leer_horas_24hr()
0115 End Proc
0116 Proc ds1307_leer_fecha_completa()
0117 Call ds1307_leer_fecha()
0118 Call ds1307_leer_mes()
Lin 118, Col 0
Num of lines: 130

```

Continuación del apéndice 4.

```
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0091 fecha = fecha - 10 * temp12c 'unidades
0092 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0093 fecha = temp12c + fecha
0094 I2CWrite i2csda, i2csci, 0xd0, 0x04, fecha
0095 End Proc
0096 Proc dsi1307 escribir_mes()
0097 temp12c = mes / 10 'decenas
0098 mes = mes - 10 * temp12c 'unidades
0099 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0100 mes = temp12c + mes
0101 I2CWrite i2csda, i2csci, 0xd0, 0x05, mes
0102 End Proc
0103 Proc dsi1307 escribir_anio()
0104 temp12c = anio / 10 'decenas
0105 anio = anio - 10 * temp12c 'unidades
0106 temp12c = ShiftLeft(temp12c, 4)
0107 anio = temp12c + anio
0108 I2CWrite i2csda, i2csci, 0xd0, 0x06, anio
0109 End Proc
0110 ### Adicionales ###
0111 Proc dsi1307 leer_hora_completa()
0112 Call dsi1307 leer_segundos()
0113 Call dsi1307 leer_minutos()
0114 Call dsi1307 leer_horas_24hr()
0115 End Proc
0116 Proc dsi1307 leer_fecha_completa()
0117 Call dsi1307 leer_fecha()
0118 Call dsi1307 leer_mes()
0119 Call dsi1307 leer_anio()
0120 End Proc
0121 Proc dsi1307 escribir_hora_completa_hh_mm_ss_bef()
0122 Call dsi1307 escribir_segundos()
0123 Call dsi1307 escribir_minutos()
0124 Call dsi1307 escribir_horas_24hr()
0125 End Proc
0126 Proc dsi1307 escribir_fecha_completa_dd_mm_aa_bef()
0127 Call dsi1307 escribir_fecha()
0128 Call dsi1307 escribir_mes()
0129 Call dsi1307 escribir_anio()
0130 End Proc
Jun 130, Col 0
Num of lines: 130
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Código fuente para el microcontrolador esclavo. El nombre del archivo es: esclavo.bas

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0001 Define CONFIG1L = 0x24
0002 Define CONFIG1H = 0x0c
0003 Define CONFIG2L = 0x38
0004 Define CONFIG2H = 0x00
0005 Define CONFIG3L = 0x00
0006 Define CONFIG3H = 0x83
0007 Define CONFIG4L = 0x80
0008 Define CONFIG4H = 0x00
0009 Define CONFIG5L = 0x0f
0010 Define CONFIG5H = 0xc0
0011 Define CONFIG6L = 0x0f
0012 Define CONFIG6H = 0xe0
0013 Define CONFIG7L = 0x0f
0014 Define CONFIG7H = 0x40
0015 Define CLOCK_FREQUENCY = 20
0016
0017 Call inicializacion_de_puertos_de_salida()
0018 Call declaracion_de_puertos_de_entrada_y_salida()
0019 Call configuracion_terminales_analogicas()
0020 Call configuracion_lcd()
0021
0022 Dim motor_baja_motor_alta_in_analog As Word
0023 Dim cargar_y_lavado_in_analog As Word
0024 Dim frenar_descargar_in_analog As Word
0025 Dim orden_w As Word
0026 Dim datos As Byte
0027 datos = 0
0028 Dim segundos As Byte
0029 Dim minutos As Byte
0030 Dim hora As Byte
0031 Dim fecha As Byte
0032 Dim mes As Byte
0033 Dim año As Byte
0034
0035 Hseropen 57600
0036 WaitMs 1000
0037
0038 Symbol freno = RA4
0039 Symbol auto_man_in = RA5
0040 Symbol buzzer = RE1
Jin 40, Col 0
Num of lines: 387
```

Continuación del apéndice 5.

```
File Edit Tools Options
BASIC Compiler - esclavo.bas
Macrocontroller: PIC18F4550; Clock frequency: 20.0MHz
0040 Symbol buzzer = RE1
0041 Symbol velocidad_baja_motor = RC0
0042 Symbol velocidad_descarga_motor = RC1
0043 Symbol velocidad_alta_motor = RC2
0044 Symbol bloqueo_raspador = RC5
0045 Symbol valvula_agua_lavado_goteo = RDO
0046 Symbol valvula_agua_lavado_masa = RD1
0047 Symbol valvula_1_masa_a = RD2
0048 Symbol valvula_2_masa_a = RD3
0049 Symbol pegar_palpador = RD4
0050 Symbol valvula_de_fondo = RD5
0051 Symbol raspador_actuador_horizontal = RD6
0052 Symbol raspador_actuador_vertical = RD7
0053 Symbol indicador_manual = RE0
0054 Symbol indicador_automatica_operando = RE1
0055 Symbol indicador_falla = RE2
0056
0057 Lcdinit 0
0058 Lcdcmdout LcdClear
0059
0060 principal:
0061 Hserin orden_w, datos
0062 Select Case orden_w
0063 Case 0x0000
0064   WaitUs 1
0065 Case 0x0066
0066   Call mostrar_fecha_hora()
0067 Case 0x006f
0068   segundos = datos
0069   minutos = datos
0070   Case 0x0071
0071     hora = datos
0072   Case 0x0073
0073     fecha = datos
0074   Case 0x0074
0075     mes = datos
0076   Case 0x0075
0077     anio = datos
0078   Case 0x00c8
0079
```

Lin 79, Col 0 Num of lines: 387

Continuación del apéndice 5.

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0079 Case 0x00c8
0080 Call generar_condiciones_de_arranque_sin_bloqueo_rasp()
0081 Case 0x00ca
0082 Lcdcmdout LcdClear
0083 Lcdout "Presione START"
0084 Case 0x00cb
0085 Lcdcmdout LcdClear
0086 Lcdout "rpm muy alta"
0087 Lcdcmdout LcdLine2Home
0088 Lcdout "Espere..."
0089 Case 0x00cc
0090 Lcdcmdout LcdClear
0091 Lcdout "Valvula de carga"
0092 Lcdcmdout LcdLine2Home
0093 Lcdout "no esta cerrada"
0094 Case 0x00cd
0095 Lcdcmdout LcdClear
0096 Lcdout "Valvula"
0097 Lcdcmdout LcdLine2Home
0098 Lcdout "antigototecAbierta"
0099 Case 0x00ce
0100 Lcdcmdout LcdClear
0101 Lcdout "Palpador no esta"
0102 Lcdcmdout LcdLine2Home
0103 Lcdout "despegado"
0104 Case 0x00cf
0105 Lcdcmdout LcdClear
0106 Lcdout "Valvula de fondo"
0107 Lcdcmdout LcdLine2Home
0108 Lcdout "no esta cerrada"
0109 Case 0x00d0
0110 Lcdcmdout LcdClear
0111 Lcdout "Raspador no esta"
0112 Lcdcmdout LcdLine2Home
0113 Lcdout "Ploqueado"
0114 Case 0x00d1
0115 Lcdcmdout LcdClear
0116 Lcdout "Raspador no esta"
0117 Lcdcmdout LcdLine2Home
0118 Lcdout "arriba"
Ln 118, Col 0
Num of lines: 387
```

Continuación del apéndice 5.

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0118 Lcdout "arriba"
0119
0120 Case 0x00d2
0121 Lcdcmdout LcdClear
0122 Lcdout "Raspador no esta"
0123 Lcdcmdout LcdLine2Home
0124 Lcdout "despegado"
0125 Case 0x00d5
0126 Lcdcmdout LcdClear
0127 Lcdout "Temperatura"
0128 Lcdcmdout LcdLine2Home
0129 Lcdout "ambiente bajo 0"
0130 Case 0x00d6
0131 Lcdcmdout LcdClear
0132 Lcdout "Temperatura"
0133 Lcdcmdout LcdLine2Home
0134 Lcdout "ambiente > 70°C"
0135 Case 0x00d7
0136 Lcdcmdout LcdClear
0137 Lcdout "Presion de aire"
0138 Lcdcmdout LcdLine2Home
0139 Lcdout "menor a 80 psig"
0140 Case 0x00d8
0141 Lcdcmdout LcdClear
0142 Lcdout "Temperatura"
0143 Lcdcmdout LcdLine2Home
0144 Lcdout "de agua < 70°C"
0145 Case 0x00d9
0146 Lcdcmdout LcdClear
0147 Lcdout "Presion de agua"
0148 Lcdcmdout LcdLine2Home
0149 Lcdout "muy baja"
0150 Case 0x00da
0151 Lcdcmdout LcdClear
0152 Lcdout "Temperatura de"
0153 Lcdcmdout LcdLine2Home
0154 Lcdout "agua<70°C, ", #datos, "°C"
0155 Case 0x00db
0156 Lcdcmdout LcdClear
0157 Lcdout "Presion de agua"
0158 Lcdcmdout LcdLine2Home
Ln 157/ Col 0
Num of lines: 387
```

Continuación del apéndice 5.

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550, Clock Frequency: 20.0MHz
0157 Lcdcmdout LcdLine2Home
0158 Lcdout "<80psig", #datos, "psig"
0159 Case 0x00dc
0160 Lcdcmdout LcdClear
0161 Lcdout "Presion de agua"
0162 Lcdcmdout LcdLine2Home
0163 Lcdout ">100psig", #datos, "psig"
0164 Case 0x00dd
0165 Lcdcmdout LcdClear
0166 Lcdout "Presion de aire"
0167 Lcdcmdout LcdLine2Home
0168 Lcdout "<85psig", #datos, "psig"
0169 Case 0x00e6
0170 Lcdcmdout LcdClear
0171 Lcdout "Automatico"
0172 Lcdcmdout LcdLine2Home
0173 Lcdout " Operando..."
0174 Case 0x00e7
0175 Lcdcmdout LcdClear
0176 Lcdout "Detenido..."
0177 Case 0x00e8
0178 Lcdcmdout LcdClear
0179 Lcdout "Detenido..."
0180 Lcdcmdout LcdLine2Home
0181 Lcdout "Alta vibracion"
0182 Case 0x00e9
0183 Lcdcmdout LcdClear
0184 Lcdout "Detenido..."
0185 Lcdcmdout LcdLine2Home
0186 Lcdout "Hongo emergencia"
0187 Case 0x00ea
0188 Lcdcmdout LcdClear
0189 Lcdout "Detenido..."
0190 Lcdcmdout LcdLine2Home
0191 Lcdout "Error de operacion"
0192 Case 0x00eb
0193 Lcdcmdout LcdClear
0194 Lcdout "Operacion"
0195 Lcdcmdout LcdLine2Home
0196 Lcdout " Indeseada"
Ln 196, Col 0 Num of lines: 387
```



Continuación del apéndice 5.

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4650; Clock Frequency: 20.0MHz
0196 Lcdout " Indeseada"
0197 Case 0x0118
0198 Lcdcmdout LcdClear
0199 Lcdout "USB Conectado..."
0200 Case 0x0119
0201 Lcdcmdout LcdClear
0202 Lcdout "USB Terminado..."
0203 Case 0x012c
0204 velocidad_alta_motor = 0
0205 velocidad_descarga_motor = 0
0206 velocidad_baja_motor = 1
0207 Case 0x012d
0208 velocidad_baja_motor = 0
0209 velocidad_descarga_motor = 0
0210 velocidad_alta_motor = 1
0211 Case 0x012e
0212 velocidad_alta_motor = 0
0213 velocidad_baja_motor = 0
0214 velocidad_descarga_motor = 1
0215 Case 0x012f
0216 velocidad_alta_motor = 0
0217 velocidad_baja_motor = 0
0218 velocidad_descarga_motor = 0
0219 Case 0x0136
0220 valvula_agua_lavado_masa = 1
0221 Case 0x0137
0222 valvula_agua_lavado_masa = 0
0223 Case 0x0140
0224 valvula_2_masa_a = 1
0225 Case 0x0141
0226 valvula_2_masa_a = 0
0227 Case 0x014a
0228 pegar_balpador = 1
0229 Case 0x014b
0230 pegar_balpador = 0
0231 Case 0x0154
0232 valvula_1_masa_a = 1
0233 Case 0x0155
0234 valvula_1_masa_a = 0
0235 Case 0x015e
Ln 235, Col 0
Num of lines: 387
```

Continuación del apéndice 5.

```

BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0235 Case 0x015e
0236     valvula_agua_lavado_masa = 1
0237 Case 0x015f
0238     valvula_agua_lavado_masa = 0
0239 Case 0x0168
0240     valvula_agua_lavado_goteo = 1
0241 Case 0x0169
0242     valvula_agua_lavado_goteo = 0
0243 Case 0x0172
0244     freno = 1
0245 Case 0x0173
0246     freno = 0
0247 Case 0x017c
0248     valvula_de_fondo = 1
0249 Case 0x0186
0250     bloqueo_raspador = 0
0251 Case 0x0187
0252     bloqueo_raspador = 1
0253 Case 0x0190
0254     raspador_actuador_horizontal = 1
0255 Case 0x0191
0256     raspador_actuador_horizontal = 0
0257 Case 0x019a
0258     raspador_actuador_vertical = 1
0259 'La rutina para subir raspador se ejecuta cuando se generan las condiciones de arranque
0260 Case 0x01a4
0261     FreqOut buzzer, 4186, 600 'CS, 600 ms
0262 Case 0x02bc 'Ver Case 0x0118 Y 0x0119
0263     indicador_manual = 1
0264     indicador_automatica_operando = 1
0265     indicador_falla = 1
0266 Case 0x02bd
0267     indicador_manual = 0
0268     indicador_automatica_operando = 0
0269     indicador_falla = 0
0270 Case 0x03e8 'Disparo de emergencia por vibracion u hongo de emergencia
0271     velocidad_alta_motor = 0
0272     velocidad_baja_motor = 0
0273     velocidad_descarga_motor = 0
0274     pegar_palpador = 0
Ln 274; Col 0
Num of lines: 387

```

Continuación del apéndice 5.

```

BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0274 pegar_palpador = 0
0275 valvula_de_fondo = 0
0276 valvula_1_masa_a = 0
0277 valvula_2_masa_a = 0
0278 valvula_agua_lavado_goteo = 0
0279 valvula_agua_lavado_masa = 0
0280 indicador_manual = 0
0281 indicador_automatica_operando = 0
0282 indicador_falla = 1
0283 raspador_actuador_horizontal = 0
0284 raspador_actuador_vertical = 0
0285 Case 0x03e9
0286 velocidad_alta_motor = 0
0287 velocidad_baja_motor = 0
0288 velocidad_descarga_motor = 0
0289 pegar_palpador = 0
0290 valvula_1_masa_a = 0
0291 valvula_2_masa_a = 0
0292 valvula_agua_lavado_goteo = 0
0293 valvula_agua_lavado_masa = 0
0294 raspador_actuador_horizontal = 0
0295 raspador_actuador_vertical = 0
0296 Case Else
0297 WaitUs 1
0298 EndSelect
0299 Goto principal
0300 End
0301 Proc inicializacion_de_puertos_de_salida()
0302 RA4 = 0 'Freno NO activado
0303 RB1 = 0 'Buzzer
0304 RC0 = 0 'Velocidad baja motor apagado
0305 RC1 = 0 'Velocidad descarga motor apagado
0306 RC2 = 0 'Velocidad alta motor apagado
0307 RC5 = 0 'Bloqueo raspador apagado
0308 RD0 = 0 'Valvula agua lavado goteo cerrada
0309 RD1 = 0 'Valvula agua lavado masa cerrada
0310 RD2 = 0 'Valvula 1 masa a cerrada
0311 RD3 = 0 'Valvula 2 masa a cerrada
0312 RD4 = 0 'Pegar palpador DESPEGADO
0313 RD5 = 0 'Valvula de fondo abajo
Ln 313, Col 0
Num of lines: 387

```

Continuación del apéndice 5.

```

BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroller: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0313 RD5 = 0 'Valvula de fondo abajo
0314 RD6 = 0 'Raspador actuador horizontal DESPEGADO
0315 RD7 = 0 'Raspador actuador vertical ARRIBA
0316 RE0 = 0 'Indicador manual apagado
0317 RE1 = 0 'Indicador automatica apagado
0318 RE2 = 0 'Indicador falla apagado
0319 End Proc
0320 Proc declaracion_de_puertos_de_entrada_y_salida()
0321 TRISA.0 = 1 'motor_baja_y_motor_alta_in
0322 TRISA.1 = 1 'cargar_y_lavado_in
0323 TRISA.2 = 1 'frenar_y_descargar_in
0324 TRISA.3 = 1 'No usado
0325 TRISA.4 = 0 'freno
0326 TRISA.5 = 1 'automatico_manual_in
0327 TRISB.1 = 0 'Buzzer
0328 TRISC.0 = 0 'velocidad_baja_motor
0329 TRISC.1 = 0 'velocidad_descarga_motor
0330 TRISC.2 = 0 'velocidad_alta_motor
0331 TRISD.5 = 0 'bloqueo_raspador
0332 TRISD.0 = 0 'valvula_agua_lavado_goteo
0333 TRISD.1 = 0 'valvula_agua_lavado_masa
0334 TRISD.2 = 0 'valvula_1_masa_a
0335 TRISD.3 = 0 'valvula_2_masa_a
0336 TRISD.4 = 0 'pegar_palpador
0337 TRISD.5 = 0 'valvula_de_fondo
0338 TRISD.6 = 0 'raspador_actuador_horizontal
0339 TRISD.7 = 0 'raspador_actuador_vertical
0340 TRISE.0 = 0 'indicador_manual
0341 TRISE.1 = 0 'indicador_automatica_operando
0342 TRISE.2 = 0 'indicador_falla
0343 End Proc
0344 Proc configuracion_terminales_analogicas()
0345 ADCON1 = 0x0c '% 00 00 11 00 (AN0-AN2)
0346 End Proc
0347 Proc configuracion_lcd()
0348 Define LCD_BITS = 4
0349 Define LCD_DREG = PORTB
0350 Define LCD_DEIT = 4
0351 Define LCD_RSREG = PORTB
0352 Define LCD_RSBIT = 3
Ln 352, Col 0
Num of lines: 387

```

Continuación del apéndice 5.

```
BASIC Compiler - esclavo.bas
File Edit Tools Options
Microcontroler: PIC18F4550; Clock Frequency: 20.0MHz
0348 Define LCD_BITS = 4
0349 Define LCD_DREG = PORTB
0350 Define LCD_DEII = 4
0351 Define LCD_RSREG = PORTE
0352 Define LCD_RSBIT = 3
0353 Define LCD_EREG = PORTB
0354 Define LCD_EBIT = 2
0355 Define LCD_RWREG = 0
0356 Define LCD_RWBIT = 0
0357 End Proc
0358 Proc mostrar_fecha_hora()
0359 LcdCldout LcdClear
0360 LcdCldout LcdLine1Pos(4)
0361 If fecha < 10 Then Lcdout "0"
0362 Lcdout #fecha, "/"
0363 If mes < 10 Then Lcdout "0"
0364 Lcdout #mes, "/"
0365 If anio < 10 Then Lcdout "0"
0366 Lcdout #anio
0367 LcdCldout LcdLine2Home
0368 LcdCldout LcdLine2Pos(6)
0369 If hora < 10 Then Lcdout "0"
0370 Lcdout #hora, ":"
0371 If minutos < 10 Then Lcdout "0"
0372 Lcdout #minutos
0373 End Proc
0374 Proc generar_condiciones_de_arranque_sin_bloqueo_rasp()
0375 velocidad_alta_motor = 0
0376 velocidad_baja_motor = 0
0377 velocidad_descarga_motor = 0
0378 valvula_agua_lavado_masa = 0
0379 valvula_agua_lavado_goteo = 0
0380 valvula_1_masa_a = 0
0381 valvula_2_masa_a = 0
0382 pegar_palpador = 0
0383 freno = 0
0384 valvula_de_fondo = 0
0385 raspador_actuador_vertical = 0
0386 End Proc
0387
Jun:387; Cda 0
Num of lines: 387
```

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6. Código fuente software de cambio de parámetros, desarrollado en Visual Basic 2008

```

Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb Load
Public Class Form1
    Dim duracion_lavado_mallas_decim_seg As Double
    Dim velocidad_de_carga_rpm_div10 As Double
    Dim retardo_valvula_antigoteo_decim_seg As Double
    Dim velocidad_primer_lavado_rpm_div10 As Double
    Dim duracion_primer_lavado_decim_seg As Double
    Dim velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 As Double
    Dim duracion_segundo_lavado_decim_seg As Double
    Dim duracion_secado_decim_seg As Double
    Dim velocidad_de_descarga_rpm_div10 As Double
    Dim duracion_raspador_arriba_decim_seg As Double
    Dim duracion_raspador_abajo_decim_seg As Double
    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        btnMinguno.Checked = True
        txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = ""
        txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = ""
        txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = ""
        txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = ""
        txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = ""
        txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = ""
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = ""
        txtDuracion_secado_decim_seg.Text = ""
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = ""
        txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = ""
        txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = ""
        chbxDuracion_lavado_mallas.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxVelocidad_de_carga.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxRetardo_valvula_antigoteo.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxVelocidad_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxDuracion_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxVelocidad_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxDuracion_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxDuracion_secado.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxVelocidad_de_descarga.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxDuracion_raspador_abajo.CheckState = CheckState.Unchecked
        chbxDuracion_raspador_arriba.CheckState = CheckState.Unchecked
    End Sub
End Class

```



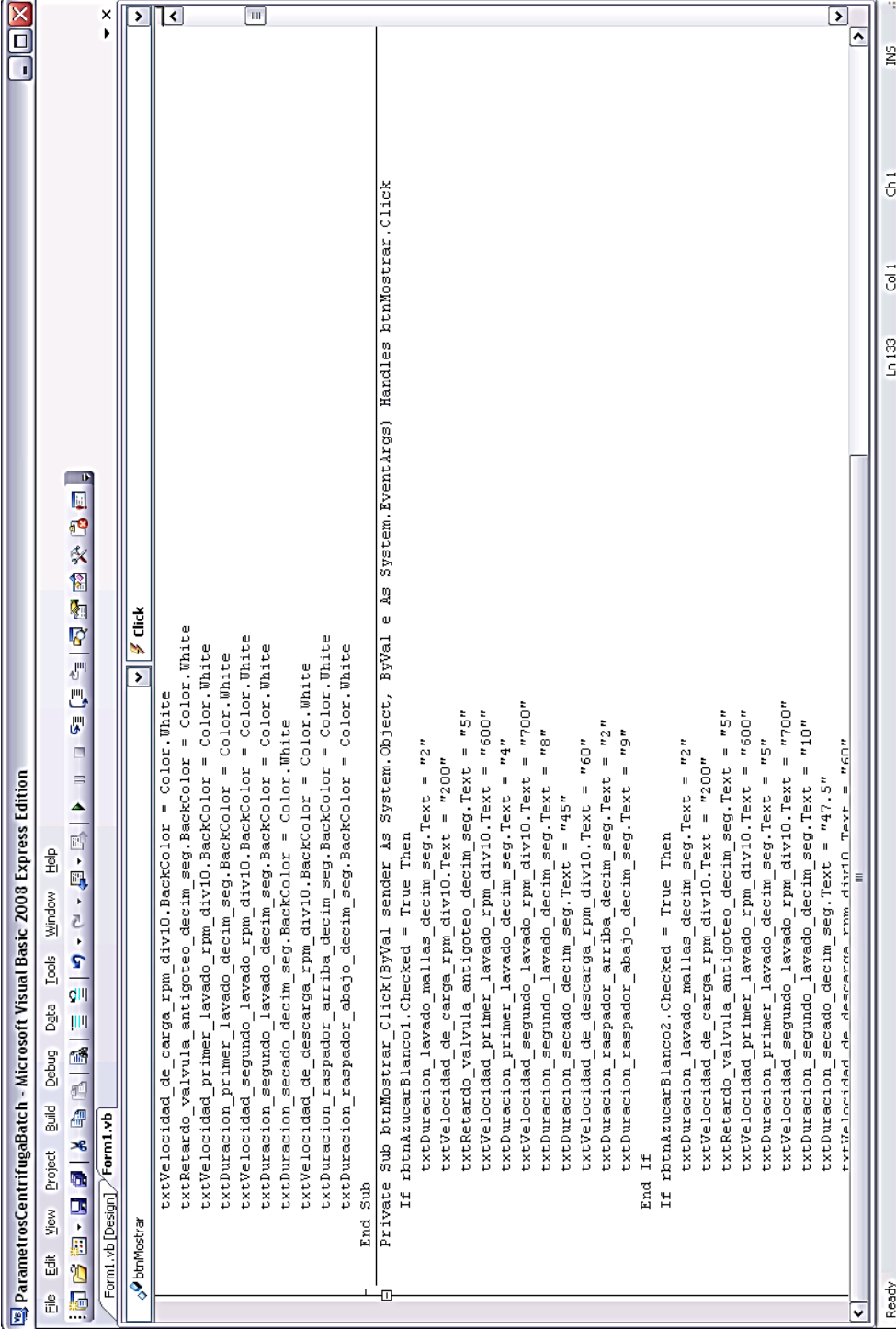
Continuación del apéndice 6.

```

ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb
btnRestablecer Click
    chbxVelocidad_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxDuracion_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxVelocidad_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxDuracion_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxDuracion_secado.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxVelocidad_de_descarga.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxDuracion_raspador_arriba.CheckState = CheckState.Unchecked
    chbxDuracion_raspador_abajo.CheckState = CheckState.Unchecked
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.White
End Sub
Private Sub btnRestablecer_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnRestablecer.Click
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = ""
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = ""
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = ""
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = ""
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = ""
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = ""
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = ""
    txtDuracion_secado_decim_seg.Text = ""
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = ""
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = ""
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = ""
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = ""
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
    
```



Continuación del apéndice 6.



```
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.White
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.White
End Sub
Private Sub btnMostrar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnMostrar.Click
    If rbtnAzucarBlanco1.Checked = True Then
        txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "2"
        txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"
        txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "5"
        txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"
        txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "4"
        txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "8"
        txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "45"
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"
        txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"
        txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "9"
    End If
    If rbtnAzucarBlanco2.Checked = True Then
        txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "2"
        txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"
        txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "5"
        txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"
        txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "5"
        txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "10"
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "47.5"
    End If
End Sub
```

Continuación del apéndice 6.

```
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] / Form1.vb
btnMostrar Click

txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "47.5"
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "9"
End If
If btnAzucarBlanco3.Checked = True Then
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "2"
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "5"
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "6"
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "12"
    txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "50"
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "9"
End If
If btnAzucarCrudo1.Checked = True Then
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "1"
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "3"
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "1"
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "1"
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "7"
End If
If btnAzucarCrudo2.Checked = True Then
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "1"
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "3"
    ||||
End If
```

Continuación del apéndice 6.

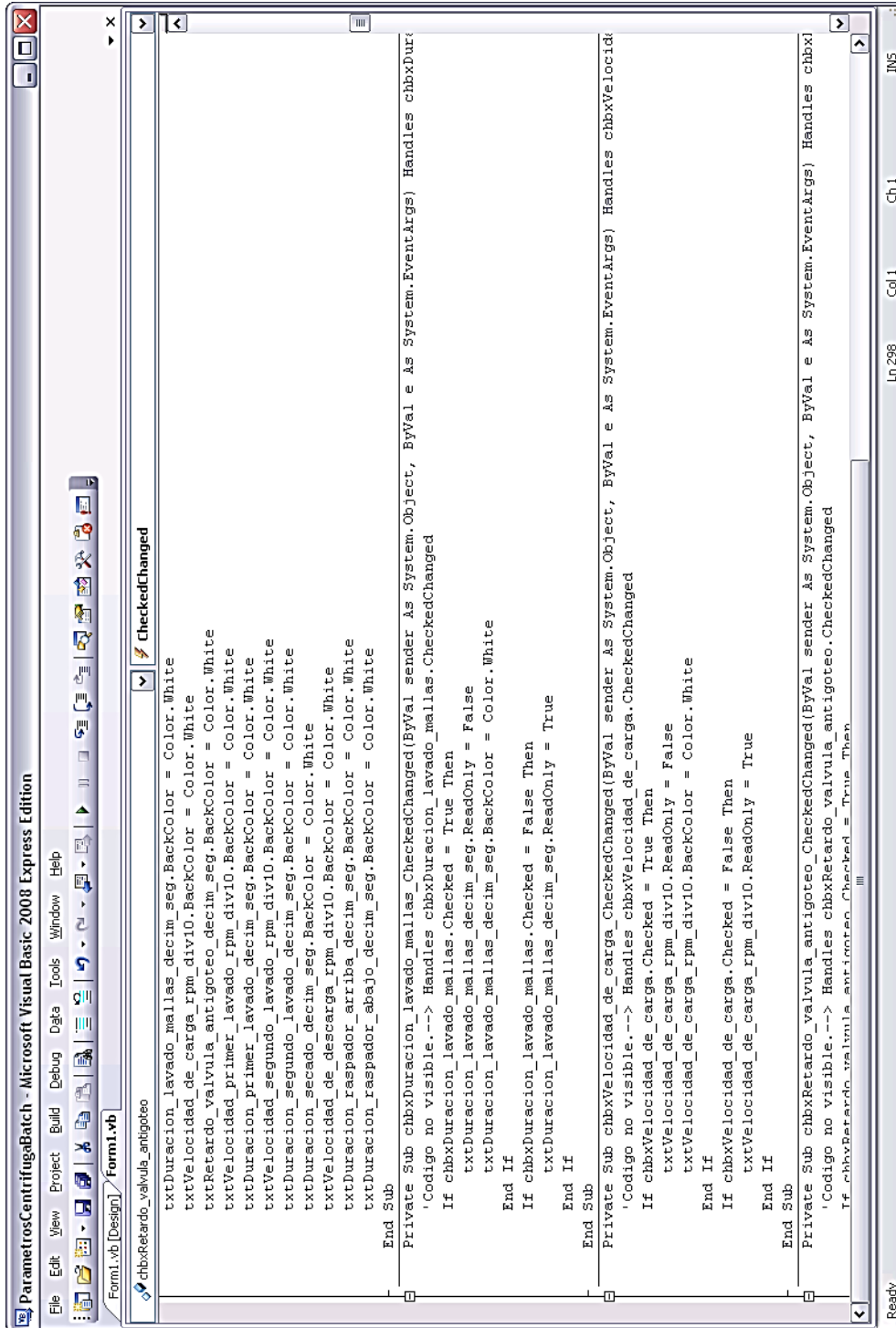
```
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"  
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "3"  
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"  
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "1.5"  
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"  
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "2"  
txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "37.5"  
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"  
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"  
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "7"  
End If  
If rbtAzucarCrudo3.Checked = True Then  
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "1"  
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"  
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "3"  
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"  
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "2"  
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"  
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "3"  
txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "40"  
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"  
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"  
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = "7"  
End If  
If rbtAzucarMoreno1.Checked = True Then  
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = "2"  
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = "200"  
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = "4"  
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = "600"  
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = "2"  
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = "700"  
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = "4"  
txtDuracion_secado_decim_seg.Text = "40"  
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = "60"  
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = "2"  
!!!  
End If
```



Continuación del apéndice 6.

```
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb
bin\Mostrat
Click
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = ""
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = ""
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = ""
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text = ""
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text = ""
txtDuracion_secado_decim_seg.Text = ""
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = ""
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = ""
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = ""
chbxDuracion_lavado_mallas.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxVelocidad_de_carga.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxRetardo_valvula_antigoteo.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxVelocidad_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxDuracion_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxVelocidad_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxDuracion_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxDuracion_secado.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxVelocidad_de_descarga.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxDuracion_raspador_arriba.CheckState = CheckState.Unchecked
chbxDuracion_raspador_abajo.CheckState = CheckState.Unchecked
Else
chbxDuracion_lavado_mallas.CheckState = CheckState.Checked
chbxVelocidad_de_carga.CheckState = CheckState.Checked
chbxRetardo_valvula_antigoteo.CheckState = CheckState.Checked
chbxVelocidad_primer_lavado.CheckState = CheckState.Checked
chbxDuracion_primer_lavado.CheckState = CheckState.Checked
chbxVelocidad_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Checked
chbxDuracion_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Checked
chbxDuracion_secado.CheckState = CheckState.Checked
chbxVelocidad_de_descarga.CheckState = CheckState.Checked
chbxDuracion_raspador_arriba.CheckState = CheckState.Checked
chbxDuracion_raspador_abajo.CheckState = CheckState.Checked
End If
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
'''
Ready Ln 265 Col 1 Ch 1 IM5
```

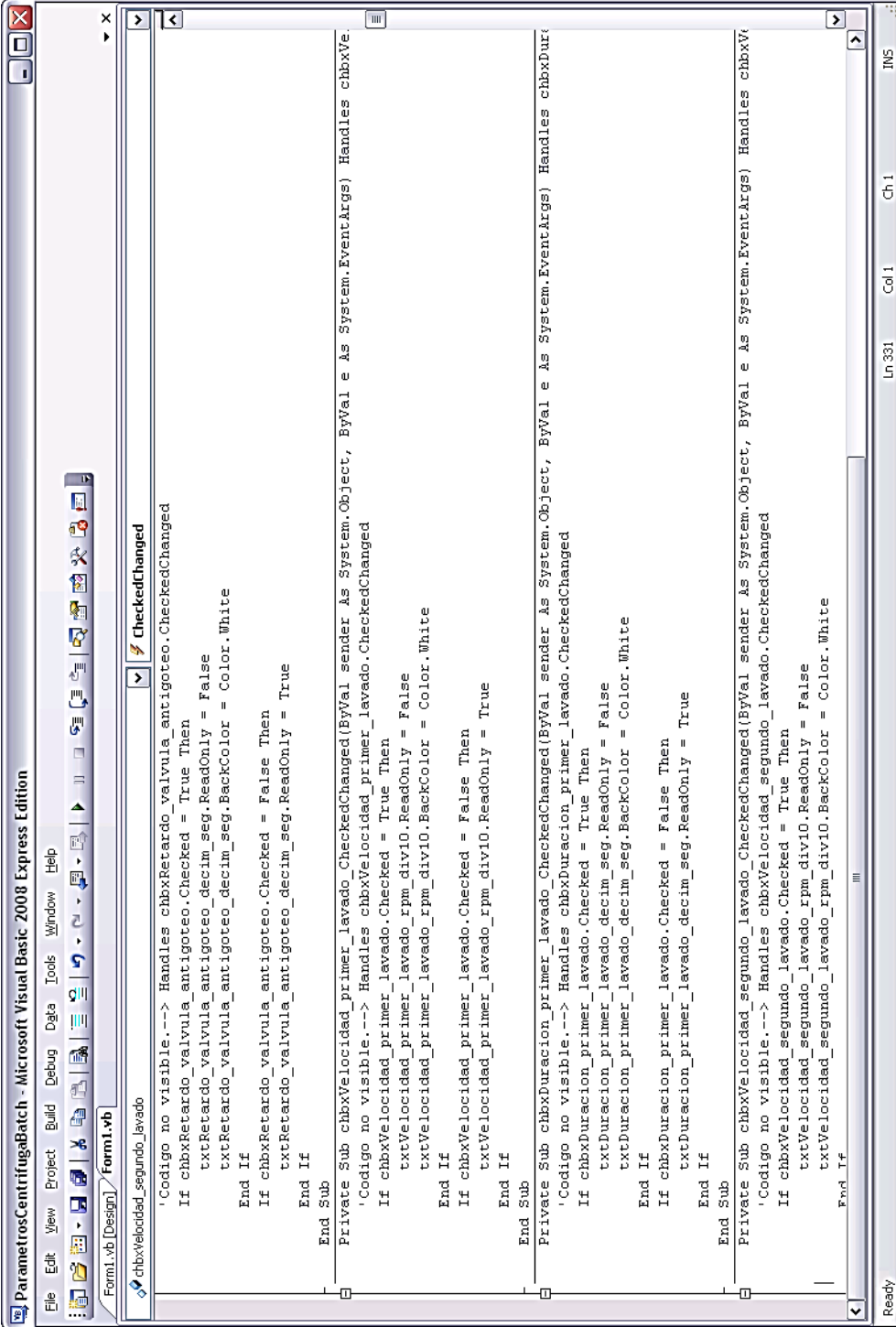
Continuación del apéndice 6.



```
Form1.vb [Design] / Form1.vb
CheckedChanged
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.White
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.White
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.White
txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.White
End Sub
Private Sub cbxDuracion_lavado_mallas_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbxDur
'Codigo no visible.--> Handles cbxDuracion_lavado_mallas.CheckedChanged
If cbxDuracion_lavado_mallas.Checked = True Then
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.ReadOnly = False
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
End If
If cbxDuracion_lavado_mallas.Checked = False Then
txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub cbxVelocidad_de_carga_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbxVelocid
'Codigo no visible.--> Handles cbxVelocidad_de_carga.CheckedChanged
If cbxVelocidad_de_carga.Checked = True Then
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.ReadOnly = False
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
End If
If cbxVelocidad_de_carga.Checked = False Then
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub cbxRetardo_valvula_antigoteo_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbx
'Codigo no visible.--> Handles cbxRetardo_valvula_antigoteo.CheckedChanged
If cbxRetardo_valvula_antigoteo.Checked = True Then

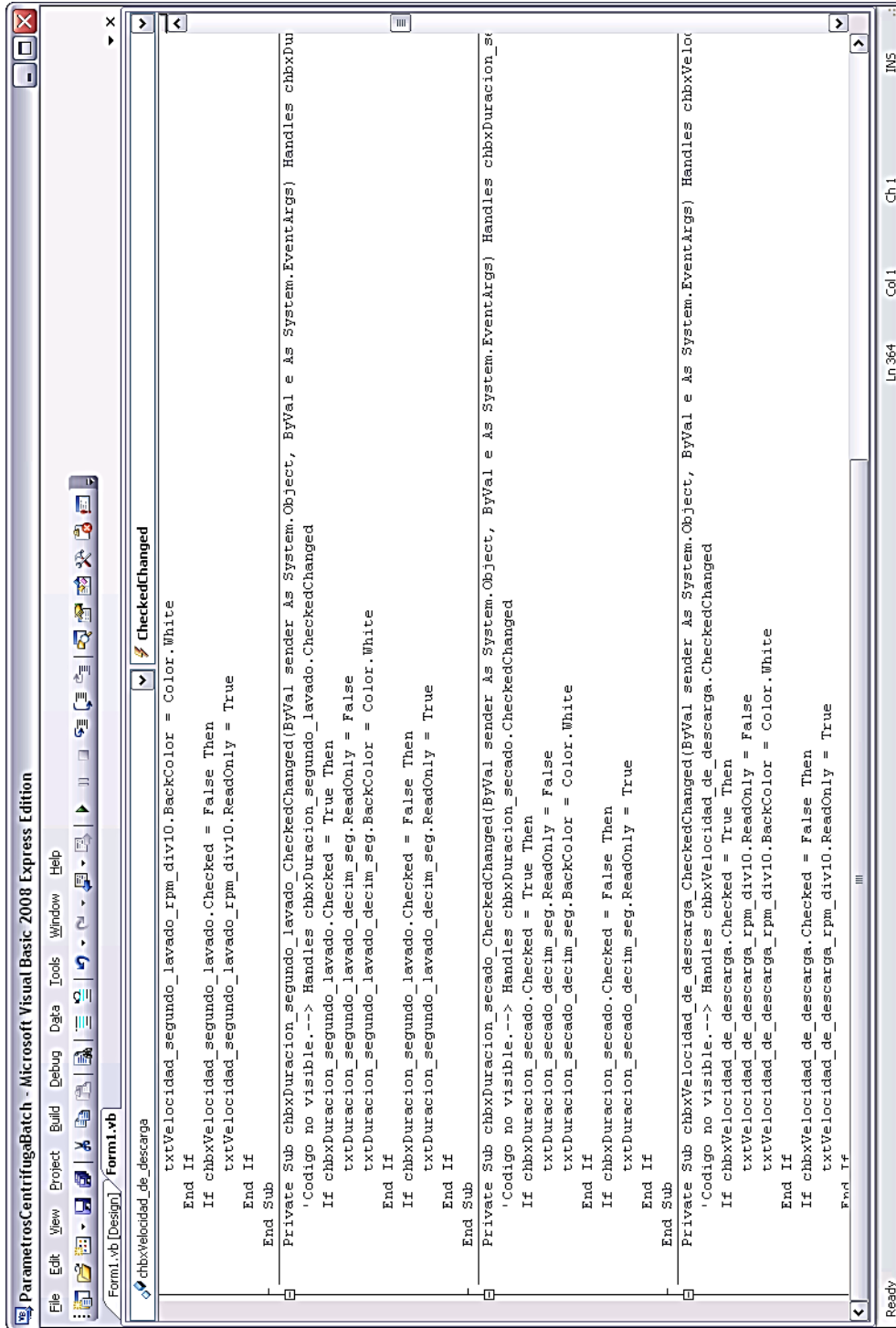
```

Continuación del apéndice 6.



```
Form1.vb [Design] / Form1.vb / CheckedChanged
'Codigo no visible.--> Handles cbhxRetardo_valvula_antigoteo.CheckedChanged
If cbhxRetardo_valvula_antigoteo.Checked = True Then
    txtRetardo_valvula_antigoteo.decim_seg.ReadOnly = False
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
End If
If cbhxRetardo_valvula_antigoteo.Checked = False Then
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub cbhxVelocidad_primer_lavado_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbhxVe.
'Codigo no visible.--> Handles cbhxVelocidad_primer_lavado.CheckedChanged
If cbhxVelocidad_primer_lavado.Checked = True Then
    txtVelocidad_primer_lavado.rpm_div10.ReadOnly = False
    txtVelocidad_primer_lavado.rpm_div10.BackColor = Color.White
End If
If cbhxVelocidad_primer_lavado.Checked = False Then
    txtVelocidad_primer_lavado.rpm_div10.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub cbhxDuracion_primer_lavado_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbhxDur.
'Codigo no visible.--> Handles cbhxDuracion_primer_lavado.CheckedChanged
If cbhxDuracion_primer_lavado.Checked = True Then
    txtDuracion_primer_lavado.decim_seg.ReadOnly = False
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
End If
If cbhxDuracion_primer_lavado.Checked = False Then
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub cbhxVelocidad_segundo_lavado_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbhxV.
'Codigo no visible.--> Handles cbhxVelocidad_segundo_lavado.CheckedChanged
If cbhxVelocidad_segundo_lavado.Checked = True Then
    txtVelocidad_segundo_lavado.rpm_div10.ReadOnly = False
    txtVelocidad_segundo_lavado.rpm_div10.BackColor = Color.White
End If
End Sub
```

Continuación del apéndice 6.



The screenshot shows the Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition IDE. The title bar reads 'ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'Project', 'Build', 'Debug', 'Tools', 'Window', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations, execution, and debugging. The main window displays the code for 'Form1.vb' with a 'CheckedChanged' event handler. The code is as follows:

```
Private Sub txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10_BackColor = Color.White
End If
If cbbxVelocidad_segundo_lavado.Checked = False Then
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.ReadOnly = True
End If
End Sub

Private Sub cbbxDuracion_segundo_lavado_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbbxDuracion_segundo_lavado.CheckedChanged
    'Codigo no visible.--> Handles cbbxDuracion_segundo_lavado.CheckedChanged
    If cbbxDuracion_segundo_lavado.Checked = True Then
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.ReadOnly = False
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
    End If
    If cbbxDuracion_segundo_lavado.Checked = False Then
        txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.ReadOnly = True
    End If
End Sub

Private Sub cbxDuracion_secado_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbxDuracion_secado.CheckedChanged
    'Codigo no visible.--> Handles cbxDuracion_secado.CheckedChanged
    If cbxDuracion_secado.Checked = True Then
        txtDuracion_secado_decim_seg.ReadOnly = False
        txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.White
    End If
    If cbxDuracion_secado.Checked = False Then
        txtDuracion_secado_decim_seg.ReadOnly = True
    End If
End Sub

Private Sub cbxVelocidad_de_descarga_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbxVelocidad_de_descarga.CheckedChanged
    'Codigo no visible.--> Handles cbxVelocidad_de_descarga.CheckedChanged
    If cbxVelocidad_de_descarga.Checked = True Then
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.ReadOnly = False
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.White
    End If
    If cbxVelocidad_de_descarga.Checked = False Then
        txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.ReadOnly = True
    End If
End Sub
```



Continuación del apéndice 6.

```
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] / Form1.vb
Click
txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.ReadOnly = True
End If
End Sub
Private Sub chbxDuracion_raspador_arriba_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles chbxDuracion_raspador_arriba.CheckedChanged
    'Codigo no visible.--> Handles chbxDuracion_raspador_arriba.CheckedChanged
    If chbxDuracion_raspador_arriba.Checked = True Then
        txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.ReadOnly = False
        txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.White
    End If
    If chbxDuracion_raspador_arriba.Checked = False Then
        txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.ReadOnly = True
    End If
End Sub
Private Sub chbxDuracion_raspador_abajo_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles chbxDuracion_raspador_abajo.CheckedChanged
    'Codigo no visible.--> Handles chbxDuracion_raspador_abajo.CheckedChanged
    If chbxDuracion_raspador_abajo.Checked = True Then
        txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.ReadOnly = False
        txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.White
    End If
    If chbxDuracion_raspador_abajo.Checked = False Then
        txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.ReadOnly = True
    End If
End Sub
Private Sub btnConectar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnConectar.Click
    If HID0.HID_Detected = True Then
        MsgBox ("El dispositivo ya está conectado. ", MsgBoxStyle.Exclamation, "El dispositivo ya está conectado")
        Exit Sub
    End If
    HID0.HID_VendorID = HID0.dec4(UCase$("1080"))
    HID0.HID_ProductID = HID0.dec4(UCase$("1000"))
    Call HID0.HIDConnect()
    If HID0.HID_Detected = True Then
        Printline ("HID encontrado!!!")
        Printline ("VendorID: " + HID0.hex4(HID0.HID_VendorID))
        Printline ("ProductID: " + HID0.hex4(HID0.HID_ProductID))
    End If
End Sub

```



Continuación del apéndice 6.

```

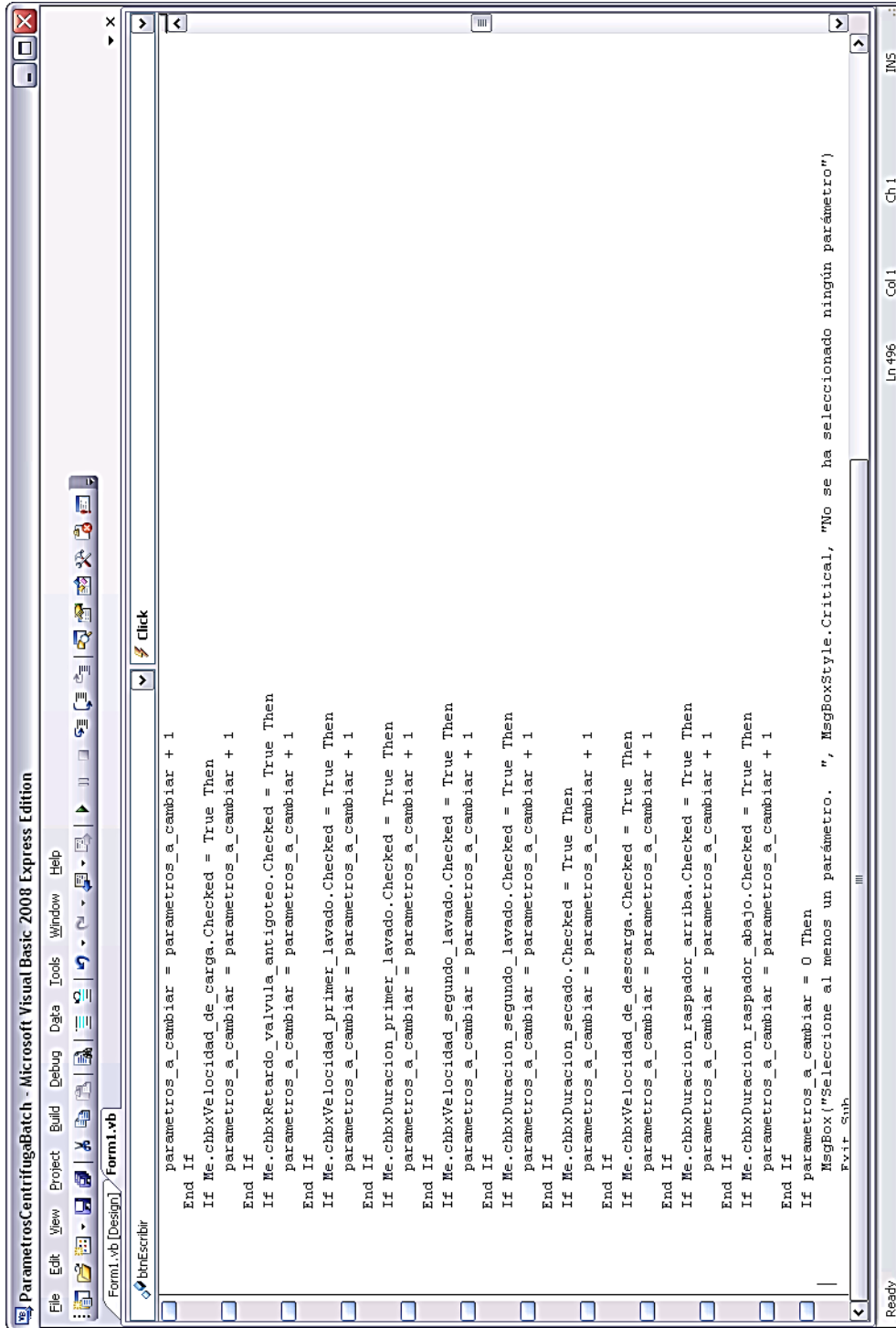
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb
btnEscribir
Click

    End If
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtDuracion_segundo_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.White
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.White
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.White
    btnEscribir.Visible = False
    btnLeer.Visible = True
    btnActFechaYHora.Visible = False

End Sub
Private Sub btnEscribir_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnEscribir.Click
    Dim datos(8) As Byte
    Dim x As Boolean
    If HIDc0.HID_Detected = False Then
        Printline("Error en la escritura. Revise la conexión...")
        Printline("")
        btnEscribir.Visible = False
        btnLeer.Visible = False
        btnActFechaYHora.Visible = False
    Exit Sub
    End If
    Dim parametros_incorrectos As Integer
    parametros_incorrectos = 0
    Dim parametros_a_cambiar As Integer
    parametros_a_cambiar = 0
    If Me.chbxDuracion_lavado_mallas.Checked = True Then
        parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
    End If

```

Continuación del apéndice 6.



```

parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxVelocidad_de_carga.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxRetardo_valvula_antigoteo.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxVelocidad_primer_lavado.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxDuracion_primer_lavado.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxVelocidad_segundo_lavado.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxDuracion_segundo_lavado.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxDuracion_secado.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxVelocidad_de_descarga.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxDuracion_raspador_arriba.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If Me.cbboxDuracion_raspador_abajo.Checked = True Then
    parametros_a_cambiar = parametros_a_cambiar + 1
End If
If parametros_a_cambiar = 0 Then
    MsgBox("Seleccione al menos un parámetro. ", MsgBoxStyle.Critical, "No se ha seleccionado ningún parámetro")
End If

```

Continuación del apéndice 6.

```
ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb
btrEscribir
MsgBox("Seleccione al menos un parámetro. ", MsgBoxStyle.Critical, "No se ha seleccionado ningún parámetro")
Exit Sub
End If
duracion_lavado_mallas_decim_seg = Math.Round(Val(txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text), 1)
velocidad_de_carga_rpm_div10 = Math.Round(Val(txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text), 0)
retardo_valvula_antigoteo_decim_seg = Math.Round(Val(txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text), 1)
velocidad_primer_lavado_rpm_div10 = Math.Round(Val(txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text), 0)
duracion_primer_lavado_decim_seg = Math.Round(Val(txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text), 1)
velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 = Math.Round(Val(txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.Text), 0)
duracion_segundo_lavado_decim_seg = Math.Round(Val(txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.Text), 1)
velocidad_de_descarga_rpm_div10 = Math.Round(Val(txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text), 0)
duracion_raspador_arriba_decim_seg = Math.Round(Val(txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text), 1)
duracion_raspador_abajo_decim_seg = Math.Round(Val(txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text), 1)
Select Case duracion_lavado_mallas_decim_seg
Case Is < 0
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_lavado_mallas_decim_seg = 0
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = duracion_lavado_mallas_decim_seg.ToString
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.Red
Case Is > 3
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_lavado_mallas_decim_seg = 3
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.Text = duracion_lavado_mallas_decim_seg.ToString
    txtDuracion_lavado_mallas_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case velocidad_de_carga_rpm_div10
Case Is < 150
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    velocidad_de_carga_rpm_div10 = 150
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = velocidad_de_carga_rpm_div10.ToString
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.Red
Case Is > 250
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    velocidad_de_carga_rpm_div10 = 250
    txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.Red
End Select

```

Continuación del apéndice 6.

```

ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] / Form1.vb
btnEscribir Click
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
velocidad_de_carga_rpm_div10 = 250
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.Text = velocidad_de_carga_rpm_div10.ToString
txtVelocidad_de_carga_rpm_div10.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case retardo_valvula_antigoteo_decim_seg
Case Is < 1
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
retardo_valvula_antigoteo_decim_seg = 1
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = retardo_valvula_antigoteo_decim_seg.ToString
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.Red
Case Is > 5
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
retardo_valvula_antigoteo_decim_seg = 5
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.Text = retardo_valvula_antigoteo_decim_seg.ToString
txtRetardo_valvula_antigoteo_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case velocidad_primer_lavado_rpm_div10
Case Is < 600
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
velocidad_primer_lavado_rpm_div10 = 600
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = velocidad_primer_lavado_rpm_div10.ToString
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.Red
Case Is > 700
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
velocidad_primer_lavado_rpm_div10 = 700
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.Text = velocidad_primer_lavado_rpm_div10.ToString
txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case duracion_primer_lavado_decim_seg
Case Is < 1
parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
duracion_primer_lavado_decim_seg = 1
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.Text = duracion_primer_lavado_decim_seg.ToString
txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.Red
'''
Ready
Ln 562 Col 1 Ch 1 IMS

```



Continuación del apéndice 6.

```
Case Is < 25
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_secado_decim_seg = 25
    txtDuracion_secado_decim_seg.Text = duracion_secado_decim_seg.ToString
    txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.Red
Case Is > 50
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_secado_decim_seg = 50
    txtDuracion_secado_decim_seg.Text = duracion_secado_decim_seg.ToString
    txtDuracion_secado_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case velocidad_de_descarga_rpm_div10
Case Is < 50
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    velocidad_de_descarga_rpm_div10 = 50
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = velocidad_de_descarga_rpm_div10.ToString
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.Red
Case Is > 75
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    velocidad_de_descarga_rpm_div10 = 75
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.Text = velocidad_de_descarga_rpm_div10.ToString
    txtVelocidad_de_descarga_rpm_div10.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case duracion_raspador_arriba_decim_seg
Case Is < 1.5
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_raspador_arriba_decim_seg = 1.5
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = duracion_raspador_arriba_decim_seg.ToString
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.Red
Case Is > 5
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_raspador_arriba_decim_seg = 5
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.Text = duracion_raspador_arriba_decim_seg.ToString
    txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
```



Continuación del apéndice 6.

```

ParametrosCentrifugaBatch - Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
File Edit View Project Build Debug Data Tools Window Help
Form1.vb [Design] Form1.vb Click
txtDuracion_raspador_arriba_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
Select Case duracion_raspador_abajo_decim_seg
Case Is < 3
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_raspador_abajo_decim_seg = 3
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = duracion_raspador_abajo_decim_seg.ToString
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.Red
Case Is > 10
    parametros_incorrectos = parametros_incorrectos + 1
    duracion_raspador_abajo_decim_seg = 10
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.Text = duracion_raspador_abajo_decim_seg.ToString
    txtDuracion_raspador_abajo_decim_seg.BackColor = Color.Red
End Select
duracion_lavado_mallas_decim_seg = duracion_lavado_mallas_decim_seg * 10
velocidad_de_carga_rpm_div10 = velocidad_de_carga_rpm_div10 / 10
retardo_valvula_antigoteo_decim_seg = retardo_valvula_antigoteo_decim_seg * 10
velocidad_primer_lavado_rpm_div10 = velocidad_primer_lavado_rpm_div10 / 10
duracion_primer_lavado_decim_seg = duracion_primer_lavado_decim_seg * 10
velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 = velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 / 10
duracion_segundo_lavado_decim_seg = duracion_segundo_lavado_decim_seg * 10
duracion_secado_decim_seg = duracion_secado_decim_seg * 10
velocidad_de_descarga_rpm_div10 = velocidad_de_descarga_rpm_div10 / 10
duracion_raspador_arriba_decim_seg = duracion_raspador_arriba_decim_seg * 10
duracion_raspador_abajo_decim_seg = duracion_raspador_abajo_decim_seg * 10
'Ver arreglo de valor en código fuente del microcontrolador "master.bas"
duracion_secado_decim_seg = duracion_secado_decim_seg - 250 ' -250 decim-seg = -25seg
println("Escribiendo...")
If Me.cbhxDuracion_lavado_mallas.Checked = True Then
    datos(0) = 55 'Escribir duracion_lavado_mallas_decim_seg
    datos(1) = duracion_lavado_mallas_decim_seg
    x = HID0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        println("duración lavado mallas = " + (duracion_lavado_mallas_decim_seg / 10).ToString + " seg")
    Else

```

Continuación del apéndice 6.

```
PrintLine("duración lavado mallas = " + (duracion_lavado_mallas_decim_seg / 10).ToString + " seg")
Else
PrintLine("error al escribir: duración lavado mallas:")
End If
End If
If Me.chkxVelocidad_de_carga.Checked = True Then
datos(0) = 56 'Escribir velocidad de carga rpm_div10
datos(1) = velocidad de carga rpm_div10
x = HIDx0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = True Then
PrintLine("velocidad de carga = " + (velocidad de carga rpm_div10 * 10).ToString + " rpm")
Else
PrintLine("error al escribir: velocidad de carga!")
End If
End If
If Me.chkxRetardo_valvula_antigoteo.Checked = True Then
datos(0) = 57 'Escribir retardo valvula antigoteo decim_seg
datos(1) = retardo_valvula_antigoteo_decim_seg
x = HIDx0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = True Then
PrintLine("retardo válvula antigoteo = " + (retardo_valvula_antigoteo_decim_seg / 10).ToString + " seg")
Else
PrintLine("error al escribir: retardo válvula antigoteo!")
End If
End If
If Me.chkxVelocidad_primer_lavado.Checked = True Then
datos(0) = 58 'Escribir velocidad primer lavado rpm_div10
datos(1) = velocidad_primer_lavado rpm_div10
x = HIDx0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = True Then
PrintLine("velocidad primer lavado = " + (velocidad_primer_lavado rpm_div10 * 10).ToString + " rpm")
Else
PrintLine("error al escribir: velocidad primer lavado!")
End If
End If
End If
```

Continuación del apéndice 6.

```
End If
End If
If Me.cbboxDuracion_primer_lavado.Checked = True Then
    datos(0) = 59 'Escribir duracion_primer_lavado_decim_seg
    datos(1) = duracion_primer_lavado_decim_seg
    x = HIDto.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        PrintLine("duración primer lavado = " + (duracion_primer_lavado_decim_seg / 10).ToString + " seg")
    Else
        PrintLine("error al escribir: duración primer lavado!")
    End If
End If
If Me.cbboxVelocidad_segundo_lavado.Checked = True Then
    datos(0) = 60 'Escribir velocidad_segundo_lavado_rpm_div10
    datos(1) = velocidad_segundo_lavado_rpm_div10
    x = HIDto.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        PrintLine("velocidad segundo lavado = " + (velocidad_segundo_lavado_rpm_div10 * 10).ToString + " rpm")
    Else
        PrintLine("error al escribir: velocidad segundo lavado!")
    End If
End If
If Me.cbboxDuracion_segundo_lavado.Checked = True Then
    datos(0) = 61 'Escribir duracion_segundo_lavado_decim_seg
    datos(1) = duracion_segundo_lavado_decim_seg
    x = HIDto.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        PrintLine("duración segundo lavado = " + (duracion_segundo_lavado_decim_seg / 10).ToString + " seg")
    Else
        PrintLine("error al escribir: duración segundo lavado!")
    End If
End If
If Me.cbboxDuracion_secado.Checked = True Then
    datos(0) = 62 'Escribir duracion_secado_decim_seg
    datos(1) = duracion_secado_decim_seg
    III
End If
```

Continuación del apéndice 6.

```
datos(0) = 62 'Escribir duracion_secado_decim_seg
datos(1) = duracion_secado_decim_seg
x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = True Then
    printline("duración secado = " + (duracion_secado_decim_seg / 10 + 25).ToString + " seg")
Else
    printline("error al escribir: duración secado!")
End If
End If
If Me.cbhxVelocidad_de_descarga.Checked = True Then
    datos(0) = 63 'Escribir velocidad de descarga_rpm_div10
    datos(1) = velocidad_de_descarga_rpm_div10
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        printline("velocidad de descarga = " + (velocidad_de_descarga_rpm_div10 * 10).ToString + " rpm")
    Else
        printline("error al escribir: velocidad de descarga!")
    End If
End If
If Me.cbhxDuracion_raspador_arriba.Checked = True Then
    datos(0) = 64 'Escribir duracion_raspador_arriba_decim_seg
    datos(1) = duracion_raspador_arriba_decim_seg
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        printline("duración raspador arriba = " + (duracion_raspador_arriba_decim_seg / 10).ToString + " seg")
    Else
        printline("error al escribir: duración raspador arriba!")
    End If
End If
If Me.cbhxDuracion_raspador_abajo.Checked = True Then
    datos(0) = 65 'Escribir duracion_raspador_abajo_decim_seg
    datos(1) = duracion_raspador_abajo_decim_seg
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If x = True Then
        printline("duración raspador abajo = " + (duracion_raspador_abajo_decim_seg / 10).ToString + " seg")
    Else
        printline("error al escribir: duración raspador abajo!")
    End If
End If
```

Continuación del apéndice 6.

```

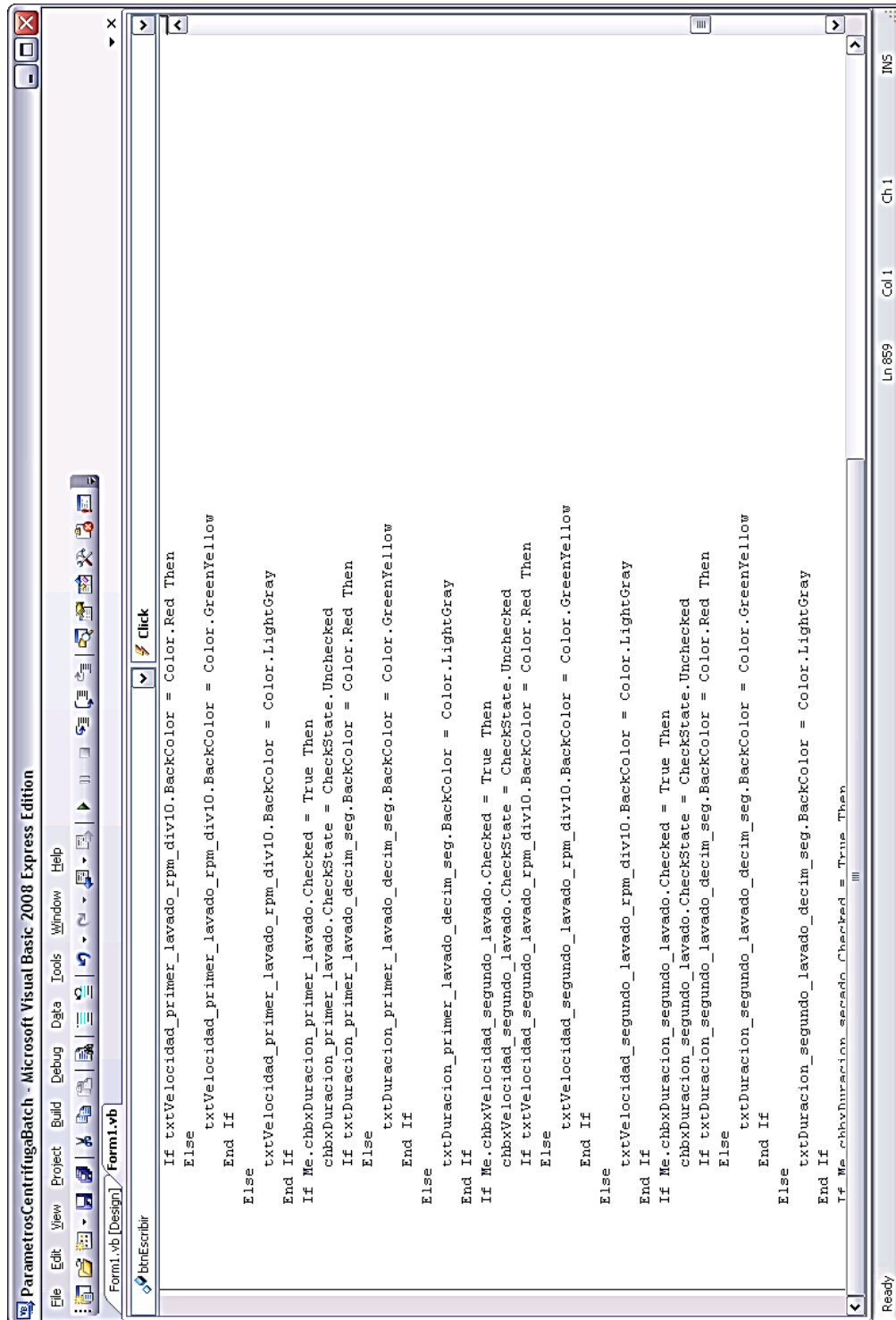
Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition
Form1.vb [Design] Form1.vb
bntEscribir
Click

If x = True Then
    printline("duración raspador abajo = " + (duracion_raspador_abajo_decim_seg / 10).ToString + " seg")
Else
    printline("error al escribir: duración raspador abajo!")
End If
End If
If parametros_a_cambiar > 0 Then
    datos(0) = 50 'Escribir minutos
    datos(1) = Minute(Now)
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = True Then
    datos(0) = 51 'Escribir hora
    datos(1) = Hour(Now)
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    datos(0) = 52 'Escribir fecha
    datos(1) = DateAndTime.Day(Now)
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    datos(0) = 53 'Escribir mes
    datos(1) = Month(Now)
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    datos(0) = 54 'Escribir año
    datos(1) = Year(Now) - 2000
    x = HIDt0.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
    If Minute(Now) < 10 Then
        printline(Hour(Now).ToString + ":0" + Minute(Now).ToString + ", " + DateAndTime.Day(Now).ToString + "/" + Month(Now).ToString + "/" + Year(Now).ToString)
    Else
        printline(Hour(Now).ToString + ":" + Minute(Now).ToString + ", " + DateAndTime.Day(Now).ToString + "/" + Month(Now).ToString + "/" + Year(Now).ToString)
    End If
Else
    printline("Error al escribir la fecha de modificación de parámetros")
End If
End If
printline(mn)

```



Continuación del apéndice 6.



```
Form1.vb [Design] Form1.vb
btnEscribir
Click
If txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.Red Then
Else
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.GreenYellow
End If
Else
    txtVelocidad_primer_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.LightGray
End If
If Me.chkxDuracion_primer_lavado.Checked = True Then
    chkxDuracion_primer_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
If txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.Red Then
Else
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.GreenYellow
End If
Else
    txtDuracion_primer_lavado_decim_seg.BackColor = Color.LightGray
End If
If Me.chkxVelocidad_segundo_lavado.Checked = True Then
    chkxVelocidad_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
If txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.Red Then
Else
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.GreenYellow
End If
Else
    txtVelocidad_segundo_lavado_rpm_div10.BackColor = Color.LightGray
End If
If Me.chkxDuracion_segundo_lavado.Checked = True Then
    chkxDuracion_segundo_lavado.CheckState = CheckState.Unchecked
If txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.Red Then
Else
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.GreenYellow
End If
Else
    txtDuracion_segundo_lavado_decim_seg.BackColor = Color.LightGray
End If
If Me.chkxDuracion_segundo_lavado.Checked = True Then
    III
```

Ln 859 Col 1 Ch 1 IMS  
Ready











Continuación del apéndice 6.

```
(General)
btnLeer.Visible = False
btnActFechaYHora.Visible = False
Exit Sub
End If
datos(0) = 70 ' Actualizar fecha y hora
datos(1) = Minute(Now)
datos(2) = Hour(Now)
datos(3) = DateAndTime.Day(Now)
datos(4) = Month(Now)
datos(5) = Year(Now) - 2000
x = HDIO.HIDSendReport(datos(0), datos(1), datos(2), datos(3), datos(4), datos(5), datos(6), datos(7))
If x = False Then
    printLine("error al actualizar fecha y hora!")
    btnEscribir.Visible = False
    btnLeer.Visible = False
    btnActFechaYHora.Visible = False
End If
End Sub
Private Sub printLine(ByVal inputLine As String)
    rtbOperaciones_realizadas.Text = rtbOperaciones_realizadas.Text + inputLine + vbCrLf
End Sub
End Class
```

Ready

Fuente: elaboración propia.