


	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 1</b>

Neiva, 13 de Mayo de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

WEINER ANDRÉS JARAMILLO CRUZ, con C.C. No. 1075269309, autor del trabajo de grado titulado DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE ESTADORES PARA LA COMPAÑÍA BORETS INTERNATIONAL LTDA. SUCURSAL COLOMBIA.

Presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico;

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "Open Access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.





- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE.  
Firma: \_\_\_\_\_



	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE ESTADORES PARA LA COMPAÑÍA BORETS INTERNATIONAL LTDA. SUCURSAL COLOMBIA.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Jaramillo Cruz	Weiner Andrés

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Robayo Betancourt	Faiber Ignacio

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Electrónico

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Electrónica

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 61

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas  Fotografías  Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general \_\_\_ Grabados \_\_\_ Láminas \_\_\_  
 Litografías \_\_\_ Mapas \_\_\_ Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas o Cuadros

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-07**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 3**

**MATERIAL ANEXO:** Ninguno

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): Ninguno

#### PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Motor</u>	<u>Motor</u>	6. <u>Raspberry</u>	<u>Raspberry</u>
2. <u>Estator</u>	<u>Stator</u>	7. <u>Control</u>	<u>Control</u>
3. <u>Rotor</u>	<u>Rotor</u>	8. <u>Set Point</u>	<u>Set Point</u>
4. <u>Inductor</u>	<u>Inductor</u>	9. _____	_____
5. <u>Fuente</u>	<u>Power Source</u>	10. _____	_____





#### RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Teniendo en cuenta que la empresa Borets International requiere una mayor producción en el área de motores para ponerlos en servicio en los campos petroleros de sus clientes se hace necesario hacer una máquina que pueda secar los motores jaula de ardilla utilizados en el proceso del bombeo electrosumergible.

Esta máquina se diseña partiendo del conocimiento de que los inductores se comportan como una resistencia cuando se le aplica una corriente DC; para esto se utiliza como fuente de alimentación una máquina de soldadura eléctrica la cual proporciona la corriente necesaria de cada motor.

La fuente de alimentación proporciona dos salidas, pero los motores al ser trifásicos tienen tres conectores para la alimentación de sus fases, lo que obliga a tener de la máquina secadora tres salidas que conecten al estator, esto se logra por medio de un control On/Off el cual se realiza a través de SCR's en una adecuada configuración, teniendo como elemento de disparo a la raspberry pi. Como interfaz de usuario se utiliza una pantalla µLCD fabricada por 4dSystems, la cual se conecta a la raspberry pi por puerto USB y se comunica vía serial.

Como elementos de protección se emplean dos controles de temperatura modelo TC4S-14R de la empresa Autonics cada uno con su respectiva termocupla (tipo J) a los cuales se les configura un Set Point de temperatura en grados centígrados que al ser superado abre el circuito hasta que el valor sentido esté por debajo del valor configurado.

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

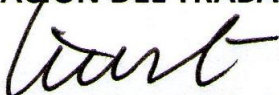
Given that the company Borets International requires increased production in the area of engines to put into service in the oil fields of their clients it is necessary to make a machine that can dry the squirrel-cage motors used in the process of electric submersible pumps.

This machine is designed based on the knowledge that the inductors behave as a resistance when applied to a DC current; for this is used as a power source an electric welding which provides the necessary current for each motor.

The power supply provides two outputs, but being three-phase motors have three connectors for power stages, forcing the drying machine having three outputs that connect to the stator, this is achieved through a Control On / Off using a SCR's in a suitable configuration, having as the tripping element a raspberry pi. As one LCD user interface screen manufactured by 4dSystems, which is connected to the raspberry pi USB port and communicates via serial.

As protection elements it used two temperature control, model: TC4S-14R from Company Autonics each with their respective thermocouple (type J) to which are set a set point temperature in degrees Celsius to be exceeded opens the circuit are used to the sensing value is below the set value.

**APROBACION DEL TRABAJO DE GRADO**



Nombre Jurado: Agustín Soto Otálora

Firma:



Nombre Jurado: Vladimir Mosquera Cerquera

Firma:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE  
ESTADORES PARA LA COMPAÑÍA BORETS INTERNATIONAL LTDA  
SUCURSAL COLOMBIA**

**WEINER ANDRÉS JARAMILLO CRUZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA  
2015**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE  
ESTADORES PARA LA COMPAÑÍA BORETS INTERNATIONAL LTDA  
SUCURSAL COLOMBIA**

**WEINER ANDRÉS JARAMILLO CRUZ**

**Proyecto de grado en modalidad de pasantía supervisada para optar al título  
de INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director:**

**Msc. Faiber Ignacio Robayo Betancourt**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA  
2015**

**Nota de aceptación:**

---

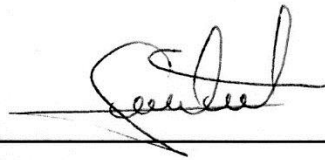
---

---

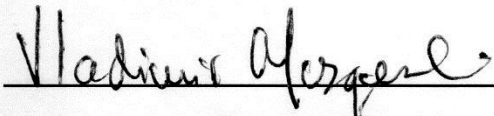
---

---

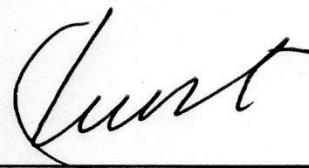
---



**Firma del director**



**Firma del jurado**



**Firma del jurado**

**Neiva, Abril 16 de 2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser quien estuvo siempre acompañándome; una compañía inigualable en todos los momentos donde pensé desfallecer.

A mi familia materna que siempre creyó en mí, depositó su confianza y me alentó cada segundo para seguir adelante, a mi mamá, mis abuelos y mi hermano para el que soy un ejemplo y espero seguir siéndolo toda la vida, ellos fueron y seguirán siendo un pilar importante para dedicarle este y cada uno de mis logros alcanzados.

A mi papá, que con sus palabras hacía que tomara más fuerza para continuar con mis estudios, para luchar y demostrar que sí se puede, a su esposa y mis hermanos que han demostrado su cariño y afecto en todos los momentos de mi vida, aunque mi abuela ya no esté, este logro también va para ella porque sé que siempre desde el cielo me ayudó a conseguir lo que he logrado y a superar todos los obstáculos que se presentaron.

A mi novia que ha sido incondicional y se merece todo, quien me ha apoyado y continúa haciéndolo brindándome su ayuda y las fuerzas para seguir en el camino de conseguir cada una de las metas propuestas.



## AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios por brindarme salud y sabiduría para culminar mi ciclo como estudiante universitario.

A mis padres Carlos Wilinton Jaramillo y Fabiola Cruz Lozano por apoyarme durante esta etapa de mi vida y ser parte fundamental de este proceso y en general a cada uno de los integrantes de mi familia.

Al Ingeniero Faiber Ignacio Robayo quien fue el encargado de dirigirme en la realización de este proyecto, a los Ingenieros Agustín Soto Otálora y Vladimir Mosquera quienes con su experiencia y conocimientos contribuyeron al desarrollo del mismo.

A todos y cada de los docentes de la Universidad Surcolombiana que me guiaron académica y personalmente durante el transcurso de mi carrera universitaria para alcanzar la meta de ser profesional.

A la compañía *Borets International* por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, además de financiar el proyecto en su totalidad; en especial a los Ingenieros Pablo Emilio García, Christian Bodington, Ángel Villamizar y Carlos Alberto Patiño quienes me apoyaron durante la realización del proyecto de grado y aportaron sus conocimientos para lograr los objetivos propuestos.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. BORETS INTERNATIONAL LTDA .....	15
1.1 ACERCA DE LA EMPRESA.....	15
2. FUNDAMENTACIÓN.....	17
2.1 MARCO DE REFERENCIA .....	17
2.2 MARCO TEÓRICO.....	18
2.2.1 Bombeo Electro-sumergible.....	18
2.2.2 Motor Electro-sumergible.....	18
2.2.3 Rotor de Jaula de Ardilla.....	18
2.2.4 Tiristores SCR. ....	19
2.2.5 Python.....	20
2.2.6 Raspberry Pi. ....	20
2.2.7 4D Systems. ....	21
2.2.8 Transductores de Corriente CT. ....	23
2.2.9 Microcontrolador PIC. ....	23
2.2.10 Servomotor. ....	24
2.2.11 Contactor de estado sólido. ....	24
3. ETAPA DE SENSADO Y ENVÍO DE DATOS.....	26
3.1 CURRENT TRANSDUCER .....	26
3.2 ADECUACIÓN DE LA SEÑAL SENSADA .....	26
4. CONTROL SERVOMOTOR.....	29
5. PROGRAMACIÓN Y MONTAJE DEL PIC.....	32
6. INTERFAZ DE USUARIO .....	35
7. CONTROL DE TEMPERATURA .....	38
8. CIRCUITO DE DISPARO SCR .....	39
9. PROGRAMACIÓN RASPBERRY PI.....	40
9.1 DESCRIPCIÓN RASPBERRY .....	40
9.2 CÓDIGO RASPBERRY PI .....	40
10. ANÁLISIS DEL RESULTADO .....	45

11. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS.....	47
11.1 DESARMADO DE UN MOTOR.....	47
12. CONCLUSIONES .....	50
13. RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación Vin amplificado .....	27
Tabla 2. Comparación Vin sin amplificar.....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. SCR Tipo tornillo.....	19
Figura 2. Ventana principal Workshop.....	21
Figura 3. Ventana de nuevo proyecto.....	22
Figura 4. Ventana de elección de entorno.....	22
Figura 5. Entorno de programación Visi Genie.....	23
Figura 6. Contactor Electromagnético.....	25
Figura 7. Conexión PIC.....	34
Figura 8. Form0 Pantalla de inicioFuente: Autor.....	35
Figura 9. Form1 Pantalla para dar inicio al secado y apagar la Raspi.....	36
Figura 10. Form2 Pantalla para enviar pulso al PIC y controlar posición.....	36
Figura 11. Form3 Pantalla que muestra mientras está secando el estator.....	37
Figura 12. Form4 Pantalla configuración del tiempo de secado.....	37
Figura 13. Control de temperatura TC4S-14R.....	38
Figura 14. Circuito de disparo.....	39
Figura 15. Diagrama esquemático.....	46
Figura 16. Máquina secadora de estatores.....	46
Figura 17. Conectores Motor-Sensor.....	47
Figura 18. Cabeza del motor.....	48
Figura 19. Juego de rotores de un motor de inducción.....	48
Figura 20. Lavado de estatores.....	49
Figura 21. Secado de estatores.....	49
Figura 22. Prueba de aislamiento eléctrico.....	49

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Circuito y tarjeta PCB (Disparo SCR y envío de datos por PIC).....	53
Anexo B. Hoja de datos pantalla $\mu$ LCD-70DT.....	55
Anexo C. Prueba de Aislamiento con SKF motor 330HP .....	60

## GLOSARIO

**ADC:** Conversor análogo-digital (Analog to Digital Converter)

**Bit:** Término utilizado en binario para referirse a un valor de 1 o 0

**BES:** Bombeo Electro-Sumergible

**Control On/Off:** Control de encendido o apagado.

**Corriente AC:** Corriente con alternancias positivas y negativas.

**Corriente DC:** Corriente con un solo valor constante.

**Coupling:** Adaptador que conecta una parte con otra.

**CT:** Transductor de corriente (Current Transducer). Elemento que a la entrada recibe una señal de corriente y en la salida entrega una de voltaje.

**MLE:** (Motor Lead Extension) Cable que conduce la corriente eléctrica que alimenta el sistema de bombeo electro-sumergible.

**PIC:** (Peripheral Interface Controller) Elemento de control utilizado para leer un voltaje análogo y convertirlo en un dato digital.

**Preescaler:** Valor que se utiliza para dividir la frecuencia del oscilador utilizada en el PIC.

**Resolución:** Mínimo cambio que tiene un aparato entre uno y otro dato leído.

**Set Point:** Punto en el cual se configure un valor estándar para tenerlo como referencia.

**String:** Tipo de dato utilizado para el envío de datos por puerto serial.

**Termocupla:** Sensor usado para medir la temperatura en los estatores.

**Timer:** Temporizador que se tiene para realizar el control del servomotor.

## RESUMEN

El proyecto consiste en una máquina secadora de estatores que posee las características necesarias para realizar el secado de motores jaula de ardilla, utilizados en equipos de bombeo electro-sumergible, los cuales trabajan con altos niveles de corriente AC. Los motores jaula de ardilla están formados por dos partes fundamentales; el rotor y el estator, esta última compuesta por el embobinado que al ser excitado genera el campo magnético que hace girar el juego de rotores.

Esta máquina se diseña partiendo del conocimiento de que los inductores se comportan como una resistencia cuando se le aplica una corriente DC; para lograr este comportamiento se utiliza como fuente de alimentación una máquina de soldadura eléctrica que fue escogida por sus características, las cuales coinciden con los requerimientos suficientes para el funcionamiento de la máquina secadora de estatores.

La fuente de alimentación proporciona dos salidas, pero los motores al ser trifásicos tienen tres conectores para la alimentación de sus fases, lo que obliga a tener de la máquina secadora tres salidas que conecten al estator, esto se logra por medio de un control On/Off el cual se realiza a través de SCR's en una adecuada configuración, teniendo como elemento de disparo a la raspberry pi. Como interfaz de usuario se utiliza una pantalla  $\mu$ LCD fabricada por 4dSystems, la cual se conecta a la raspberry pi por puerto USB y se comunica vía serial.

Como elementos de protección se emplean dos controles de temperatura modelo TC4S-14R de la empresa Autonics cada uno con su respectiva termocupla (tipo J) a los cuales se les configura un Set Point de temperatura en grados centígrados que al ser superado abre el circuito hasta que el valor sensado esté por debajo del valor configurado, lo anterior asegura que el estator no sufra daños en su embobinado.

Palabras claves: Motor, estator, rotor, inductores, fuente, raspberry, control, set point



## ABSTRACT

The project consists of a stators drying machine that has the characteristics needed for drying squirrel-cage motors used in electro-submersible pump, which work with high levels of AC. The squirrel-cage motors are comprised of two main parts; the rotor and stator, the latter composed of the winding which when energized generates a magnetic field that rotates the set of rotors.

This machine is designed based on the knowledge that the inductors behave as a resistance when applied to a DC current; to achieve this behavior is used as a power source an electric welding was chosen for its characteristics, which coincide with sufficient requirements for the operation of the stators drying machine.

The power supply provides two outputs, but being three-phase motors have three connectors for power stages, forcing the drying machine having three outputs that connect to the stator, this is achieved through a Control On / Off using a SCR's in a suitable configuration, having as the tripping element a raspberry pi. As one LCD user interface screen manufactured by 4dSystems, which is connected to the raspberry pi USB port and communicates via serial.

As protection elements It used two temperature control, model: TC4S-14R from Company Autonics each with their respective thermocouple (type J) to which are set a set point temperature in degrees Celsius to be exceeded opens the circuit are used to the sensing value is below the set value, the above ensures that the stator is not damaged in its winding.

Keywords: Motor, Stator, Rotor, Inductor, power source, raspberry, control, set point

## INTRODUCCIÓN

A medida que la industria avanza queda demostrado que la electrónica es uno de los campos de mayor influencia en el desarrollo de nuevas tecnologías y nuevos procesos que se llevan a cabo en esta. El campo petrolero no es ajeno a esta innovación ya que se ha visto tan beneficiado de los avances como cualquier otra rama en la que ha incursionado la electrónica.

Desde el año 1889 cuando el Ingeniero Mikhail Dolivo-Dobrovolsky inventó el motor de inducción trifásico mientras trabajaba para la AEG, éste ha sido muy utilizado en la industria debido a su robustez y fiabilidad a la hora de funcionar. La compañía General Electric en el año 1891 empieza a desarrollar motores de inducción trifásica y en 1896 firman un acuerdo con Westinghouse para lograr el diseño de lo que luego iba a ser llamado el rotor jaula de ardilla. El sistema de bombeo electro-sumergible fue inventado y desarrollado por el ruso Armais Arutunoff a finales de 1910 y en 1911 con la compañía "Russian Electrical Dynamo of Arutunoff" (REDA) desarrolló el primer motor que podía ser operado en un pozo petrolero. De allí cada una de las empresas petroleras empezó a hacer uso de éste en su equipo de sistemas de levantamiento artificial. [1]

Borets International es una empresa de origen ruso con sedes en más de 24 países dedicada al bombeo electro-sumergible y de cavidad progresiva, por lo que el motor de inducción jaula de ardilla es de gran importancia en cada uno de los sistemas de levantamiento artificial que se llevan a cabo en la compañía ya que es el encargado de proporcionar la energía que necesita el equipo para extraer el crudo.

Cuando uno de los elementos del equipo de bombeo falla se hace necesario detener la operación en el pozo y extraer el equipo; teniendo en cuenta que si no es el motor el que presenta problemas, éste puede ser reutilizado, por lo tanto cuando se lleva a cabo este proceso el motor pasa por una serie de pruebas, lavado, secado y rearmado. Las pruebas indican si el motor aún tiene vida útil suficiente para seguir en funcionamiento, los resultados de éstas dependen del estado en el que se encuentren las bobinas del estator y del buen secado del mismo.

El proyecto de diseño e implementación de la máquina secadora de estatores es de gran importancia en la compañía puesto que con la recuperación de los motores se está logrando un beneficio económico de gran nivel y dicha maquina cumple todos los parámetros para tener un secado de estatores óptimo ya que se tiene en cuenta la corriente nominal y se pone a secar con corriente DC a un 80% de ésta para provocar en el embobinado el efecto térmico deseado y lograr la temperatura adecuada.

## 1. BORETS INTERNATIONAL LTDA

### 1.1 ACERCA DE LA EMPRESA

Borets International Ltda., es una empresa Rusa fundada en el año de 1897 líder mundial en ingeniería de sistemas de levantamiento artificial de petróleo, fabricación, ventas y servicio. Las principales líneas de productos que se manejan en la empresa son las Bombas Electro-sumergibles (ESP) y de Cavidad Progresiva (PCP).

La compañía opera en más de 24 países con el suministro de equipos y servicios a las principales empresas nacionales e internacionales del petróleo. Existen 28 centros de servicios que operan en los principales países productores de petróleo como en Rusia, USA, Canadá, Brasil, Venezuela, Colombia, Egipto y Serbia.

Borets International Ltda. Sucursal Colombia, tiene sus sedes ubicadas en tres ciudades del país (Funza, Villavicencio y Neiva), presta servicios de instalación, mantenimiento, reparación y desinstalación de BSP (Bombas Electro-sumergibles), BCP (Bombas de Cavidad Progresiva), motores, sellos, etc. Sus principales clientes son Ecopetrol y Pacific Rubiales, tiene como visión ser en el 2018 un aliado estratégico de las compañías petroleras que desempeñan sus labores en Colombia.

La empresa está comprometida con los más altos estándares de calidad que se aplican en todos los aspectos, teniendo espacios adecuados para los diferentes procesos que se llevan a cabo en el campo, herramientas de últimas tecnologías correctamente calibradas además existe un compromiso con el medio ambiente por lo que se tienen programas de reciclajes, todo esto se confirma por las normas ISO 9000, 14000, OHSAS 18000 y la especificación de certificación API Q1. [2]

En cuanto a producción la empresa cuenta con empresas rusas y extranjeras que utilizan las tecnologías más avanzadas, equipos modernos y soluciones innovadoras para fabricar sistemas de bombeo de destino funcional múltiple. La unidad de producción se compone de las siguientes fábricas y empresas:

- Fábrica de construcción de maquinaria Lebedyansky (“LeMaz”, ciudad de Lebedan, provinciaLípetskaya (Rusia))
- Fábrica de construcción de maquinaria petrolera Lysvensky (“Lysvaneftemash”, ciudad de Lysva, provincia Krai de Perm (Rusia)).
- Fábrica de cables Kurgansky, ciudad de Kurgán (Rusia).
- Unidades de producción de la compañía «Borets» (ciudad de Moscú (Rusia));
- Unidades de producción en EE.UU, Canadá, Eslovaquia, China y otros países.

La “Compañía de Servicio Borets” ofrece los servicios de investigación hidrodinámica de pozos y optimización de explotación de petróleo en las

condiciones de explotación complicadas. Los datos obtenidos se utilizan en la selección del equipo más conveniente (Sistema de bomba eléctrica centrífuga sumergible, Sistema de bomba eléctrica de cavidad progresiva) y en el desarrollo de los métodos de operación del equipo más eficaces.

Además, la “Compañía de Servicio Borets” presta los servicios de supervisión y soporte técnico por medio de:

- Operación bajo control del equipo nuevo y modernizado.
- Análisis de fallos y averías del equipo e investigación de causas.
- Prestación de recomendaciones para aumentar la eficacia de operación del equipo y prolongar el intervalo entre fallos.
- Consultas en línea acerca de la operación y servicio del equipo fabricado por la compañía “Borets”.

## 2. FUNDAMENTACIÓN

### 2.1 MARCO DE REFERENCIA

Para el secado de estores se tienen diferentes técnicas:

- Aplicar calor directamente a la superficie por medio de sopletes de altas temperaturas.
- Calentar la superficie aplicando corriente en las terminales de las fases del motor.

La empresa Leister es proveedora de calentadores y sopladores para uso industrial entre sus referencias se encuentra el calentador LHS 61 con características de alta temperatura llegando hasta los 650°C, tiene una potencia de 4 KW esta forma de calentar los estatores trae varias consecuencias negativas debido a que no tiene una regulación adecuada y la relación entre temperatura y corriente de cada uno de los motores no es ajustable por lo tanto presenta sobrecalentamiento en los estatores lo que puede afectar el bobinado, además no se tiene un control de temperatura que regule la temperatura para evitar daños en el estator. [3]

Por medio de la corriente se pueden calentar los estatores y es así como a Colombia llegó desde la casa matriz en Rusia una máquina que tiene capacidad de hasta 50 amperios, en la que se tiene cada control independiente (corriente, temperatura, switcheo), esta máquina se alimenta de un transformador de 12KVA y para el secado tiene un switcheo que se hará en intervalos de tiempo para hacer el cambio de fases. La capacidad de esta máquina está restringida por sus componentes y el tipo de electrónica que usan, ya que no provee la corriente con la que se debería secar los motores.

Con respecto al desarrollo del proyecto de la máquina secadora de estatores inicialmente se hizo un análisis de la fuente que se iba a utilizar para tal fin y de la forma en que iba a ser implementado para que su relación costo-beneficio fuera grande. Los variadores de frecuencia han sido utilizados para esta aplicación pero por su gran costo no es una opción válida; en este proceso han puesto como opción las pistolas de calor pero han sido ineficientes por lo que también se descartó esa posibilidad; La máquina de soldadura se utilizó para tal fin pues esta por su forma normal de trabajo tiene un buen desempeño cuando se conecta con una carga de muy baja impedancia.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

**2.2.1 Bombeo Electro-sumergible.** Al contrario de la mayoría de los métodos de levantamiento artificial como el gas lift o los accionados por varillas de bombeo, cuya invención no puede atribuirse a ninguna persona ni tiempo definido, el sistema de bombeo electro-sumergible fue inventado y desarrollado por el ruso Arutunoff a finales de 1910.

En 1911 comenzó con la compañía "Russian Electrical Dynamo of Arutunoff" (REDA) y desarrolló el primer motor eléctrico que podía ser operado sumergido en un pozo de petróleo. Para conseguir fondos el Sr. Arutunoff primero emigró a Alemania en 1919, y luego en el año 1923 se estableció en USA. Arutunoff patenta en USA la bomba electro-sumergible (ESP) en 1926, cubriendo los principales aspectos de este nuevo sistema de levantamiento artificial. La primera instalación de una ESP fue satisfactoriamente operada en el campo El Dorado en Kansas en 1926. [1]

**2.2.2 Motor Electro-sumergible.** Es la fuente de potencia que genera el movimiento a la bomba para mantener la producción de fluidos. El motor eléctrico colocado en la parte inferior de aparejo, recibe la energía desde una fuente superficial, a través de un cable; su diseño compacto es especial, ya que permite introducirlo en la tubería de revestimiento existente en el pozo y satisfacer requerimientos de potencial grandes. Normalmente, consiste de una carcasa de acero al bajo carbón, con láminas de acero y bronce fijas en su interior alineadas con las secciones del rotor y del cojinete respectivamente.

Son bipolares, trifásicos, del tipo jaula de ardilla y de inducción: los rotores construidos con longitudes de 12 a 18 pg están montados sobre el eje y los estatores sobre la carcasa: el cojinete de empuje soporta la carga de los rotores. El interior del motor se llena con aceite mineral caracterizado por su alta refinación, resistencia dieléctrica, buena conductividad térmica y capacidad para lubricar a los cojinetes. [4]

**2.2.3 Rotor de Jaula de Ardilla.** Es la parte que rota, usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de

un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas). La base del rotor se construye con láminas de hierro apiladas.

Los devanados inductores en el estator de un motor de inducción instan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras. [5]

**2.2.4 Tiristores SCR.** En el proyecto utilizaremos dispositivos SCR para el control del paso de la corriente por dos de las tres fases de los motores para poder secar el estator de una manera uniforme. El rectificador controlado de silicio es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNPN o bien NPNP.

Un SCR posee tres conexiones: ánodo, cátodo y gate (puerta). La puerta es la encargada de controlar el paso de corriente entre el ánodo y el cátodo. Funciona básicamente como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la conducción y en el instante en que se aplique dicha tensión, el tiristor comienza a conducir. Trabajando en corriente alterna el SCR cambia su estado en cada alternancia o semiciclo. Trabajando en corriente continua, se necesita un circuito de bloqueo forzado, o bien interrumpir el circuito.

Los SCR utilizados en el proyecto son de tipo tornillo con capacidad de hasta 150 Amp. [6]

*Figura 1. SCR Tipo tornillo*



*Fuente: [www.suconel.com](http://www.suconel.com)*

**2.2.5 Python.** Es un lenguaje de programación multiparadigma. Esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Otros paradigmas están soportados mediante el uso de extensiones.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria. Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos).

Otro objetivo del diseño del lenguaje es la facilidad de extensión. Se pueden escribir nuevos módulos fácilmente en C o C++. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz programable.

Aunque la programación en Python podría considerarse en algunas situaciones hostiles a la programación funcional tradicional del Lisp, existen bastantes analogías entre Python y los lenguajes minimalistas de la familia Lisp como puede ser Scheme.

Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License,<sup>1</sup> que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, e incompatible en ciertas versiones anteriores. [7]

**2.2.6 Raspberry Pi.** Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida o (placa única) (*SBC*) de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

El diseño incluye un System-on-a-chip Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz (el firmware incluye unos modos "Turbo" para que el usuario pueda hacerle overclock de hasta 1 GHz sin perder la garantía), un procesador gráfico (GPU), VideoCore IV, y 512 Mb de memoria RAM. El diseño no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente; tampoco incluye fuente de alimentación ni carcasa.

El Raspberry Pi usa mayoritariamente sistemas operativos basados en el núcleo Linux (Software Libre). Raspbian, una distribución derivada de Debian que está optimizada para el hardware de Raspberry Pi, se lanzó durante julio de 2012 y es la distribución recomendada por la fundación para iniciarse. [8]



**2.2.7 4D Systems.** 4D Sistemas Pty Ltd es líder mundial en la investigación, desarrollo y fabricación de soluciones de gráficos inteligentes, ofreciendo procesadores y módulos gráficos únicos, innovadores y rentables aún líderes en el mercado de los clientes, la restauración de una amplia gama de aplicaciones e industrias.

Fundada en 1990, cuenta con una amplia experiencia que permite transformar conceptos e ideas en el corte de hardware y software de vanguardia productos, capaces de superar las demandas y expectativas de todos los clientes.

4D Systems diseña, desarrolla y fabrica soluciones de gráficos inteligentes que utilizan la última tecnología disponible OLED (Diodo Orgánico Emisor de Luz) y LCD (Pantalla de Cristal Líquido), con procesadores gráficos personalizados que permiten que ambos permiten soluciones dependientes e independientes, propicio para la amplia gama de aplicaciones y proyectos.

El equipo de ingeniería está formado por ingenieros electrónicos y de software con experiencia, que trabajan en estrecha colaboración con la ISO 9001. Fábricas de producción certificadas bajo prácticas y procedimientos de garantía de calidad estrictos, lo que permite desarrollar y ofrecer soluciones líderes en el mercado a todos los clientes, de la más alta calidad. [9]

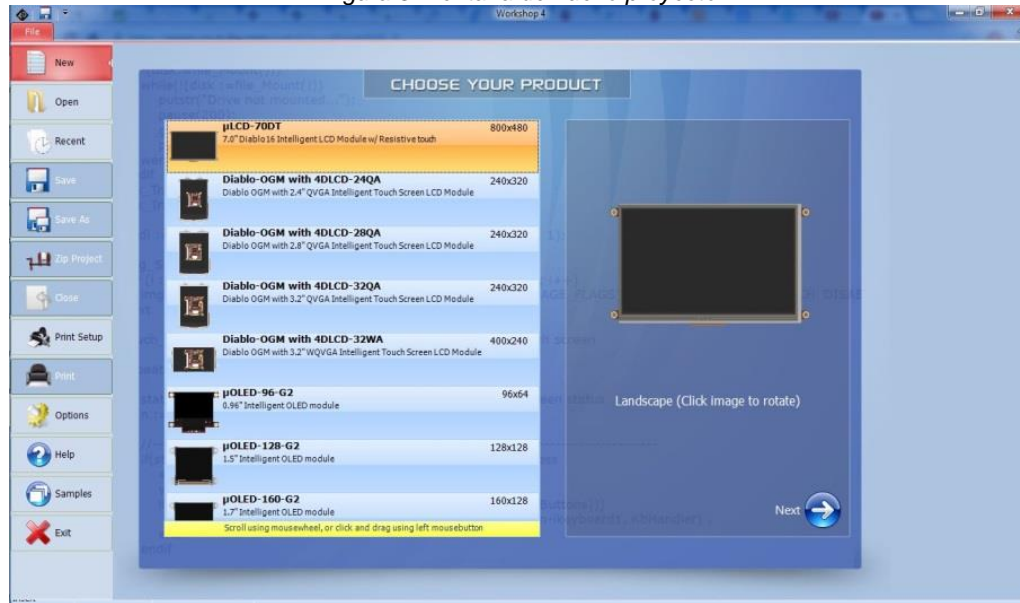
La empresa 4dsystems ofrece un software para la programación de cada uno de sus productos llamado Workshop, que maneja la siguiente interfaz.

Figura 2. Ventana principal Workshop



Fuente: Autor

Figura 3. Ventana de nuevo proyecto



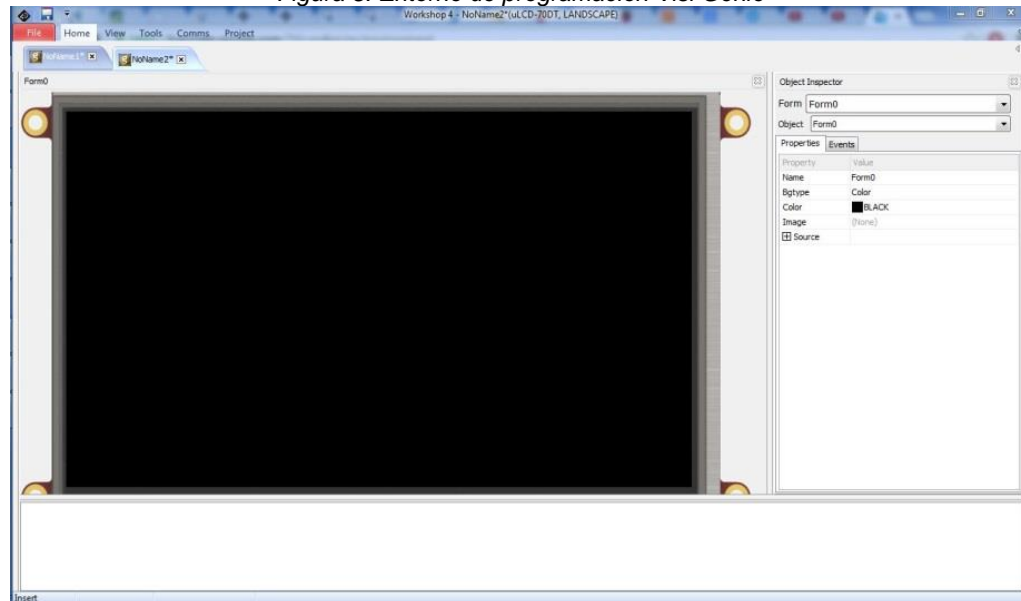
Fuente: Autor

Figura 4. Ventana de elección de entorno



Fuente: Autor

Figura 5. Entorno de programación Visi Genie



Fuente: Autor

**2.2.8 Transductores de Corriente CT.** Los transductores, constituidos por un sensor y circuitos electrónicos, posibilitan la conversión de magnitudes físicas no eléctricas como temperatura, fuerza, presión, distancia, movimiento, etc., en magnitudes eléctricas ya sean tensiones o corrientes DC.

Los convertidores de corriente entregan una salida de voltaje DC proporcional al valor medio aritmético o al valor medio eficaz de la intensidad de corriente alterna de entrada. [10]

**2.2.9 Microcontrolador PIC.** Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument. El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico).

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva CPU de 16 bits CP16000. Siendo en general una buena CPU, ésta tenía malas prestaciones de entrada y salida, y el PIC de 8 bits se desarrolló en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de E/S a la CPU. El PIC utilizaba microcódigo simple almacenado en ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador. En 1985 la división de microelectrónica de General Instrument se separa como compañía independiente que es incorporada como filial (el 14 de

diciembre de 1987 cambia el nombre a Microchip Technology y en 1989 es adquirida por un grupo de inversores) y el nuevo propietario canceló casi todos los desarrollos, que para esas fechas la mayoría estaban obsoletos. El PIC, sin embargo, se mejoró con EPROM para conseguir un controlador de canal programable. Hoy en día multitud de PIC vienen con varios periféricos incluidos (módulos de comunicación serie, UART, núcleos de control de motores, etc.) y con memoria de programa desde 512 a 32 000 palabras (una palabra corresponde a una instrucción en lenguaje ensamblador, y puede ser de 12, 14, 16 o 32 bits, dependiendo de la familia específica de PICmicro). [11]

**2.2.10 Servomotor.** Un servomotor es un dispositivo electromecánico capaz de rotar su eje a una posición específica a lo largo de su recorrido, inyectando un tren de pulsos controlados, a un circuito de control que posee dentro de su caja o chasis. Esta señal se introduce a través de un cable de control que se distingue entre los tres cables que posee y que según la marca del servomotor puede ser de color blanco o amarillo. Los cables de alimentación se distinguen por sus colores rojo (Positivo) y negro (Negativo). Un servomotor estándar tiene dimensiones muy apropiadas para realizar proyectos de robótica, y aunque se pueden encontrar en diferentes tamaños, es importante resaltar que la fuerza de un servo en su eje no es directamente proporcional al tamaño del mismo. Esto significa que su fuerza depende en gran sentido de su diseño interior, es decir, de la mecánica y material que componen sus engranajes.

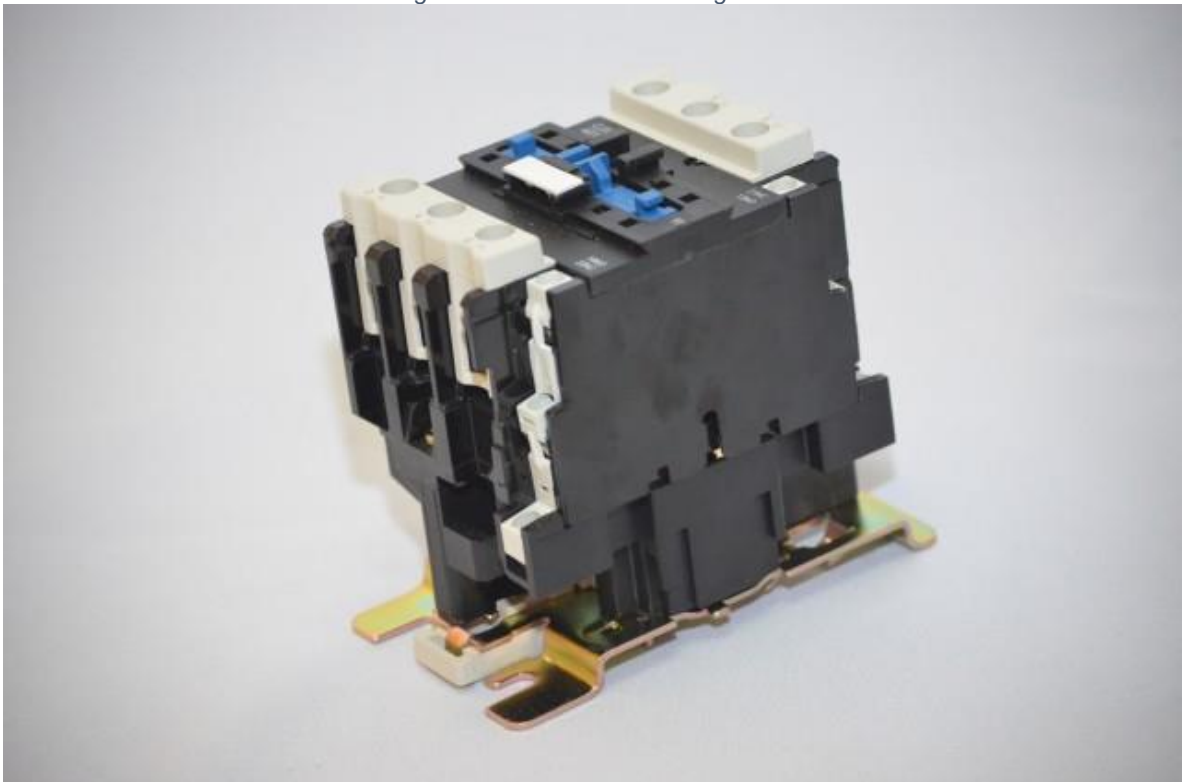
Para controlar la posición del eje de un servomotor, hace falta enviar un tren de pulsos, donde el ancho de cada pulso determina el punto en el cual el eje mantiene su posición, siempre y cuando esté presente el tren de pulsos. El recorrido será en la mayoría de los modelos de 180° y los tiempos correspondientes al pulso en la señal para la posición principal (0°, 90° y 180 °). [12]

**2.2.11 Contactor de estado sólido.** Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la capacidad de ser accionado a distancia. Este tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de “todo o nada”.

La función conmutación todo o nada o a menudo establece e interrumpe la alimentación de los receptores. Normalmente esta suele ser la función de los contactores electromagnéticos. La conmutación todo o nada también puede realizarse con relés y contactores estáticos. Del mismo modo puede integrarse en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores o los contactores disyuntores. [13]

Los contactores son alimentados en su bobina por corriente alterna o corriente continua, teniendo en cuenta su uso y la energía de donde se va a activar así mismo se elige el tipo de contactor.

*Figura 6. Contactor Electromagnético*



*Fuente: [www.utter.com.mx](http://www.utter.com.mx)*

### **3. ETAPA DE SENSADO Y ENVÍO DE DATOS**

#### **3.1 CURRENT TRANSDUCER**

La fuente empleada para el suministro de corriente es una máquina inversora para soldadura eléctrica que provee hasta cuatrocientos amperios, la misma tiene un transductor de corriente del cual se hizo uso para obtener el valor de corriente que está entregando al estator.

Para controlar el amperaje con el cual se llevará a cabo el proceso de secado de cada uno de los estatores, es necesario saber el valor de la corriente que la fuente de poder de la máquina está suministrando, para esto se utiliza un CT que viene integrado con la fuente de poder.

El *Current Transducer* (CT) es un elemento que mide corriente y a su salida entrega una señal de voltaje DC que se debe interpretar para obtener el valor de la corriente sensada.

#### **3.2 ADECUACIÓN DE LA SEÑAL SENSADA**

La fuente de poder utilizada en la máquina secadora posee una tarjeta la cual a su salida entrega un voltaje que tiene una variación de 0.01 voltios por cada amperio suministrado.

Los motores con los que se trabaja en la compañía alcanzan máximo 150 amperios, es decir que la variación de voltaje que va a tener la tarjeta se encuentra en un rango entre 0.2 y 1.5 voltios.

Para tener esta lectura en un dispositivo de control en este caso el PIC, es necesario realizar un análisis del procedimiento para obtener el mejor rango y la mayor eficiencia a la hora de utilizar la mayor cantidad de bits con los que trabaja el dispositivo.

El microcontrolador PIC se utilizó para adecuar la señal de voltaje de entrada, convertir ésta señal en digital y poder efectuar operaciones con ella. Para tener el mejor rango y la mejor resolución se hizo el siguiente análisis:

Tabla 1. Comparación Vin amplificado

			Voltaje de entrada Amplificado							
Vin	Ganancia	Vin	Dato dig(Vref:5) (10bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:5) (8bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:1,6) (10bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:1,6) (8bits)	Aprox.
0,2	3	0,6	122,88	123	30,72	31	384	384	96	96
1,5	3	4,5	921,6	922	230,4	230	2880	2880	720	720
			<b>Spam</b>	799	<b>Spam</b>	200	<b>Spam</b>	2496	<b>Spam</b>	624
			<b>Uso de Spam (%)</b>	78%	<b>Uso de Spam (%)</b>	78%				

Tabla 2. Comparación Vin sin amplificar.

			Voltaje de entrada sin amplificar							
Vin	Ganancia	Vin	Dato dig(Vref:5) (10bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:5) (8bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:1,6) (10bits)	Aprox.	Dato dig(Vref:1,6) (8bits)	Aprox.
0,2	3	0,6	40,96	41	10,24	10	128	128	32	32
1,5	3	4,5	307,2	307	76,8	77	960	960	240	240
			<b>Spam</b>	266	<b>Spam</b>	67	<b>Spam</b>	832	<b>Spam</b>	208
			<b>Uso de Spam (%)</b>	26%	<b>Uso de Spam (%)</b>	26%	<b>Uso de Spam (%)</b>	81,25%	<b>Uso de Spam (%)</b>	81,25%

El dato de entrada digital con el que se va a calcular el máximo rango de uso se halla de la siguiente forma:

$$Dato_{in} = Vin * 2^n / V_{ref}$$

En la tabla 1 se puede observar que cuando se trabaja con el voltaje de entrada amplificado no es posible utilizar un voltaje de referencia menor al voltaje de entrada máximo que se tiene, esto debido a que el dato digital sobrepasaría el número mayor permitido ya sea 256 o 1024 esto dependiendo el número de bits elegidos para el trabajo del ADC en el microcontrolador.

Luego de tener los resultados se decide por no amplificar el voltaje de entrada que llega al PIC ya que éste dispositivo tiene la posibilidad de configurarle un voltaje de referencia el cual ayuda a disminuir el rango de entrada para aprovechar al máximo todos los bits del ADC. El rango de entrada en voltios varía entre 0.2 y 1.5 lo que

significa un rango de valores digitales entre 128 y 960 trabajando con el ADC a 10 bits y con un voltaje de referencia de 1.6v.

La resolución para este caso es:  $Res = V_{ref}/2^n$   $n=10$  ya que son 10 bits para el ADC.

$$Res = 1.6v/1024$$

$$Res = 0.0015625v$$

$$Res = 1.5625mv$$

Con este resultado podemos decir que por cada unidad decimal que varíe el conversor ADC este representa 1.625mv.

### 3.3 ENVÍO DE DATOS A LA RASPBERRY PI

El PIC tiene una entrada ADC (Analog to Digital Converter) donde toma el voltaje que indica el valor de la corriente proporcionada y al hacer la lectura de este pin cada cierto tiempo se almacena en una variable un dato digital, con éste dato digital se debe efectuar las siguientes operaciones para obtener el dato de la corriente que está siendo sensada.

$$V_{in} = ADC * Res$$

$$V_{in} = ADC * (V_{ref}/1024)$$

Luego para tener el valor de la corriente que está suministrando la fuente de poder se debe multiplicar el voltaje de entrada por cien.

$$Amps = V_{in} * 100$$

El envío de datos a la raspberry se hace por medio de comunicación serial y el dato enviado es un *string* donde se utilizan dos banderas que tienen como función identificar cuál es el inicio y el fin del valor enviado.

Dato enviado: \* *Amps*#



#### 4. CONTROL SERVOMOTOR

La fuente de poder utilizada en la máquina secadora de estatores tiene un potenciómetro el cuál regula la salida de corriente y el servomotor es el encargado de controlar la posición del potenciómetro.

Por medio del PIC se hace el control del servomotor utilizando un timer con el cual se obtiene el tren de pulsos que ubica el eje en la posición indicada.

El servomotor que se usa en el proyecto funciona con una duración del pulso en alto entre 0.5 y 2.5 ms y con una duración del pulso en bajo de 20ms.

Para conseguir esto se hace el siguiente análisis:

El PIC cuenta con una función de interrupción por desborde de timer y en este caso se utiliza el Timer0, éste es de 8 bits y la duración para ejecutar una instrucción o cuenta es de 4 ciclos de reloj.

Se utiliza un preescaler de 16 en el PIC, esto para poder calcular con mejor exactitud la duración del estado en bajo de 20ms.

El tiempo de desborde del Timer0 se calcula así:

$$T_{desborde} = (4/FOSC) * (Preescaler) * (2^n - TMR)$$

FOSC = Frecuencia de Oscilador (4Mhz)

Preescaler = Número de veces que divide la frecuencia del oscilador (16)

n = número de bits utilizados en el timer (8)

TMR = Salto donde va iniciar el temporizador (0)

$$T_{desborde} = (4/4 * 10e6Hz) * (16) * (2^8 - 0)$$

$$T_{desborde} = (1 * 10e - 6) * (16) * (256)$$

$$T_{desborde} = 4.096 * 10e - 3ms$$

Es decir que cada 4.096ms se desborda el Timer0, entonces para llegar a 20ms se calcula cuántas veces debe desbordar el timer y tratar de dar la mayor exactitud posible.

$$N_{veces} = 20 * 10e - 3s / 4.096 * 10e - 3s$$

$$N_{veces} = 4.88$$

Con este resultado se observa que el Timer0 debe desbordarse 4.88 veces es decir que son 4 veces que se desborda completa y en el 5 se desborda iniciando con un adelanto para que el tiempo sea menor.

Teniendo en cuenta que el temporizador Timer0 es de 8 bits se dice que éste debe hacer 256 saltos para poder tener un desborde entonces cada salto tiene una duración de:

$$Duracion_{salto} = \frac{4.096 * 10e - 3}{256}$$

$$Duracion_{salto} = 16 * 10e - 6s$$

Ahora calculando el salto en el que debe empezar el temporizador Timer0 en el desborde 5 se tiene:

$$Duracion_{5desbordes} = (5 * 4.096 * 10e - 3s)$$

$$Duracion_{5desbordes} = 20.48 * 10e - 3s$$

El resultado de esta operación muestra que la duración de 5 desbordes del Timer0 duran 20.48ms, teniendo así que eliminar 0.48ms para que los desbordes duren los 20ms que se necesitan.

Sabiendo que cada salto dura 16µs se debe buscar el valor del salto del cual se debe iniciar para provocar un adelanto en el desborde número 5.

$$Salto_{inicio} = \frac{0.48 * 10e - 3s}{0.016 * 10e - 3s}$$

$$Salto_{inicio} = 30$$

La variable  $Salto_{inicio}$  indica el valor en el cual el Timer0 debe iniciar en el desborde número 5.

Para lograr obtener esto se inicializa una variable en 0 y se asigna como contador de desbordes y cuando el Timer0 haya desbordado 4 veces en el 5 inicia con un adelanto de 30 para que dure 20ms todo el ciclo de desbordes que es lo que va mantener en bajo la señal del servomotor.

El ancho del pulso para el funcionamiento del servomotor debe estar comprendido entre 0.5ms y 2.5, ms indicando 0° y 180° respectivamente.

¿Cómo se sabe cuál es el valor de 0° y de 180° respectivamente?

Esto se puede hallar con el valor conocido de la duración de cada salto en el Timer0.

$$\text{Salto}_{0^\circ} = 0.5 * 10e - 3s/16 * 10e - 6s$$

$$\text{Salto}_{0^\circ} \cong 31$$

$$\text{Salto}_{180^\circ} = 2.5 * 10e - 3s/16 * 10e - 6s$$

$$\text{Salto}_{180^\circ} \cong 156$$

Los valores anteriormente hallados se utilizan para hacer comparaciones con el valor del Timer0 para saber hasta dónde es el máximo y hacia qué lado debe girar el eje del servomotor.

## 5. PROGRAMACIÓN Y MONTAJE DEL PIC

El PIC es el elemento encargado de tomar los valores de voltaje conectados a un pin de ADC, envía los datos a la raspberry pi y controla la posición del servomotor.

```
#include <18F452.h> //Pic que se va utilizar
#device adc=10 //Número de bits utilizados en el ADC

#FUSES NOWDT, WDT128, XT, NOPROTECT, NOOCSSEN, NOBROWNOUT, BORV20,
NOPUT, STVREN, NODEBUG
#FUSES NOLVP, NOWRT, NOWRTD, NOWRTB, NOWRTC, NOCPD, NOCPB, NOEBTR,
NOEBTRB

#use delay(clock=4000000) //Oscilador de cristal
#use standard_io(b) //Uso de salida por el puerto b
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8) //Declaración RS232

#define pin_salida PIN_B0 //Define pin salida
#define pin_mas PIN_D6 //Define pin de entrada para aumento de posición
#define pin_menos PIN_D5 //Define pin de entrada para disminuir posición

const int ajuste_time = 30; //definicion de variable para ajustar el 5 ciclo del time0 y que de 20ms
const int saltos_minimos = 31; //Saltos mínimos para iniciar el ancho del pulso en 0.5ms
const int saltos_maximos = 156; //Saltos máximos para no exceder el ancho del pulso de 2.5ms

int1 banderaRTCC = 0; //Bandera para indicar cuando ya es el quinto paso de Timer0
int1 cuentaRTCC = 0; //Cuenta de cada desborde de Timer0.
int1 banderaSERVO = 0; //Bandera para indicar cuando se activa el pin de salida del servo.
int configservo = saltos_maximos; //Set Point al que quiero llegar y mantener el servo;
int cuenta_envio = 0; //Bandera para delay de envio de datos

float vref=1.60; //Declaración voltaje referencia
float vin,lectura; //Declaración voltaje entrada y lectura
long amps; //Declaración de variable de envio

char datoin = 0x00; //Configuración para la entrada del dato de la com serial.
void evalua_entrada(void); //Declaracion del Void

#int_RTCC //Interrupción de desborde del timer0
void RTCC_isr(void)
{
    ++cuentaRTCC; //Cuenta de los desbordes de Timer0.
    ++cuenta_envio; //Cuenta para el envío de los datos
    if(cuentaRTCC==4) //Si llega a 4 los desbordes configura un nuevo inicio de Timer0
    {
        set_TIMER0(ajuste_time); //Configura el inicio de Timer0 para cumplir con los 20ms.
    }
}
if (cuenta_envio==300) //Número de veces para el delay en el envío de datos serial
{
```

```

lectura=read_adc(); //lectura de adc
vin =(((lectura)*(vref/1023))); //Conversión de digital en voltaje de entrada
amps=vin*100; //El voltaje no se amplifica porque se tiene un voltaje de referencia de 1.6
printf ("%Ld#\r\n",amps); //Envio de datos al rs232

}
if(cuentaRTCC==5)//Condicion para saber el límite de desbordes para 20ms.
{
    evalua_entrada(); //Hace el llamado del void para el evaluo de los pines de entrada
    banderaRTCC=1; //Bandera para activar el pin de salida en el puerto B
    cuentaRTCC=0x00; //Se pone en 0 el contador para esperar por un nuevo conteo de desborde.
}
}

void main()
{

    int valortimer0; Declaración de variable con el valor de Timer0

    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF);//Configuración de entradas ADC y Vref
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_16); //Configuración de preescaler 16

    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_16|RTCC_8_bit); //Configuración Timer0
    setup_timer_1(T1_DISABLED); //Deshabilitar Timer1
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1); //Deshabilitar Timer2
    setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1); //Deshabilitar Timer3
    enable_interrupts(GLOBAL); //Habilitar interrupciones globales
    setup_oscillator(OSC_NORMAL); //Configuración de Oscilador
    set_adc_channel(0); //Configuración de channel0 AN0

    set_TIMER0(0); //Inicializo el timer0 en 0.
    enable_interrupts(INT_RTCC);//Habilito y hago el llamado de le INT_RTCC

    while(true)
    {

        //Disparo del pulso para servo
        if (banderaRTCC==1)//Condicion para saber cuándo se activa el desborde y han pasado 20ms
        {
            banderaRTCC=0; //Reinicio la bandera para el proximo ciclo.
            output_high(pin_salida); //Activo el pin de salida del pulso
            banderaSERVO = 1; //Activo la bandera para que empiece a correr el tiempo del pulso.
        }
        //Control ancho de pulso (duración activo el servo)
        if (banderaSERVO == 1)
        {
            valortimer0=get_TIMER0(); //Obtener el valor del Timer0
            if (valortimer0>configservo) //Comparación entre el valor de Timer0 y posición del servo
            {
                banderaSERVO=0; //Pongo en 0 la variable para deshabilitar el pin de salida
                output_low(pin_salida); //Poner en 0 el pin de salida en el puerto B
            }
        }
    }
}

```

```

}
}
}

void evalua_entrada(void)
{
  datoIn=0x00; //Inicia la variable en 0
  if(input(pin_menos)) //Espera si hay un nivel alto en el PinD5
  {
    datoIn='-'; //Asigna el '-' a la variable datoIn
  }
  if(input(pin_mas)) //Espera si hay un nivel alto en el PinD6
  {
    datoIn='+'; //Asigna el '+' a la variable datoIn
  }

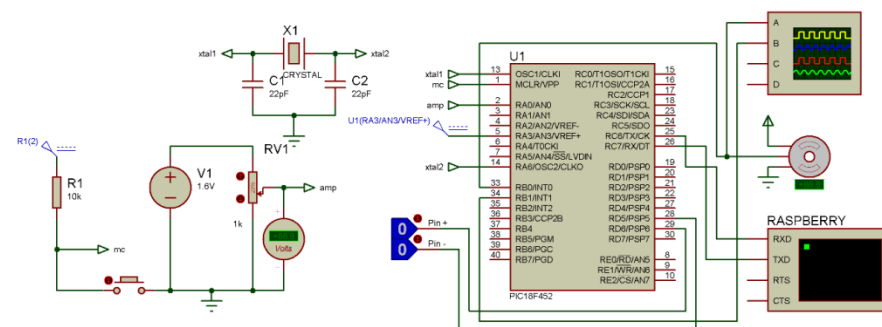
  if(datoIn!=0x00) //Condional diferente de 0
  {
    switch(datoIn)
    {
      //

      case '-': if(++configservo>saltos_maximos) //Aumentar la posición del eje
        {
          configservo=saltos_maximos; //Límite superior de la posición del eje del servo
        }
        break;
      case '+': if(--configservo<saltos_minimos) //Disminuir la posición del eje
        {
          configservo=saltos_minimos; //Límite inferior de la posición del eje del servo
        }
        break;
    }

    datoIn=0x00; //Volver el dato en cero para reiniciar la evaluación.
  }
}

```

Figura 7. Conexión PIC



Fuente: Autor

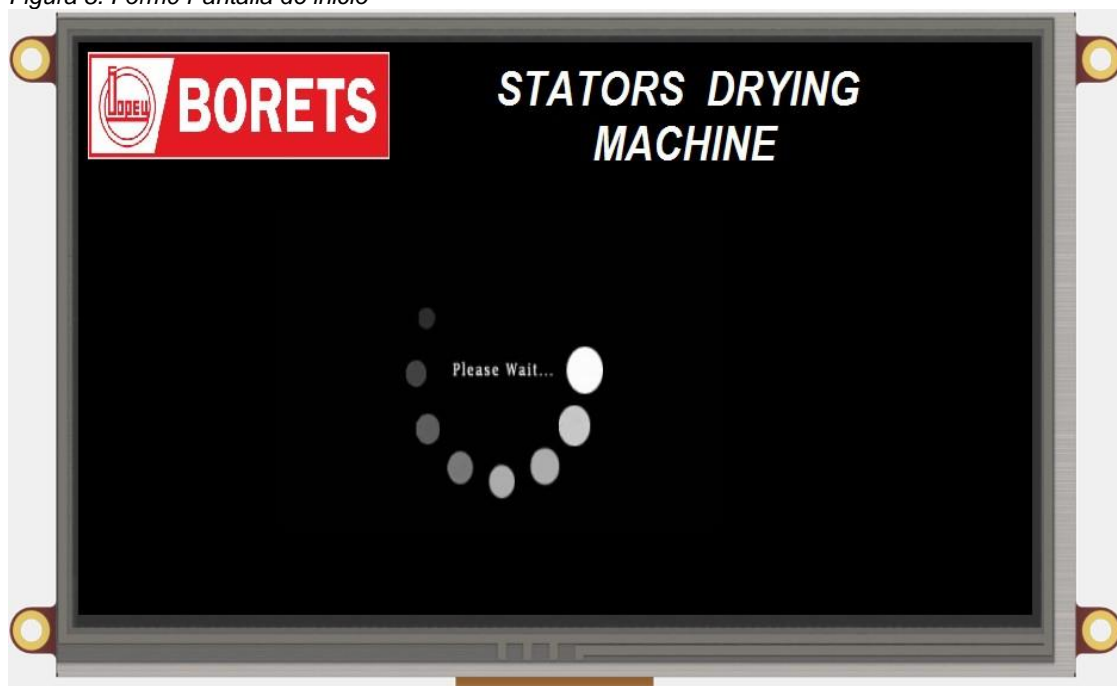
## 6. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario que permite el manejo de la máquina secadora de estatores se diseñó con el programa Workshop de la compañía 4dSystems. La pantalla es táctil resistiva de 7 pulgadas y desde ella se configura el tiempo, se envían los pulsos para el control de posición del eje del servomotor y establece comunicación con la raspberry pi para tener el control de fases.

En esta pantalla se tiene la posibilidad de visualizar por medio de leds las fases por las que está circulando la corriente, existen botones para navegar entre formularios, elementos que envían los datos a la raspberry y salidas digitales conectadas al PIC que sirven para controlar la posición del servomotor.

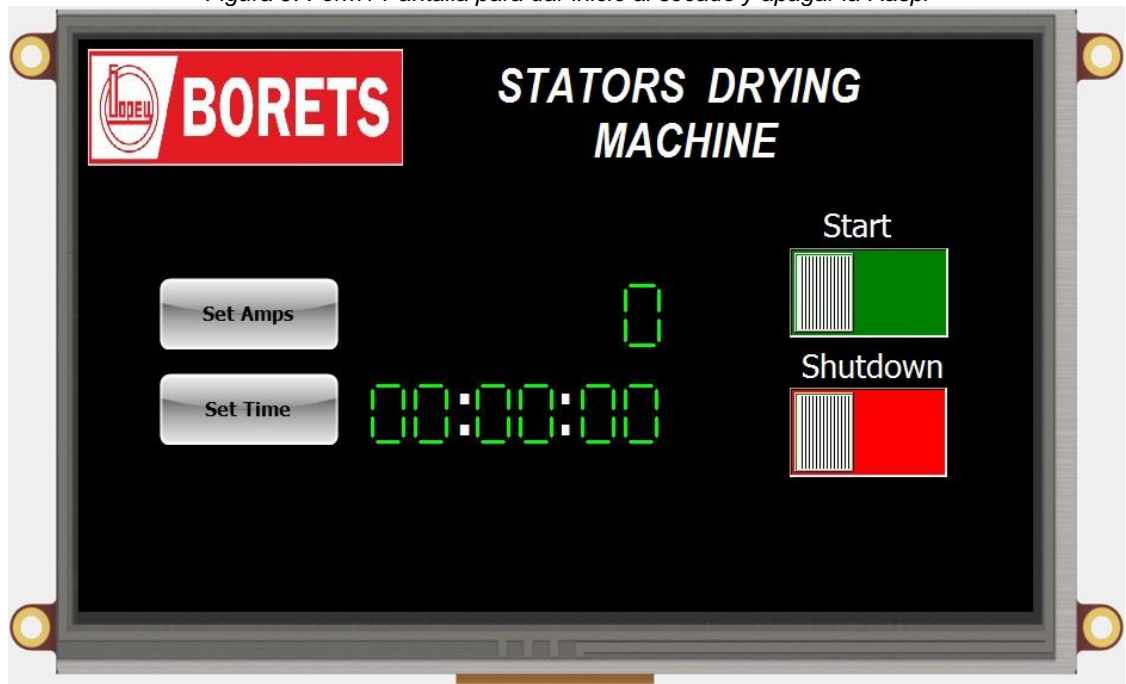
El diseño de la pantalla tiene 5 formularios:

Figura 8. Form0 Pantalla de inicio



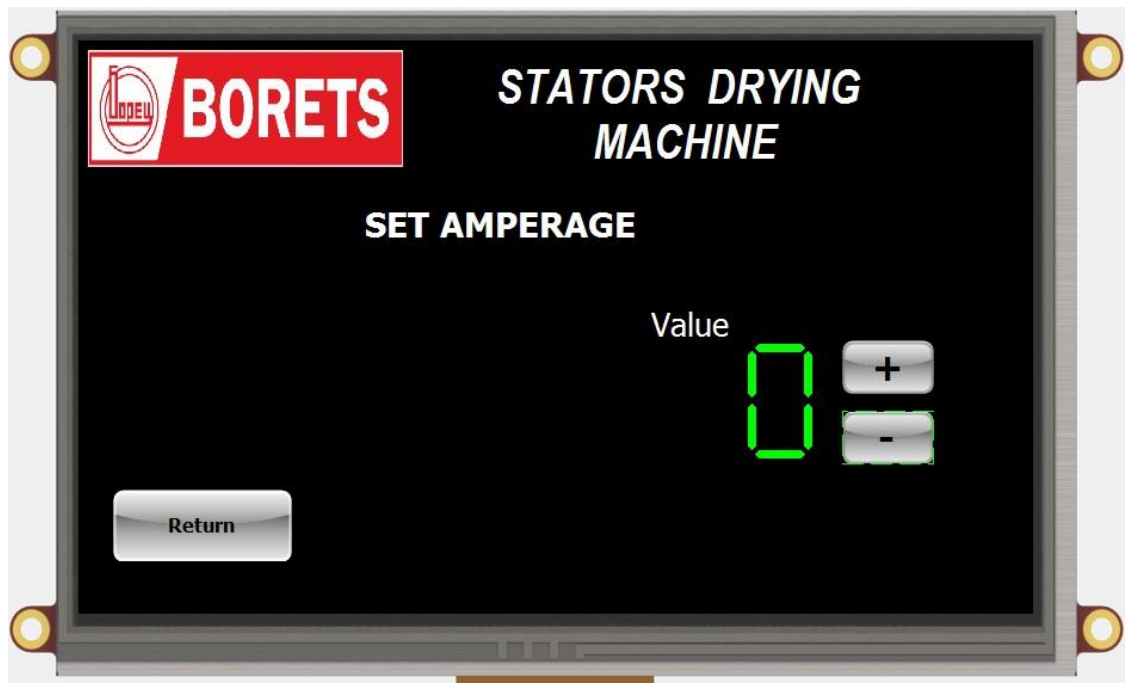
Fuente: Autor

Figura 9. Form1 Pantalla para dar inicio al secado y apagar la Raspi



Fuente: Autor

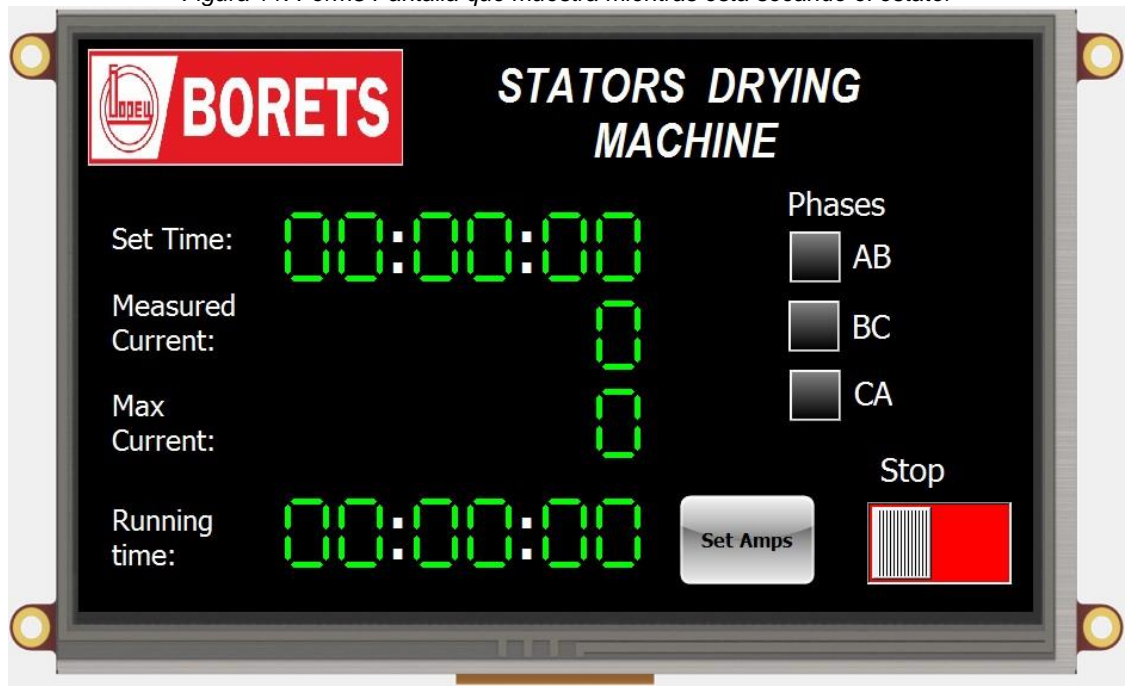
Figura 10. Form2 Pantalla para enviar pulso al PIC y controlar posición



Fuente: Autor

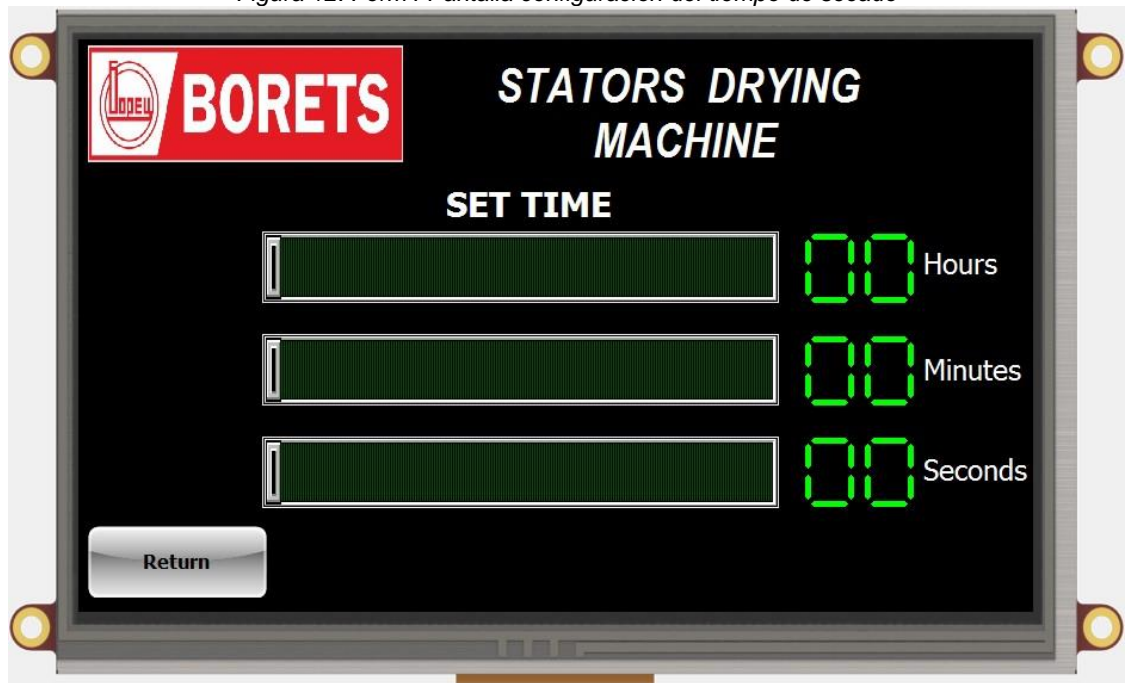


Figura 11. Form3 Pantalla que muestra mientras está secando el estator



Fuente: Autor

Figura 12. Form4 Pantalla configuración del tiempo de secado



Fuente: Autor

## 7. CONTROL DE TEMPERATURA

Los estatores que son puestos a secar con la máquina deben llegar a un máximo de temperatura de 135°C según lo establecido por el departamento de calidad de la compañía Borets International, esto con el fin de evitar daños en cada una de las bobinas ya que si esto ocurre el motor quedaría catalogado como *scrap* y esto genera aproximadamente 5000 US\$ de pérdidas para la empresa.

Para proteger los estatores de fallas por exceso de temperatura se utilizan dos controles de temperaturas que se configuran con el valor máximo al que puede llegar un estator, estos funcionan como control On/Off por lo tanto cuando sobrepasa el valor programado se abren provocando una interrupción en el suministro de corriente al estator y así evitando que se eleve más su temperatura.

Se utilizaron dos controles de temperatura de la empresa Autonics modelo TC4S-14R el cual tiene una pantalla con 4 dígitos y se conecta con una termocupla tipo J que por medio de un imán se adhiere al estator para sensarlo durante el tiempo de secado.

Figura 13. Control de temperatura TC4S-14R



Fuente: [articulo.mercadolibre.com.mx](http://articulo.mercadolibre.com.mx)

El control utilizado tiene las siguientes características:

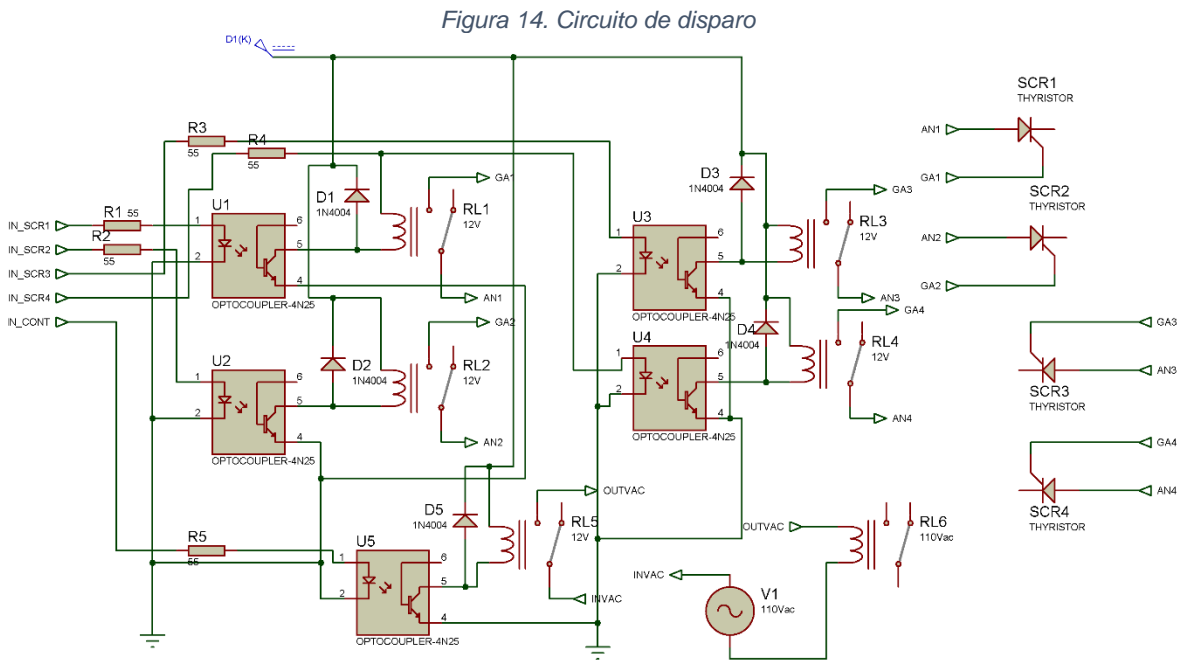
- Tiene una salida de alarma para cuando se sobrepasa el nivel de temperatura configurado.
- Alimentación de 100 a 240 Vac con una frecuencia de 50/60Hz.
- 4 Dígitos que indican el valor de la temperatura.
- Contacto normalmente cerrado cuando el valor sensado está por debajo del configurado.

## 8. CIRCUITO DE DISPARO SCR

Luego de estudiar el tipo de dispositivo que iba ser utilizado para dejar circular las altas corrientes que la máquina suministra a cada uno de los estatores, se llegó a la conclusión de utilizar SCR ya que estos soportan altas corrientes y conducen en un solo sentido lo que ayuda a evitar fallas y accidentes de corto circuito.

En el diseño del circuito de disparo de los SCR se hace uso de opto acopladores y relés esto debido a que es necesario tener aislado el circuito digital del circuito de potencia, los relés son elementos mecánicos de bajo costo que funcionan muy bien para disparar cada uno de los SCR. Los SCR cuando trabajan en corriente continua quedan enclavados, esto ocurre mientras la corriente que circula por ellos sea mayor a la corriente de mantenimiento de cada uno de los mismos.

La máquina secadora de estatores funciona con un control de switcheo entre fases debido a que los motores son trifásicos y para ser calentado debe hacerse por par de fases en un proceso cíclico durante 4 horas. Los opto acopladores son disparados por medio de un pulso que proviene del puerto GPIO de la Raspberry, cada par de fases están siendo calentadas por un tiempo determinado y al hacer el cambio de fases de deben desenchavar los SCR en conducción por medio de un contactor de estado sólido que se encarga de abrir el circuito total para poner en cero la corriente suministrada y dar la posibilidad de hacer conducir el par de fases siguiente.



*Fuente: Autor*

## 9. PROGRAMACIÓN RASPBERRY PI

### 9.1 DESCRIPCIÓN RASPBERRY

El dispositivo principal es la Raspberry Pi ya que establece comunicación directa con el PIC y con la pantalla LCD por medio de los puertos USB utilizando el protocolo serial rs232 a través del cual se configura el envío y la recepción de datos. La raspberry trabaja con un temporizador en tiempo real para realizar el número de ciclos que se requieran durante el proceso de secado de un estator.

El lenguaje de programación es Python y las facilidades que ofrece el mismo son iguales a las de cualquier software libre ya que las librerías van a la vanguardia en cada uno de los diseños que se requieren por tener la posibilidad de ser modificados por los mismos usuarios y adecuados a las propias aplicaciones.

Para las salidas digitales la raspberry utiliza el puerto GPIO con el cual entrega una salida de voltaje de 3,3v como nivel lógico 1 y 0v como nivel lógico 0. Por medio de una adaptación que se le hizo a la librería escrita en lenguaje c proporcionada por el fabricante de las pantallas 4Dsystems la raspberry puede leer el valor de cada uno de los objetos que allí se ubican. Para obtener el valor entero del dato recibido del PIC se hace necesario declarar unas variables de inicio y de fin para tener la certeza que es el dato que se está leyendo,

### 9.2 CÓDIGO RASPBERRY PI

```
import geniePi as D
import wiringpi2 as W
import time
import datetime
import RPi.GPIO as GPIO ## Import GPIO library
from threading import Timer
import serial
import os

GPIO.setmode(GPIO.BOARD) ## Use board pin numbering
GPIO.setup(11, GPIO.OUT) ## Setup Activar o desactivar contactor
GPIO.setup(13, GPIO.OUT) ## Setup SCR 1
GPIO.setup(15, GPIO.OUT) ## Setup SCR 2
GPIO.setup(16, GPIO.OUT) ## Setup SCR 3
GPIO.setup(18, GPIO.OUT) ## Setup SCR 4

# Turn off all the GPIO ports
GPIO.output(11,False) ## Turn off GPIO pin 11      Apagar todos los pines GPIO
GPIO.output(13,False) ## Turn off GPIO pin 13
GPIO.output(15,False) ## Turn off GPIO pin 15
```

```

GPIO.output(16,False) ## Turn off GPIO pin 16
GPIO.output(18,False) ## Turn off GPIO pin 18

# Global configuration

global timeout
timeout = 0.4
global timebetweenon
timebetweenon = 3
off = 0

def read_pic():
    pic = serial.Serial(port="/dev/pic",
                        baudrate=9600,
                        timeout=0.5,
                        parity=serial.PARITY_NONE,
                        stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
                        bytesize=serial.EIGHTBITS)

    lectura = str(pic.readline()) ##Lectura de una linea del pic
    pos1 = lectura.find('*')##Encuentra la posicion inicial con *
    pos2 = lectura.find('#')##Encuentra la posicion final con #

    var3 = int(float(lectura[pos1+1:pos2]))##Concatena en una variable los datos recibidos
    pic.close() #Finalizamos la comunicacion
    return var3 ##Devuelve la variable como entera

def offvar():
    global off
    off = 1
    print "Shutdown: "
    D.genieWriteObj (19, 0, 0)# apago led AB ##Aaga userled0
    D.genieWriteObj (19, 1, 0)# apago led BC ##Apaga userled1
    D.genieWriteObj (19, 2, 0)# apago led CA ##Apaga userled2
    turnoff()

def convert_timedelta(duration):
    days, seconds = duration.days, duration.seconds
    hours = days * 24 + seconds // 3600
    minutes = (seconds % 3600) // 60
    seconds = (seconds % 60)
    return hours, minutes, seconds

def startphaseab():
    print "AB - Off: " + str(off)
    if (off==0):
        print "Start Phase AB"

        # Turn off the Relay
        turnoff()

```

```

D.genieWriteObj (19, 2, 0)##Apaga userled2
time.sleep(5)
GPIO.output(11,True) ## Turn on GPIO pin 11      Activa el contactor
time.sleep(timebetweenon)
GPIO.output(13,True) ## Activa fase AB
GPIO.output(16,True) ## Turn on GPIO pin 16
time.sleep(timeout)
GPIO.output(13,False) ## Turn off GPIO pin 13
GPIO.output(16,False) ## Turn on GPIO pin 16
D.genieWriteObj (19, 0, 1)
t1 = Timer(59.0, startphasebc) #start timer
t1.start() # after 59 seconds, tiempo en funcionamiento de fases ab
else:
    print "Proceso Finalizado"
    D.genieWriteObj (10, 1, 1) #change the screen
    turnoff()

def startphasebc():
    print "BC - Off: " + str(off)
    if (off==0):
        print "Start Phase BC"

        # Turn off the Relay
        turnoff()
        # Turn off the Relay
        D.genieWriteObj (19, 0, 0)##Apago userled0
        time.sleep(5)
        GPIO.output(11,True) ## Turn on GPIO pin 11      Prender la maquina
        time.sleep(timebetweenon)
        GPIO.output(15,True) ## Turn on GPIO pin 15
        GPIO.output(18,True) ## Turn on GPIO pin 18
        time.sleep(timeout)
        GPIO.output(15,False) ## Turn off GPIO pin 15
        GPIO.output(18,False) ## Turn off GPIO pin 18
        D.genieWriteObj (19, 1, 1)##Enciendo userled1
        t1 = Timer(59.0, startphaseca) #start timer
        t1.start() # after 59 seconds, tiempo en funcionamiento de fases bc
    else:
        print "Proceso Finalizado"
        D.genieWriteObj (10, 1, 1) #change the screen to Form1
        turnoff()

def turnoff():
    GPIO.output(11,False) ## Turn off GPIO pin 11      Desactivar el contactor
    GPIO.output(13,False) ## Turn off GPIO pin 13
    GPIO.output(15,False) ## Turn off GPIO pin 15
    GPIO.output(16,False) ## Turn off GPIO pin 16
    GPIO.output(18,False) ## Turn off GPIO pin 18

def startphaseca():
    print "CA - Off: " + str(off)
    if (off==0):
        print "Start Phase CA"

```

```

# Turn off the Relay
turnoff()
D.genieWriteObj (19, 1, 0)##Apago el userled1
time.sleep(5)
GPIO.output(11,True) ## Turn on GPIO pin 11      Activar el contactor
time.sleep(timebetweenon)
GPIO.output(13,True) ## Turn on GPIO pin 13
GPIO.output(18,True) ## Turn on GPIO pin 18
time.sleep(timeout)
GPIO.output(13,False) ## Turn off GPIO pin 13
GPIO.output(18,False) ## Turn off GPIO pin 18
D.genieWriteObj (19, 2, 1)##Turn on Userled2
t1 = Timer(59.0, startphaseab) #start timer
t1.start() # after 59 seconds, tiempo en funcionamiento de fases CA
else:
print "Proceso Finalizado"
D.genieWriteObj (10, 1, 1) #change the screen to Form1
turnoff()

def apagado(s):
    t1 = Timer(s, offvar) #start timer
    t1.start()

td = datetime.datetime.now()

W.wiringPiSetup()
D.genieSetup("/dev/lcd", 9600)

d = 0
# Apagar el dispositivo
D.genieWriteObj (10, 1, 1) #change the screen to Form1
while 1:
try:
    variable = read_pic()
    D.genieWriteObj (15, 2,variable) #Write measured current in Leddigits2 Form3
    D.genieWriteObj (15, 10, variable) #Write measured current in Leddigits10 Form2
    D.genieWriteObj (15, 0, variable) #Write measured current in Leddigits10 Form1

    e = D.genieReadObj(15,7) ##Read leddigits hour
    f = D.genieReadObj(15,8) ##Read leddigits minuts
    g = D.genieReadObj(15,9) ##Read leddigits seconds

    D.genieWriteObj (15, 13, e) #Write hour in leddigits13 Form1
    D.genieWriteObj (15, 16, f) #Write minuts in leddigits16 Form1
    D.genieWriteObj (15, 17, g) #Write seconds in leddigits17 Form1

    b = D.genieReadObj(0,1)##Leer dipswitch0 in Form3
    #print "Switch " + str(b)
# Funcionamiento
##d = D.genieReadObj(4,4)
##D.genieWriteObj (15, 0, int(d)) #Amperage in the principal page
##D.genieWriteObj (15, 3, int(d)) #Max Current

```

```

if (b == 1):
    global off
    off = 0
    D.genieWriteObj (10, 3, 1) #change the screen to Form3
    D.genieWriteObj (0, 1, 0) #Turn Off Dipswitch1
    s = D.genieReadObj(4,2) ##Read Slider2 Seconds
    m = D.genieReadObj(4,1) * 60 ##Read Slider1 Minuts
    h = D.genieReadObj(4,3) * 3600 ##Read Slider3 Hours
    smh = s + m + h
    #apagado(smh)
    t2 = Timer(smh, offvar) #start timer
    t2.start()

    t1 = Timer(5.0, startphaseab) #start timer
    t1.start() # after 59 seconds tiempo en funcionamiento
    enable = 1
    td = datetime.datetime.now()

apagar la raspi
off_raspi = D.genieReadObj(0,2) ##Declara variable de lectura del Dipswitch2 en Form1
if (off_raspi == 1):
    os.system("sudo halt")

now = datetime.datetime.now()
faltante = now - td
faltante = convert_timedelta(faltante)
D.genieWriteObj (15, 6, faltante[2]) #Write var left in leddigits6 (Hours)
D.genieWriteObj (15, 5, faltante[1]) #Write var left in leddigits5 (Minuts)
D.genieWriteObj (15, 4, faltante[0]) #Write var left in leddigits4 (Seconds)
c = D.genieReadObj(0,0)
if (c == 1):
    D.genieWriteObj (19, 0, 0)# apago userled AB
    D.genieWriteObj (19, 1, 0)# apago userled BC
    D.genieWriteObj (19, 2, 0)# apago userled CA
    # Aca el codigo para apagar la bobina
    turnoff()
    #D.genieWriteObj (10, 1, 1) #change the screen
    D.genieWriteObj (0, 0, 0) # apago el dipswitch0 (Stop)
    enable = 0
    offvar()
    t1.cancel()
    t2.cancel()
time.sleep(0.5)

except (KeyboardInterrupt, SystemExit):
    GPIO.cleanup()
    exit()
except:
    pass

```



## 10. ANÁLISIS DEL RESULTADO

De acuerdo al objetivo principal se logró el diseño de una máquina que cumple con todos los requerimientos que la empresa solicitó inicialmente. La máquina tiene una capacidad de 150 amperios lo que es suficiente para un secado óptimo de los estatores con los que se trabajan en la compañía. El secado uniforme de los estatores el cual era uno de los principales requerimientos, se logró por medio del control de switcheo de sus fases haciendo uso de los SCR y de la raspberry pi.

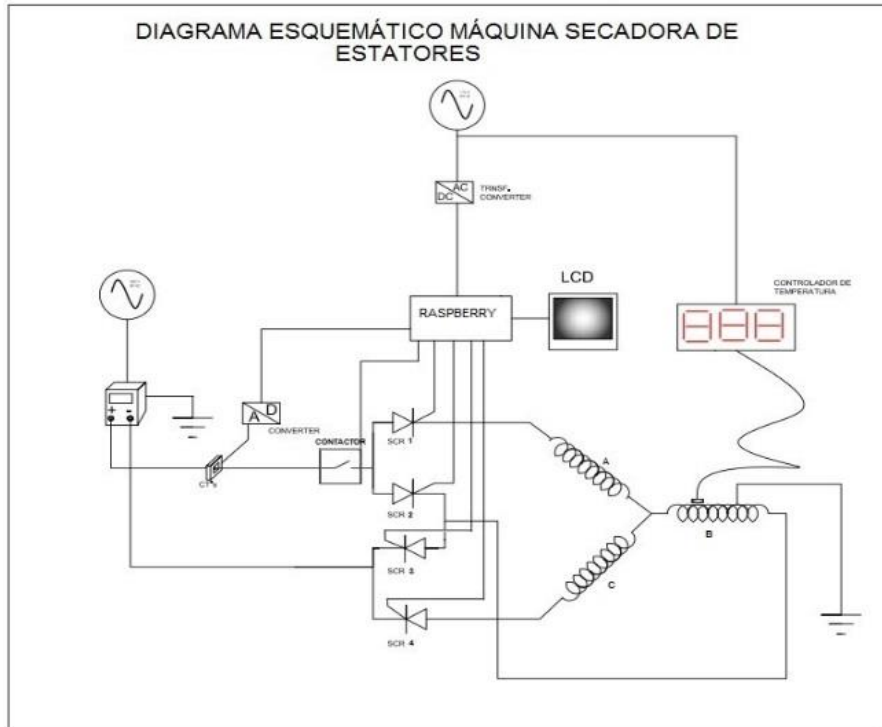
El aislamiento es un parámetro fundamental a tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad del motor, anteriormente éste arrojaba un resultado que no lo hacía óptimo conforme a lo establecido por el departamento de calidad, factor que se mejoró enormemente con la realización de este proyecto, esto quedó demostrado con los resultados de las respectivas pruebas de megado y Hipot a las que son sometidos todos los motores de acuerdo a la norma IEEE 95 que establece el tipo de pruebas que se realizan a los equipos eléctricos para evaluar el estado de sus inductores y la capacidad de su aislamiento.

Adicionalmente a las mejoras en cuanto a calidad se refiere, se logró una mejora sustancialmente importante en el tiempo de secado, puesto que éste era de aproximadamente 8 horas es decir se podía secar 1 estator por jornada laboral, en la actualidad se lleva a cabo el secado de 2 estatores en el mismo tiempo, lo que significa un aumento de producción al doble y esto a su vez genera mayor disponibilidad para la venta y mejores ingresos para la compañía.

La máquina cuenta con una interfaz que es amigable con el usuario haciendo uso de nuevas tecnologías ya que posee características de equipos modernos, además las salidas digitales con las que cuenta facilitan la interacción con otros dispositivos.

Finalmente se obtuvo una máquina que física y funcionalmente brinda solidez y confianza debido a su robustez y el adecuado diseño de cada una de sus etapas.

Figura 15. Diagrama esquemático



Fuente: Autor

Figura 16. Máquina secadora de estadores



Fuente: Autor

## 11. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

### 11.1 DESARMADO DE UN MOTOR

Cuando los equipos de bombeo electro-sumergible que la compañía Borets International tiene en servicio fallan o cumplen su ciclo útil se llevan al taller en la base de Funza y se les hace una revisión y recuperación para ser reutilizados.

Como primera medida se le hace una prueba de impedancia entre fases llamada prueba de balanceo donde se establece el valor en ohmios de cada fase y la diferencia entre cada resultado debe ser mínima, de lo contrario se dice que las bobinas del motor han sufrido desgaste y el motor ya se desecha por ser *scrap*. El valor de la impedancia entre fases de los motores varía entre 0.2 y 0.8 Ohmios.

Si pasa dicha prueba el motor se traslada al banco de desarme dejando solo el estator para ser lavado y secado. Inicialmente se procede a quitar los conectores de cada una de las fases conectadas a la base del motor:

Figura 17. Conectores Motor-Sensor



Fuente: Autor

Los conectores que se ven en las imágenes son aquellos que van conectando el motor con el sensor de fondo, estos conectores se tienen que soltar para poder sacar la base del motor dejar libre el estator.

La base del motor va conectada por medio de un *coupling* al estator y este se retira para luego sacar el juego de rotores.

En el otro extremo el motor tiene la cabeza la cual se conecta con la base del sello, además posee un adaptador para conectar el *MLE* ya que este es el cable encargado de proporcionar la energía necesaria para que el motor funcione.

Figura 18. Cabeza del motor



Fuente: Autor.

Al sacar la cabeza del motor ya es posible retirar el juego de rotores que se desarma completamente para aprovechar los rotores y enderezar el eje.

Figura 19. Juego de rotores de un motor de inducción



Fuente: Autor

Luego de dejar libre el estator se debe pasar al banco de lavado para quitar todo el aceite que se haya podido filtrar durante la bajada y desarme del equipo. El motor se lava con un solvente especial dieléctrico el cual se deja circular por el interior del estator durante 1 hora.

Figura 20. Lavado de estatores



Fuente: Autor

Posteriormente el estator es trasladado al banco de secado donde el proceso dura 4 horas y el objetivo es eliminar todo tipo de residuos de solvente y aumentar el aislamiento del estator.

Figura 21. Secado de estatores



Fuente: Autor

Finalmente el estator es sometido a una prueba con alto voltaje (Hipot) realizada con un equipo SKF donde se exige al máximo aplicando el doble de su voltaje más mil para verificar el aislamiento con el que ha quedado el estator como resultado del secado.

Figura 22. Prueba de aislamiento eléctrico



Fuente: Autor

## 12. CONCLUSIONES

- Se logró el objetivo de diseñar e implementar una máquina secadora de estatores que satisface las necesidades de la compañía Borets International para cumplir con la reparación y la reutilización de los motores de inducción utilizados en el bombeo electro-sumergible.
- Los motores prolongan su vida útil cuando se hace buen uso de ellos y se les realiza un proceso de reparación satisfactorio que cumple con los estándares de calidad de la compañía y de los clientes a quienes se les presta el servicio.
- Con las pruebas de aislamiento y de *Hipot* se establece la capacidad de respuesta frente a condiciones de tensión máxima con lo que se previene riesgos de corto circuito cuando se pone en funcionamiento con el equipo de fondo ya que esto podría parar la operación en pozo.
- La disminución del tiempo de secado y el incremento de estatores en el taller listos para ser puestos en funcionamiento aumenta notablemente los indicadores de producción y mejor calidad en los motores lo que genera ingresos económicos representativos para la compañía.
- El aislamiento en los motores eléctricos se incrementó considerablemente, pues antes con el secado llegaban hasta  $50G\Omega$  en un tiempo de 8 horas y en la actualidad llegan aproximadamente a  $85G\Omega$  en tiempo de 4 horas de secado, lo cual indica que se logró un mejor secado en el estator y una mayor rigidez dieléctrica en las bobinas.
- Con elementos de nueva tecnología se pudo realizar una máquina robusta, de fácil manejo y que cumple todos los requerimientos de protección y capacidad de corriente para el secado de los estatores con los que se trabajan en Borets International.
- La máquina se diseñó con una capacidad de corriente de 150 amperios con el fin de no exceder en costos pues dicho amperaje es suficiente para realizar un óptimo secado ya que a la compañía no llegan motores con mayor amperaje.

### 13. RECOMENDACIONES

- Para mejorar aún más las condiciones de secado se puede trabajar luego de este con una cámara de nitrógeno aprovechando la composición del mismo para eliminar las partículas de agua que puedan quedar en el estator.
- Se podría manejar la máquina remotamente aprovechando que se está utilizando la raspberry pi como dispositivo principal de control y ésta se puede conectar a internet fácilmente.
- Con el manejo de Python en la raspberry pi es posible establecer conexión con un servidor de base de datos para llevar una estadística de cada uno de los motores que se secan con la máquina.

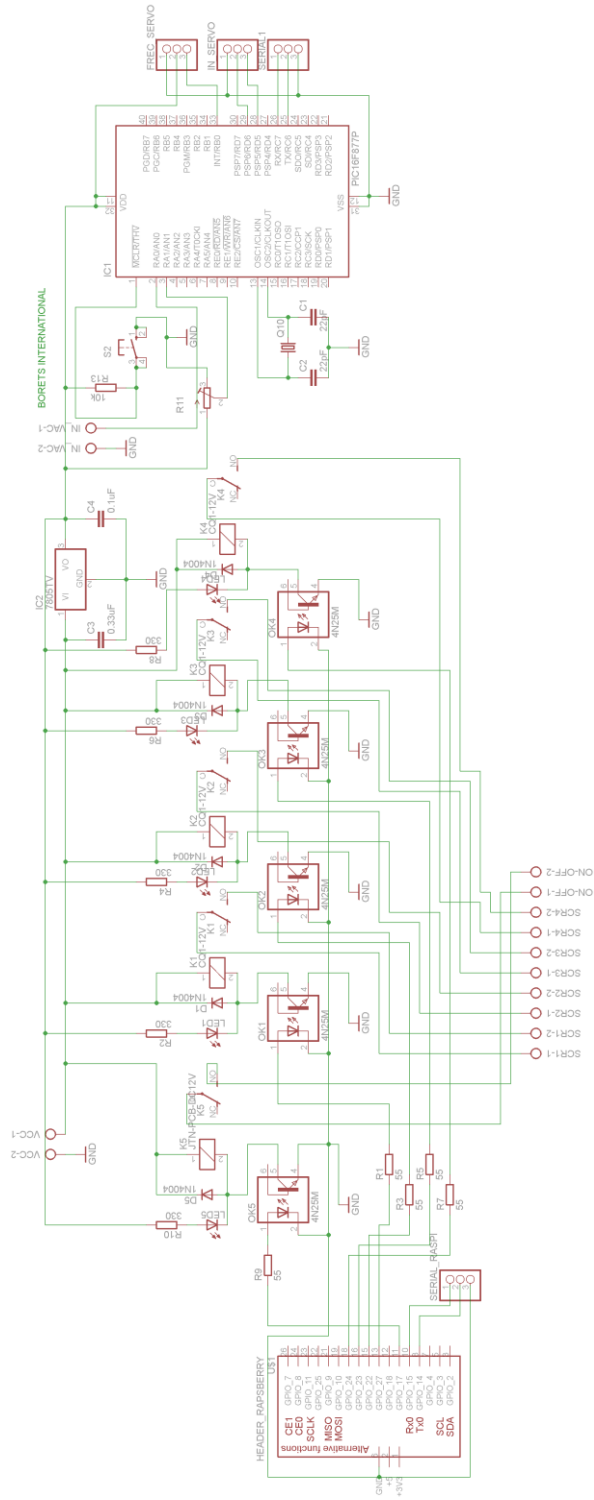
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Bertomeu. [En línea]. Available:  
<http://www.oilproduction.net/cms3/files/Evolucion%20del%20sistema%20ESP%20-Hirschfeldt.pdf>.
- [2] «Borets International,» [En línea]. Available: [www.borets.com](http://www.borets.com).
- [3] Leister, Intelligent and efficient hot air solutions, Process Heat, 2012/2013.
- [4] V. Edisalic, «Monografías.com,» Septiembre 2008. [En línea]. Available:  
<http://www.monografias.com/trabajos63/bombero-electrosumergible/bombero-electrosumergible2.shtml>. [Último acceso: 15 Abril 2014].
- [5] «Wikipedia,» 29 Marzo 2014. [En línea]. Available:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Jaula\\_de\\_ardilla](http://es.wikipedia.org/wiki/Jaula_de_ardilla).
- [6] G. I. Electronics, «Galco.com,» 2014. [En línea]. Available:  
<http://www.galco.com/buy/Powerex/T600021504BT>.
- [7] A. Multimedia, «Wikipedia,» 2014. [En línea]. Available:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Python>.
- [8] R. PI, «raspberrypi.org,» 2009. [En línea]. Available:  
<http://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>.
- [9] 4dsystems, «4dsystems.com.au,» 2014. [En línea]. Available:  
<http://www.4dsystems.com.au/about>.
- [10] J. H. Argañaraz, «Ingelec,» 2002. [En línea]. Available:  
<http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmeii2774/docs/LME2-NC01-SAD-Ap1-transd.PDF>.
- [11] Wikipedia\_pic. [En línea]. Available:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC).
- [12] C. B. Esteva, Carabobo, Venezuela, 2004.
- [13] Wikipedia\_contactor. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Contactor>.  
[Último acceso: Febrero 2015].

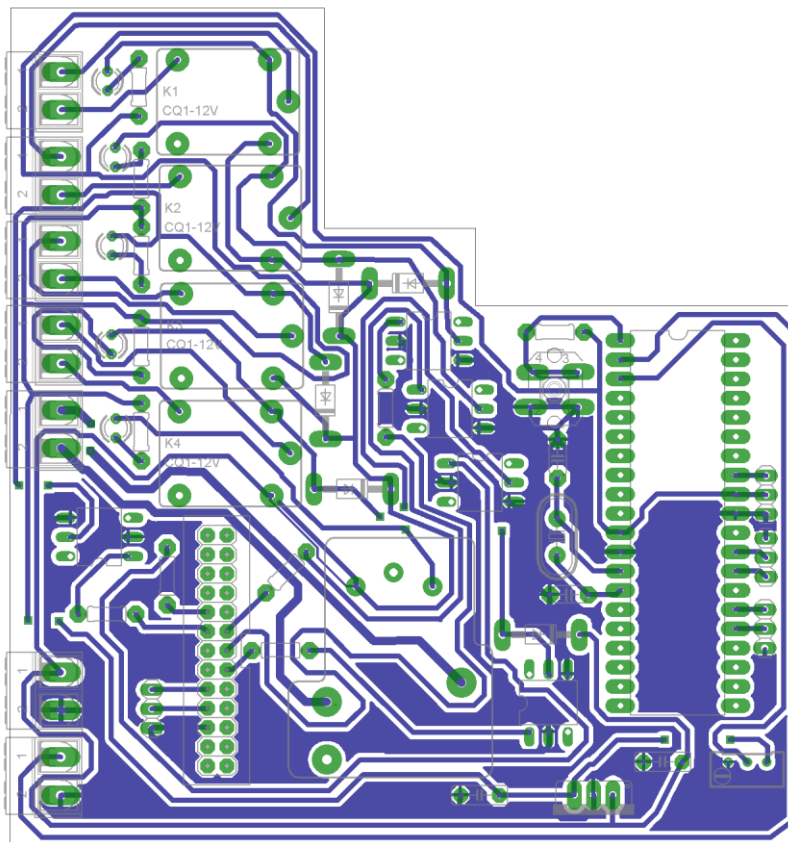


# ANEXOS

## Anexo A. Circuito y tarjeta PCB (Disparo SCR y envío de datos por PIC)



## PCB Circuito de disparo





# 4D SYSTEMS

*TURNING TECHNOLOGY INTO ART*

**$\mu$ LCD-70DT**

**7.0" DIABLO16 Intelligent Display Module**

Document Date: 8<sup>th</sup> September 2014

Document Revision: 1.2

Uncontrolled Copy when printed or downloaded.  
Please refer to the 4D Systems website for the latest Revision of this document

## 1. Description

The uLCD-700T is a brilliant 7.0" Intelligent Display Module powered by the 4D Systems' DIABLO16 Graphics Processor.

The uLCD-700T is designed for applications demanding a large intelligent display module, and is the largest size available from 4D Systems.

Driving the display and peripherals is the DIABLO16 processor, a very capable and powerful chip which enables stand-alone functionality, programmed using the 4D Systems Workshop 4 IDE Software. The Workshop IDE enables graphic solutions to be constructed rapidly and with ease due to its design being solely for 4D's graphics processors.

The DIABLO16 Processor offers considerable FLASH and RAM upgrades over the PICASO processor, and also provides mappable functions such as I2C, SPI, Serial, PWM, Pulse Out, and Quadrature Input, to various GPIO, and also provide up to 4 Analog Input channels.

The display module has an array of features including PWM for Sound, Touch Detection, micro-SD memory storage, general purpose I/O including Analog Inputs, multiple TTL Serial, I2C and SPI channels and multiple millisecond resolution timers, amongst many more features.

Anything that has been designed in the past to run on a PICASO Processor can theoretically run on this DIABLO16 Module with minor changes. Please ensure you contact the 4D Systems' support team if unsure if upgrading from a PICASO product and wanting to design with or change over to this uLCD-700T Module.

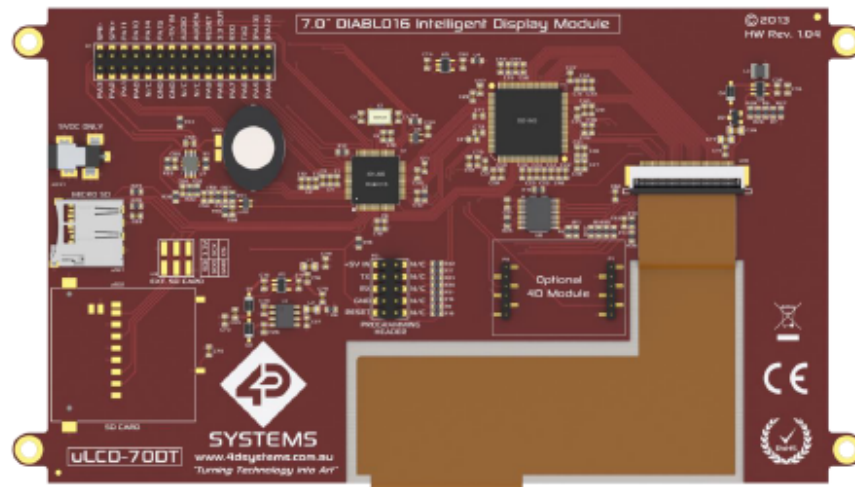
The uLCD-700T also features 2mm pitch male headers to connect an optional module. 4D Systems intends to bring out one or more modules which will be compatible with the uLCD-700T, offering connectivity such as WiFi or Bluetooth. This will enable the uLCD-700T to connect with remote devices. Please contact the 4D Systems Sales team for more information on these, or visit the 4D Systems website when they become available.

NOTE: DC JACK (JACK1) on Hardware Rev 1.05 has been found to have an issue and is therefore not populated. Powering is via USB or 5V pin on headers. This will be rectified on HW Rev 1.06.

## 2. Features

- Powerful 7.0" Intelligent LCD-TFT display module powered by DIABLO16.
- 800 x 480 Resolution, RGB 65K true to life colours, TFT Screen with integrated 4-wire Resistive Touch Panel.
- Easy 5 pin interface to any TTL Serial Host:  
VCC, TX, RX, GND, RESET
- 6 banks of 32730 bytes of Flash memory for User Application Code and Data
- 32Kb of SRAM purely for the User.
- 16 General Purpose I/O pins for user interfacing, which include 4 configurable Analog Inputs.
- The GPIO is variously configurable for alternative functions such as:
  - 3x I<sup>2</sup>C channels available
  - 1x SPI dedicated for SD Card and 3x configurable SPI channels available
  - 1x dedicated and 3x configurable TTL Serial comm ports available
  - Up to 6 GPIO can be used as Pin Counters
  - Up to 6 GPIO for PWM (simple and Servo)
  - Up to 10 GPIO for Pulse Output
  - Up to 14 GPIO can be configured for Quadrature Encoder Inputs (2 channels)
- On-board micro-SD memory card connector for multimedia storage and data logging purposes.
- Full sided SD memory card connector is available for volume purchases.
- DOS compatible file access (FAT16 format) as well as low level access to card memory.
- Dedicated raw PWM Audio pin driven by WAV files from micro-SD card.
- On-board audio amplifier with a tiny 8Ω speaker for sound generation and WAV file playback.
- Display full colour images, animations, icons and video clips on chosen 4D Systems display.
- Supports all available Windows fonts.
- 4.0V to 5.5V range operation (single supply).
- Module dimensions: 179.9 x 100 x 13.5mm (including tabs), Weighing ~215 g.
- Display Viewing Area: 154.1 x 85.9mm
- 4x mounting tabs with 3.5mm holes for mechanical mounting.
- RoHS and CE Compliant.

### 3. Pin Configuration and Summary



**NOTE:** Full Sized SD socket and EXT. SD Card Header (H3) are NOT populated, Populated on special orders only. JACK1 (5V DC JACK) NOT populated until HW Rev. 1.06

H2 Pinout (Programming Header)			
Pin	Symbol	I/O	Description
1	+5V IN	P	Main Voltage Supply +ve input pin. Reverse polarity protected. Range is 4.0V to 5.5V, nominal 5.0V. 500mA minimum Required.
2	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
3	TX	O	Asynchronous Serial Transmit pin, TTL level. Connect this pin to the Receive (Rx) signal of other serial devices. Used in conjunction with the RX pin for programming this microLCD. 5.0V Tolerant Pin. Connected to TX0 via Resistor.
4	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
5	RX	I	Asynchronous Serial Receive pin, TTL level. Connect this pin to the Transmit (Tx) signal of other serial devices. Used in conjunction with the TX pin for programming this microLCD. 5.0V Tolerant Pin. Connected to RX0 via Resistor.
6	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
7	GND	P	Supply Ground
8	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
9	RESET	I	Master Reset signal. Internally pulled up to 3.3V via a 10K resistor. An active Low pulse greater than 2 micro-seconds will reset the module. If the module needs to be reset externally, only use open collector type circuits. This pin is not driven low by any internal conditions. The host should control this pin via one of its port pins using an open collector/drain arrangement.
10	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected

I = Input, O = Output, P = Power

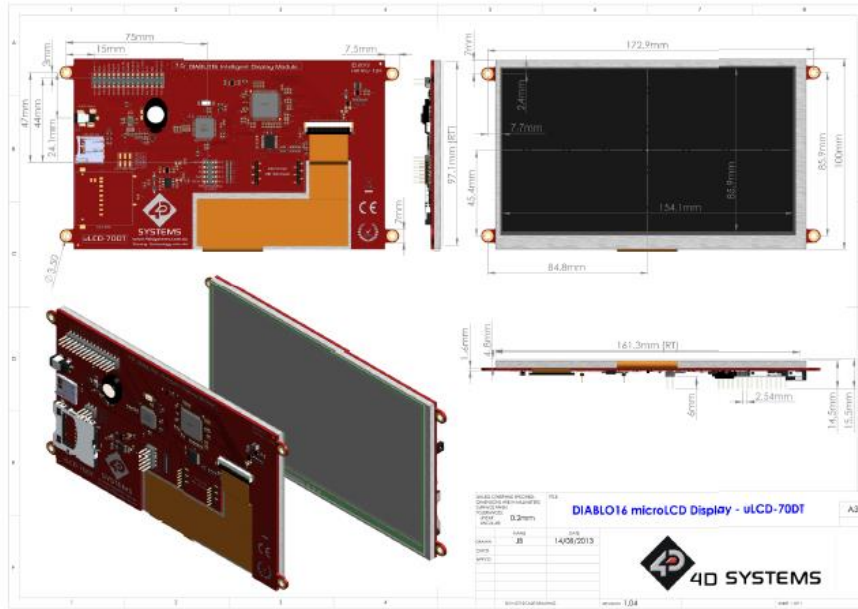
Continued overleaf...

H1 Pinout			
Pin	Symbol	I/O	Description
1	PA3	I/O	General Purpose I/O pin with Analog Capability. This pin is 5.0V tolerant when used as a Digital, with a range of 0-3.3V when used as an Analog Input
2	SPK-	O	Speaker Output -ve if a different speaker is used externally. Disconnected on board speaker if utilised.
3	PA2	I/O	General Purpose I/O pin with Analog Capability. This pin is 5.0V tolerant when used as a Digital, with a range of 0-3.3V when used as an Analog Input
4	SPK+	O	Speaker Output +ve if a different speaker is used externally. Disconnected on board speaker if utilised.
5	PA1	I/O	General Purpose I/O pin with Analog Capability. This pin is 5.0V tolerant when used as a Digital, with a range of 0-3.3V when used as an Analog Input
6	PA11	O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
7	PA0	I/O	General Purpose I/O pin with Analog Capability. This pin is 5.0V tolerant when used as a Digital, with a range of 0-3.3V when used as an Analog Input
8	PA10	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
9	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
10	PA14	I	General Purpose Input Only. This pin is 5.0V tolerant.
11	GND	P	Supply Ground
12	PA15	I	General Purpose Input Only. This pin is 5.0V tolerant.
13	GND	P	Supply Ground
14	+5V IN	P	Main Voltage Supply +ve input pin. Reverse polarity protected. Range is 4.0V to 5.5V, nominal 5.0V. 500mA minimum Required.
15	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
16	AUDIO	I/O	Audio Output or Input direct to Amplifier, TTL Line level
17	N/C	-	No Connect – Leave this pin unconnected
18	AUDENB	O	External Amplifier enable pin, to control an external amplifier from the module
19	PA9	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
20	RESET	I	Master Reset, Active Low (GND), See H2 Pin 9 Description
21	PA8	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
22	3.3V_OUT	O	3.3V Output, limited to approximately 20mA, for external use.
23	PA7	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
24	RX0	I	Asynchronous serial port 0 receive pin. COM0
25	PA6	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
26	TX0	O	Asynchronous serial port 0 transmit pin. COM0
27	PA5	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
28	PA13	I/O	(RESERVED FOR RESISTIVE TOUCH)
29	PA4	I/O	General Purpose I/O. This pin is 5.0V tolerant.
30	PA12	I/O	(RESERVED FOR RESISTIVE TOUCH)

I = Input, O = Output, P = Power

H3 Pinout (EXT. SD Header) – NOT POPULATED NORMALLY			
Pin	Symbol	I/O	Description
1	SD_SDI	I	SD Card SDI Signal for SD Card Only (shared with USD/SD Sockets)
2	3.3V	-	3.3V Supply for SD Card Only
3	SD_SDO	O	SD Card SDO Signal for SD Card Only (shared with USD/SD Sockets)
4	SD_SCK	O	SD Card SCK Signal for SD Card Only (shared with USD/SD Sockets)
5	GND	P	Supply Ground
6	SD_CS	O	SD Card Chip Select Signal for SD Card Only (shared with USD/SD Sockets)

12.1. Mechanical Details



## Anexo C. Prueba de Aislamiento con SKF motor 330HP

Antes del secado

Folder Name: MOTOR TD2	
Record Name: M121210338	Test Date/Time: 16-JAN-2015 03:03:04 PM
Tester Type: DX12kV H.O.	Tester SN: 11990
Job Number:	Tested By:
Notes:	

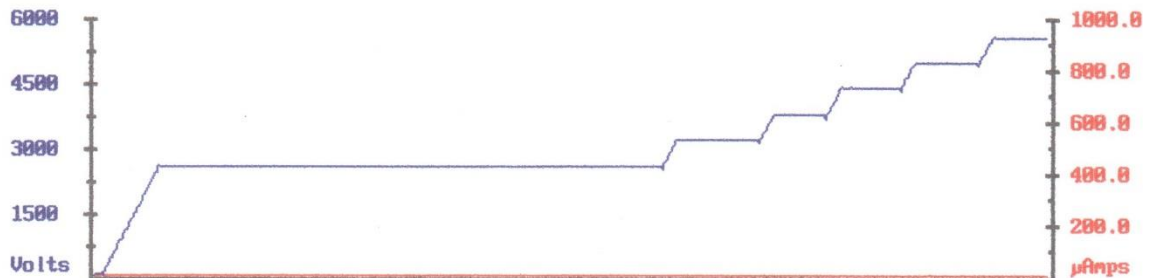
NamePlate Information	
SN:	Mfr:
HP/kW:	Voltage:

### DC Tests Results

	IR	DA/PI	DC Hipot
Test Voltage (kV)	2540	2540	5500
Leakage I (pA)	0.284	DA: 1.4	0.509
IR (MΩ)	8944	PI: 1.9	10006
Corr 40 °C (MΩ)	2236		2701

Temperature = 20.0°C Humidity = 55.0%

DA/PI Table		
Time (m)	I <sub>kg</sub> (pA)	IR (MΩ)
0:15	0.328	7744
0:30	0.310	8194
0:45	0.296	8581
1:00	0.284	8944
1:30	0.266	9549
2:00	0.250	10160
2:30	0.237	10717
3:00	0.227	11189
4:00	0.207	12271
5:00	0.193	13161
6:00	0.181	14033
7:00	0.171	14854
8:00	0.161	15776
9:00	0.161	15776
10:00	0.149	17047





## Después del secado

BORETS

Folder Name:	TEST3		
Record Name:	BCM0137	Test Date/Time:	8-FEB-2015 07:02:11 PM
Tester Type:	DX12kV H.O.	Tester SN:	11990
Job Number:		Tested By:	LUIS MURCIA
Notes:	MOTOR REPARADO		

NamePlate Information			
SN:	BCM0137	Mfr:	BORETS
HP/kW:	330	Voltage:	1950

### DC Tests Results

	IR	DA/PI	DC Hipot
Test Voltage (V)	2530	2530	5440
Leakage I (µA)	0.118	DA: 2.1	0.178
IR (MΩ)	23000	PI: 3.1	30562
Corr: 40.0°C (MΩ)	7079		9406

Temperature = 23.0°C Humidity = 55.0%

DA/PI Table		
Time (s)	Leak I (µA)	IR (MΩ)
0:15	0.169	14970
0:30	0.139	18201
0:45	0.121	20909
1:00	0.110	23000
1:30	0.090	28111
2:00	0.079	32025
2:30	0.071	35634
3:00	0.066	38333
4:00	0.056	45179
5:00	0.050	50600
6:00	0.046	55000
7:00	0.042	60230
8:00	0.040	63250
9:00	0.037	68370
10:00	0.035	72206

