

**SISTEMA AUTOMÁTICO PARA SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES
SASE**

YESID HERNANDO MARÍN CARDONA

JOSÉ IGNACIO BEDOYA OSORIO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN**

2009

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CON CONTROL REMOTO
PARA LA EXPERIMENTACIÓN CON SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES**

**YESID HERNANDO MARÍN CARDONA
JOSÉ IGNACIO BEDOYA OSORIO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Director

**ALVARO MARÍN ARCOS
Ingeniero Electrónico**

Asesores

**JAIRO ATEHORTUA TABARES
DIEGO J. CUARTAS R.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN**

2009

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, _____

A mi hermana María Elsy por haberme mostrado el camino hacia una superación personal y profesional, a mi esposa e hijos por la comprensión... Y a mi jefe y coordinadores por el apoyo.

Yesid Hernando Marín Cardona.

A Dios por darme la voluntad, a mi esposa e hijo por sus actitudes de comprensión ante mis ausencias en muchos fines de semana de los que dispuse, a mis jefes y compañeros de trabajo por el apoyo incondicional, al acompañamiento permanente del director del proyecto para así dedicar el tiempo necesario y lograr esta gran meta: Hacerme Ingeniero Electrónico UPB.

José I Bedoya Osorio.

CONTENIDO

	INTRODUCCIÓN	10
1	GENERALIDADES	12
1.1	CAMPO ELÉCTRICO Y SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES	12
1.2	MEDIDAS INTEGRADAS POR EL SISTEMA DE EXPERIMENTACIÓN	16
2	DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA “SASE”	25
2.1	OPCIONES DE LAS MEDIDAS PROPORCIONADAS POR EL SISTEMA DE EXPERIMENTACIÓN	25
2.2	DISTRIBUCIÓN DE LOS ELECTRODOS	26
2.2.1	Voltaje	27
2.2.2	Polaridad	27
2.2.3	Resolución	28
2.3	SISTEMA MECÁNICO Y DE POSICIONAMIENTO X-Y	28
2.3.1	Diseño del sistema	28
2.3.2	Desplazamiento de las puntas de medida	28
2.4	MODULARIDAD DEL EQUIPO	29
2.4.1	Instalación de la bandeja	29
2.4.2	Sistema de tracción de los ejes X, Y	30
2.4.3	Panel de control	30
2.5	UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS Y DESPLAZAMIENTO	31
2.6	DIAGRAMA DE BLOQUES Y SUS DIFERENTES ETAPAS	33

2.6.1	Micro controlador Coldfire MCF51QE128CLH, 32 bits V1	34
2.6.2	Interface USB FT232BM	36
2.6.3	Drivers de potencia para los motores ejes x,y respectivamente, ic TA7291S	37
2.6.4	Encoders de posición a motores de tracción ejes X,Y	39
2.6.5	Circuito fuente para etapas de control y de potencia	41
2.6.6	Electrodos para toma de medidas simultáneas	42
2.6.7	Circuitos de acople para las tomas de medida de las superficies equipotenciales	43
2.6.8	Circuito Buzzer	44
2.7	TOMA Y PROCESAMIENTO DE DATOS	44
2.8	SOFTWARE DEL SISTEMA	45
2.8.1	Software implementado en el micro controlador mcf51ac128c	45
2.8.1.1	Módulo SCI y las configuraciones de tramas para la comunicación del PC a la tarjeta controladora	52
2.8.2	Software implementado en el PC en VB	54

CONCLUSIÓN

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 MANUAL TÉCNICO DEL SISTEMA SASE
- ANEXO 2 MANUAL DE USUARIO SISTEMA SASE
- ANEXO 3 HOJAS DE DATOS TÉCNICOS CIRCUITOS INTEGRADOS (EN FORMATO CD)
- ANEXO 4 PAPER TRABAJO DE GRADO

RESUMEN

Este trabajo es el desarrollo de un sistema que permite la medición de cuatro formas de superficies equipotenciales al tiempo: Circunferencia-punto, punto-punto, línea-línea, línea-punto; teniendo en cuenta que éstas disposiciones tienen la misma simetría y características de campo puntual sobre estas superficies equipotenciales y líneas de campo.

La mesa para medir estas superficies equipotenciales se diseña con las siguientes características eléctricas y mecánicas:

Una fuente de voltaje en las cuatro superficies equipotenciales de 20 Voltios DC, con inversión de polaridad, lectura de voltajes con una resolución de 5 mm en un área de 13 cm por 16 cm (16 en el eje X, 13 en el eje Y).

La tracción en los ejes se realiza mediante dos motores eléctricos a 12 Voltios DC, de escobillas con filtros anti ruidos y encoders incorporados que permiten realizar un óptimo control sobre estos.

Mecánicamente se diseña en un marco de aluminio, sistema de cremalleras y fácilmente desarmable para hacer mas fácil y óptimo el mantenimiento de equipo.. Las superficies equipotenciales se distribuyen en una bandeja hecha en acrílico de 5mm debidamente aislada entre estas.

Para la realización de las prácticas, el sistema SASE requiere principalmente tres elementos: Un PC, el cual mediante un software en Visual Basic se diseña un archivo ejecutable que gestiona la práctica de principio a fin, comunicación USB con el panel de control principal soportado en un micro controlador de la Freescale, referencia MCF51AC128C y una mesa de superficies equipotenciales ya brevemente descrita en el párrafo anterior.

PALABRAS CLAVES: MESA DE SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES; DESPLAZAMIENTO Y COORDENADAS X, Y; CAMPO ELÉCTRICO; TARJETA ELECTRÓNICA DE CONTROL; MICRO CONTROLADOR; ENCODERS; PUNTAS DE PRUEBA, CONTROL PID EN MODO DESLIZANTE.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge por la necesidad de mejorar El **“Sistema con control remoto para la experimentación con superficies equipotenciales”** para la práctica de “Campos Eléctricos” del laboratorio de fundamentos de Electricidad y Magnetismo, desarrollado por los ingenieros JUAN MARTÍN CIFUENTES OSPINA Y ÁLVARO MARÍN ARCOS.

El desarrollo a mejorar consiste en automatizar la práctica de “Campos Eléctricos”, realizando cuatro tipos de medidas: punto-punto; punto- línea; línea – línea; punto-semicírculo; dado que el sistema original solo realizaba una medida a la vez, manejado desde una computadora central.

Con esta mejora se pretende:

- Desarrollar un mecanismo que registre cuatro mediciones de potencial eléctrico simultáneamente en la práctica.
- Diseñar y construir una tarjeta controladora, que permita obtener los datos necesarios de la práctica y los pueda transferir a una computadora base, además de recibir órdenes de operación desde esta.
- Elaborar un software para que desde la computadora base realice el control de la práctica a través de la tarjeta controladora y procesar los datos obtenidos y poder realizar las graficas del comportamiento de las superficies equipotenciales apoyadas en tablas de Excel.
- Elaborar un manual de instalación y manual de manejo y mantenimiento del sistema, con el cual se permita una comprensión rápida y segura del funcionamiento del mismo.

Al desarrollar este trabajo se aplican conocimientos aprendidos en el programa de Ingeniería Electrónica, y se adquirieron nuevos conocimientos en el área de del control digital, de las comunicaciones digitales y de los sistemas operativos.

El beneficio que se pretende para la Universidad es mejorar la dotación de sus laboratorios con un sistema innovador para la medición de superficies equipotenciales y la automatización de una de sus prácticas de laboratorio.

El proyecto consta del sistema de control antes descrito totalmente construido, con un óptimo funcionamiento y cumpliendo con los siguientes requerimientos establecidos por los laboratorios de Ciencia Básica y de la Facultad de Ingeniería Eléctrica-Electrónica:

- Construcción de 1 cubeta en acrílico con cuadrículas y separada en 4 cuadrantes con buen acabado, con sus debidos soportes, electrodos y conectores necesarios.
- Diseño de un mecanismo que recorra cuadrículas de 0.5cmX0.5cm realizando dentro de un plano horizontal mediciones en los cuatro cuadrantes al mismo tiempo de potencial eléctrico sobre la cubeta, y con un cubrimiento de un 90% del área de esta última.
- Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para la práctica en cuestión y la conversión de datos para ser transferidos a un computador.

Con este desarrollo se minimizan los tiempos en la toma de datos de la práctica “Campos Eléctricos” del laboratorio de Ciencia Básica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica-Electrónica aumentando la velocidad y precisión en los datos, permitiendo menor tiempo operativo, optimización de los espacios y mayor tiempo para la asimilación de los conceptos científicos en el estudiante respecto a los campos eléctricos y es además punto de partida para la investigación sobre una nueva metodología de aprendizaje y de experimentación

1. GENERALIDADES

1.1 CAMPO ELÉCTRICO Y SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

“El sistema de control automático para la experimentación con superficies equipotenciales diseñado en este trabajo, se aplica a la práctica de campo eléctrico y potencial eléctrico. La práctica se fundamenta en la relación entre las superficies equipotenciales y el campo eléctrico.

El campo eléctrico en un punto del espacio se define como la fuerza electrostática por unidad de carga, que experimenta una carga de prueba infinitesimal en dicho punto, debida a una distribución estática de cargas en el espacio.

$$E = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{F}{q_0}$$

Según la definición anterior, dado que la fuerza electrostática es una cantidad vectorial con magnitud y dirección, entonces el campo eléctrico es un campo vectorial, lo cual indica que para cada punto del espacio existe un valor de campo eléctrico con su correspondiente magnitud y dirección.

Siguiendo con la búsqueda de la relación entre las superficies equipotenciales y el campo eléctrico, la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, es la medida de la diferencia de energía potencial eléctrica por unidad de carga eléctrica, para una carga de prueba inmersa en un campo eléctrico generado por una distribución de cargas determinada.

$$\Delta V = V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q_0}$$

La energía potencial eléctrica es el trabajo realizado para mover una carga eléctrica entre dos puntos. El trabajo realizado por el

campo eléctrico está definido como la fuerza debida al campo eléctrico que actúa sobre la carga en dirección al movimiento.

$$\Delta U = -W_{ab}$$

$$W_{ab} = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$$

La fuerza debida al campo electrostático sobre la carga de prueba esta dada por:

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E}$$

Se puede expresar el trabajo realizado por el campo eléctrico para mover la carga de prueba entre los puntos a y b como:

$$W_{ab} = \int_a^b q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Y de esta misma forma se puede indicar que el cambio de energía entre los puntos a y b de la carga, esta dada por:

$$\Delta U = -q_0 \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Entonces, la diferencia del potencial eléctrico entre los puntos a y b se puede expresar como:

$$\Delta V = \frac{-q_0 \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}}{q_0}$$

O lo cual es:

$$\Delta V = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Lo que se obtiene es la relación entre la diferencia de potencial eléctrico, un valor escalar, el campo eléctrico y un valor vectorial. Esta relación indica que entre dos puntos del espacio se puede medir un potencial eléctrico como menos la suma de todos los valores del campo en dirección de la trayectoria entre los puntos a y b, es decir, que una diferencia de potencial eléctrico indica la presencia de un campo eléctrico en dirección de la trayectoria entre los puntos de medida de dicha diferencia.

Las superficies equipotenciales son una familia de superficies continuas, que se encuentran al mismo potencial eléctrico. Esto indica que los puntos (x, y, z), que tienen igual potencial, forman una superficie equipotencial, entonces, la diferencia de potencial entre dos puntos de una de estas superficies es cero (con a y b puntos de una misma superficie equipotencial).

$$\Delta V = 0$$

Entonces:

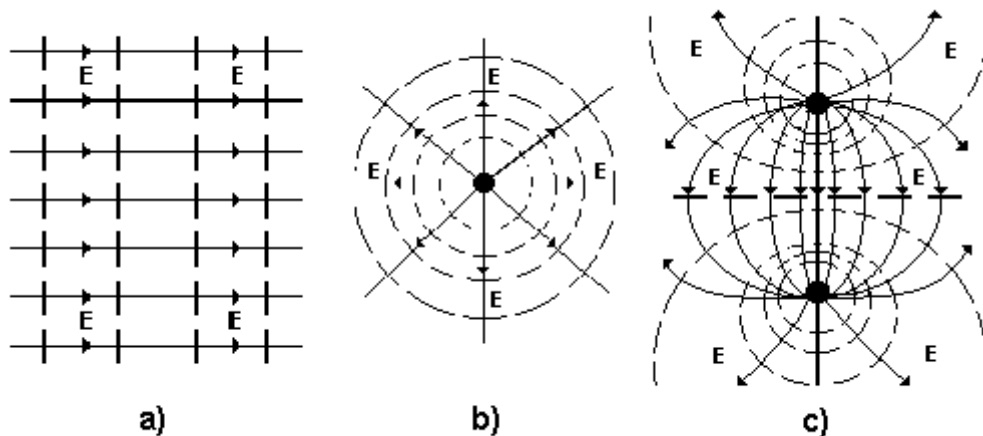
$$0 = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

El resultado anterior se da cuando el campo eléctrico es perpendicular a la trayectoria entre a y b, si la trayectoria entre a y b, se realiza sobre la superficie equipotencial del campo

perpendicular a dicha trayectoria y por ende a la superficie equipotencial. Es indiferente la ubicación de los puntos a y b sobre la superficie, el resultado de la integral siempre es cero.

Por esto al desarrollar un sistema que tome medidas de potencial en un plano, se puede graficar las líneas equipotenciales de la intersección de ese plano (x, y) , con las superficies equipotenciales (x, y, z) , debidas a la distribución de cargas existente, y las líneas continuas perpendiculares a las líneas equipotenciales en el plano de medida, son las líneas de campo eléctrico.

Figura 1. Líneas de campo eléctrico y superficies equipotenciales. Líneas de campo eléctrico (líneas continuas) y secciones transversales de superficies equipotenciales (líneas entrecortadas) para: a) un campo uniforme, b) una carga puntual positiva, c) un dipolo eléctrico.



Se puede apreciar las líneas de campo eléctrico de la distribución de cargas en un plano¹

¹ CIFUENTES OSPINA, Juan Martín, MARÍN ARCOS, Álvaro. Diseño y construcción de un sistema control remoto para la experimentación con superficies equipotenciales. Medellín, 2002. 376p. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica

1.2 MEDIDAS ENTREGADAS POR EL SISTEMA DE EXPERIMENTACIÓN

El sistema entrega un archivo de texto plano que contiene secuencia de datos, los cuales aparecen en el mismo orden en que la tarjeta controladora los captura en el equipo que realiza las medidas de superficies equipotenciales; desde la primera fila y la primera columna lado izquierdo se encuentran las coordenadas X, Y correspondientes a las coordenadas (0,0) respectivas del plano de la superficie en la bandeja, sobre la cual se tomaron las medidas, así sucesivamente el resto de valores tomados cada 5mm a lo largo y ancho del eje X de 16 cm y eje Y de 13 cm respectivamente para toda la tabla.

Al graficar los resultados obtenidos en los archivos planos, se obtiene que las líneas de división entre las franjas de colores de las siguientes graficas son de un mismo nivel de color en forma vertical, son líneas que tienen el mismo potencial respecto a la referencia, si se trazan líneas continuas perpendiculares en todo momento a las líneas equipotenciales, se estaría dibujando las líneas de campo eléctrico sobre la superficie del agua debidas a la distribución de cargas en la cubeta. Con lo anterior, el estudiante hace la comparación de las líneas de campo halladas, con las teóricas, para cada distribución de cargas en las diferentes áreas de distribución de la cubeta.

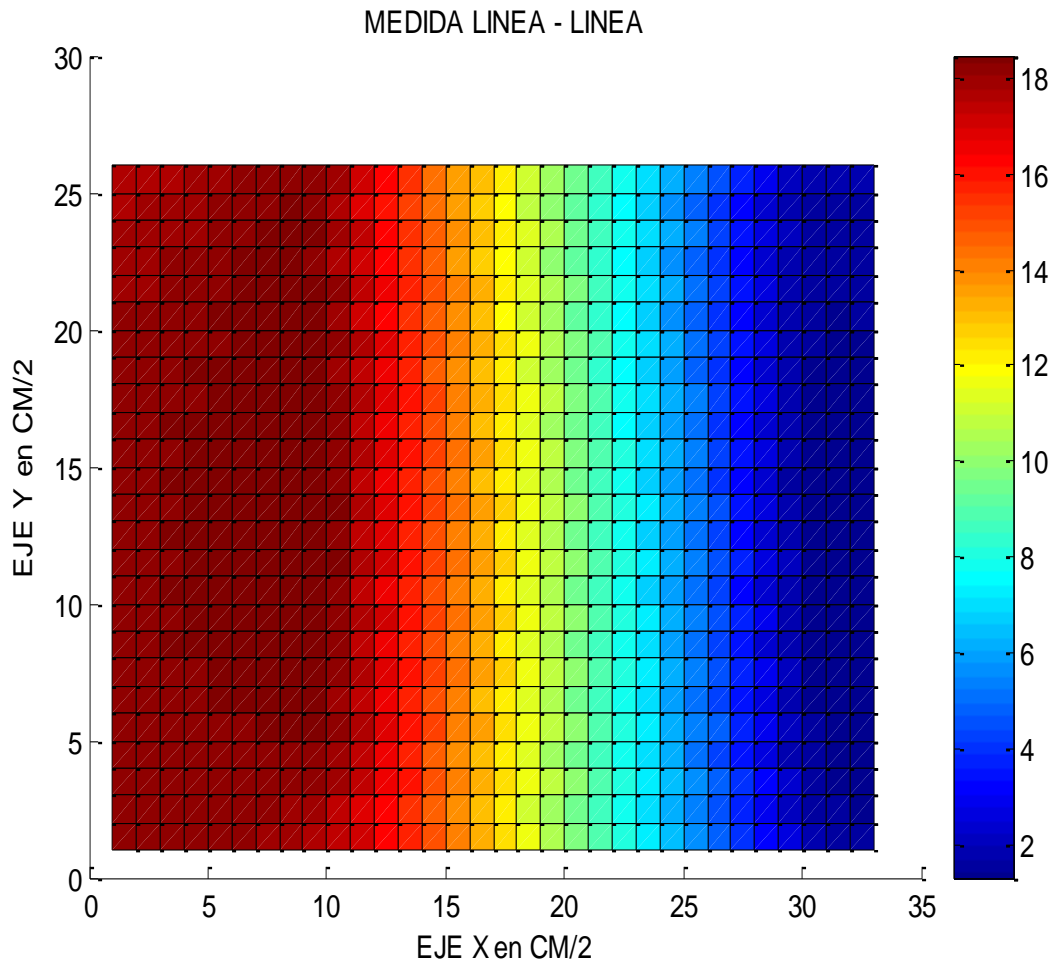
Figura 2.

Gráfico obtenido desde el archivo que arroja el sistema para la experimentación, con superficies equipotenciales, tipo línea-línea, con la herramienta de Matlab, las líneas y la escala de colores determina los niveles de potencial eléctrico de las superficies.

Figura 3.

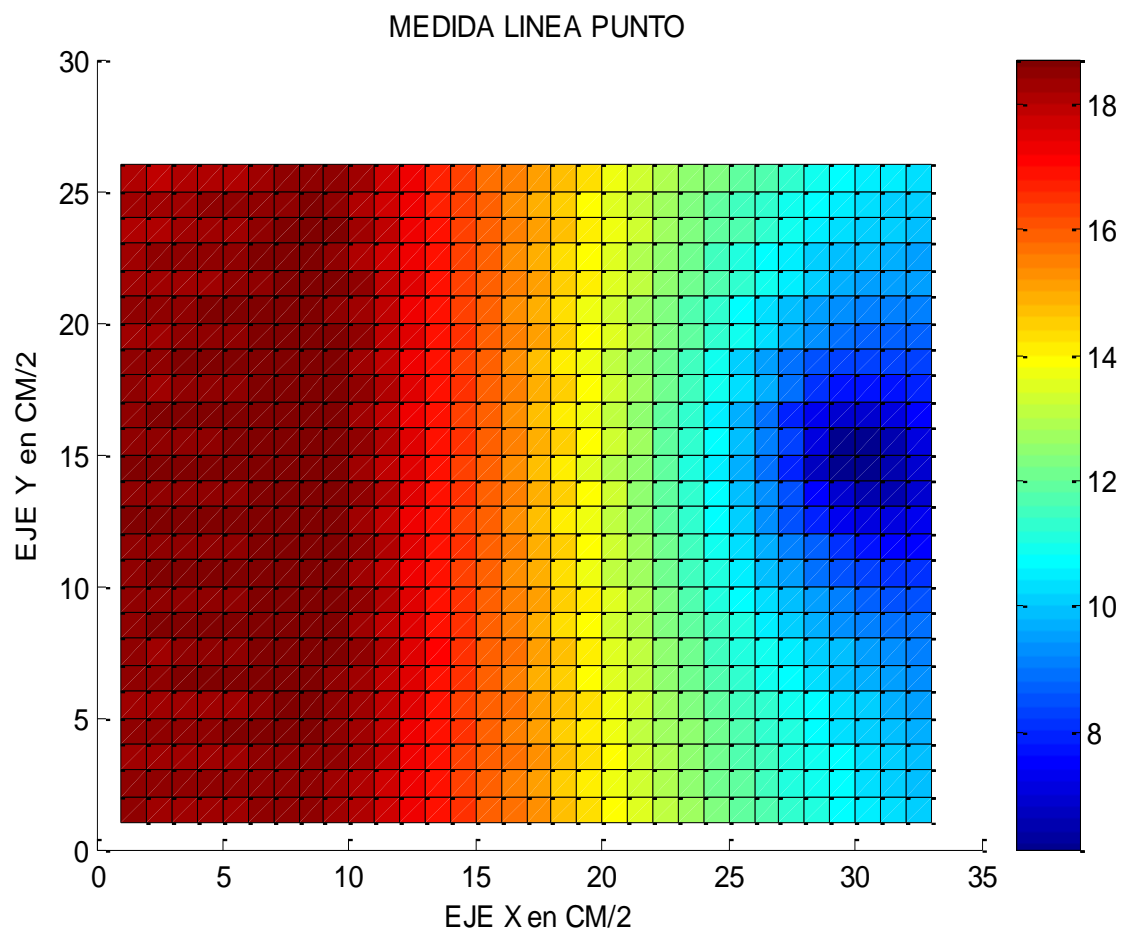


Gráfico obtenido desde el archivo que arroja el sistema para la experimentación con superficies equipotenciales, tipo **línea-punto**.

Figura 4.

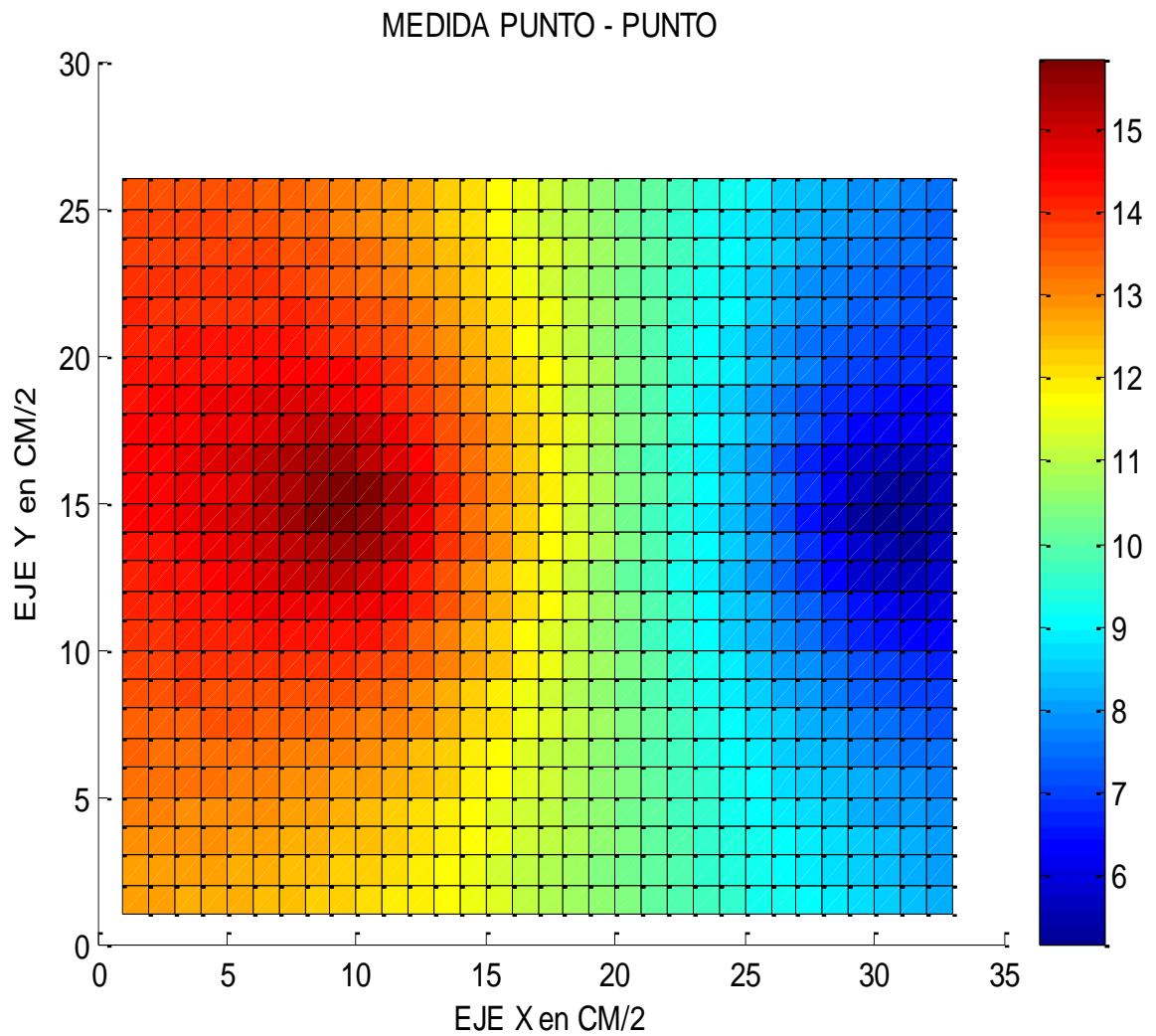


Gráfico obtenido desde el archivo que arroja el sistema para la experimentación con superficies equipotenciales, tipo **punto-punto**.

Figura 5.

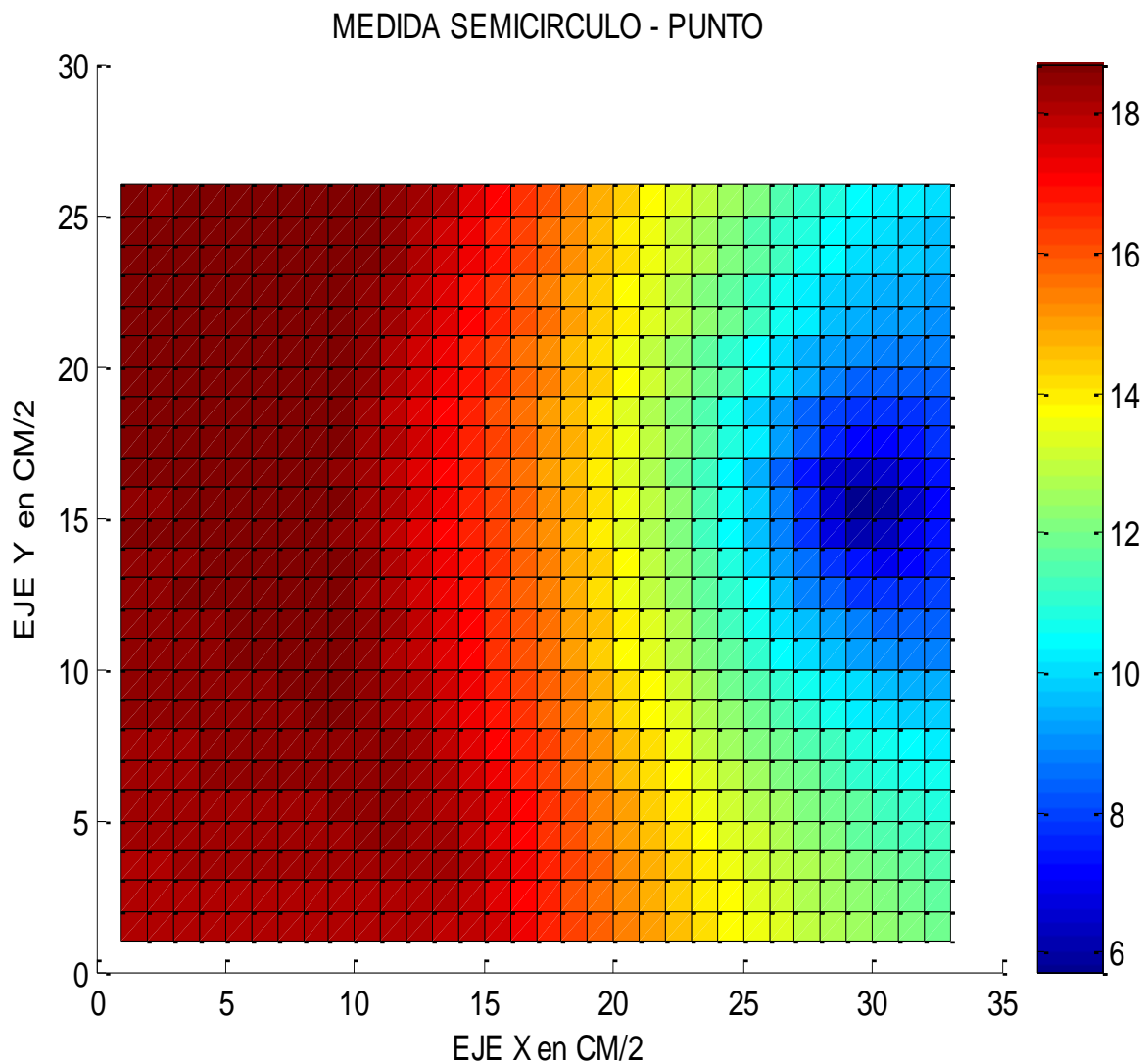


Gráfico obtenido desde el archivo que arroja el sistema para la experimentación con superficies equipotenciales, tipo **punto-punto**.

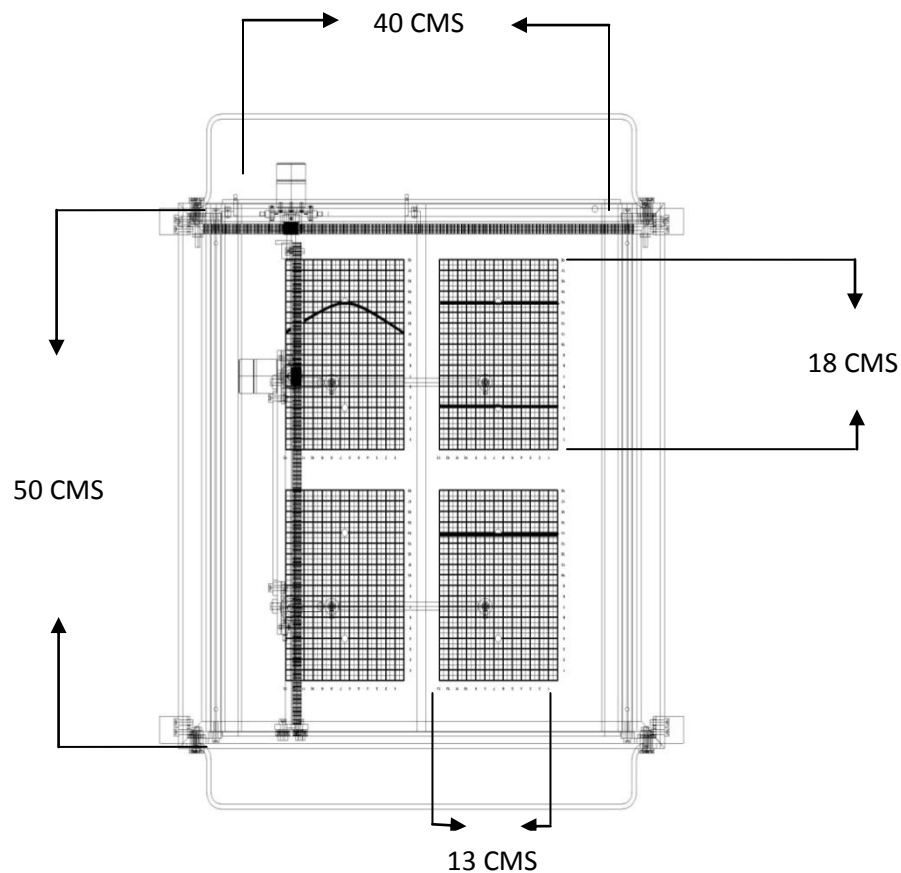
2. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA “SASE”

2.1 OPCIONES DE LAS MEDIDAS PROPORCIONADAS EXPERIMENTACIÓN

En la figura 3 se puede apreciar la disposición de las cuatro opciones de medidas que ofrece el sistema en la cubeta, de las cuales se muestrean en forma ordenada en la misma práctica. Las cuatro disposiciones que ofrece el sistema para realizar medidas son:

- Circunferencia – Punto.
- Punto – Punto.
- Línea – Línea.
- Línea – Punto.

Figura 6. Distribución de las cuatro formas de captura de datos que ofrece el sistema, distribuidas en la bandeja.



2.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELECTRODOS

Las cuatro diferentes disposiciones que presentan los electrodos en la cubeta mostrados en la figura 3: “Circunferencia-Punto”, “Punto-Punto”, “Línea–Punto”, “línea-Línea” tienen la misma simetría y características de campo sobre el plano de medida que los arreglos de cargas “Circunferencial Plana-Puntual”, “Puntual-Puntual”, “Superficial Plana-Puntual”, “Superficial Plana-Superficial Plana” respectivamente.

Estas disposiciones de los electrodos permiten analizar las diferentes geometrías de distribuciones de cargas, con las cuales se generan diferentes formas de superficies equipotenciales y líneas de campo. Para el recorrido en el eje X el total para las muestras tiene un alcance de 16 cm de los 18 cm del área cuadrículada y en el eje Y de 13 cm de 13 cm.

Figura 7a. Esquema general y ubicación de las partes.

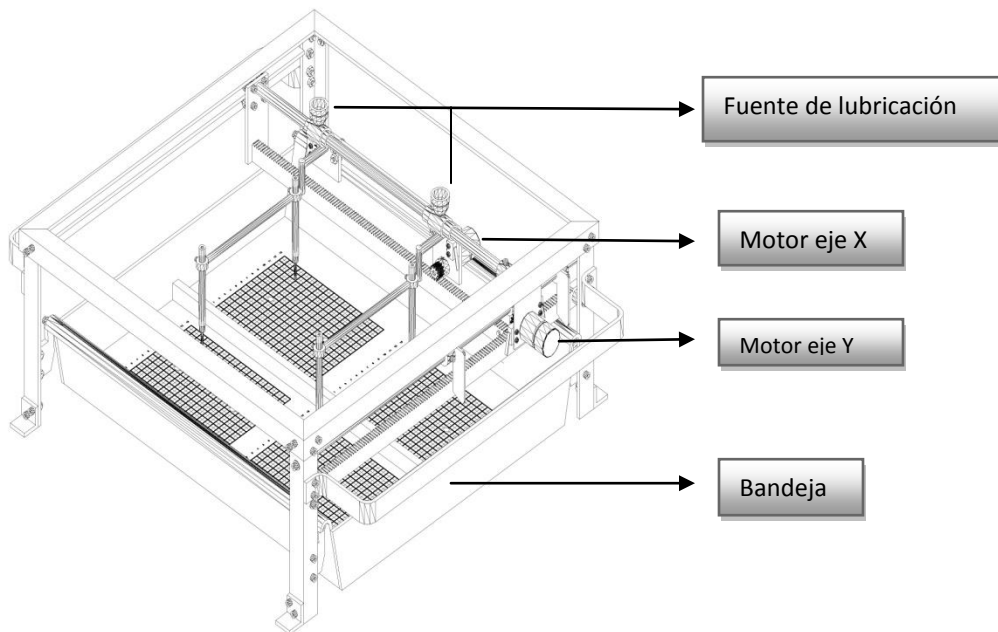
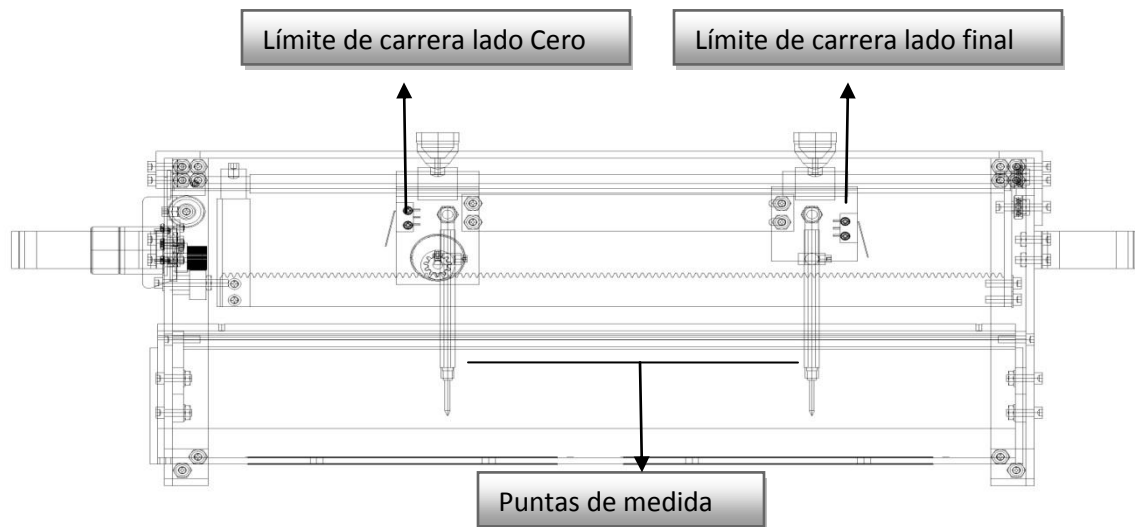


Figura 7b: Esquema lateral de la mesa superficies equipotenciales



2.2.1 Voltaje

Es el nivel de potencial que se tendrá entre los electrodos (20 VDC) con el que se analizará las superficies equipotenciales al variar la energía por unidad de carga entre las cuatro diferentes distribuciones representadas en los diferentes arreglos de cargas.

2.2.2 Polaridad

Al poder alternar esta opción, será posible realizar la comparación de campo eléctrico entre los cuatro arreglos contenidos en la cubeta a la vez al cambiar los signos de cargas en los electrodos.

2.2.3 Resolución

La resolución indica cada cuanto cantidad de milímetros se toma una medida de voltaje sobre la superficie del agua en las cuatro modalidades al tiempo, esto será de gran utilidad para determinar en que afecta al experimento el tomar los datos de voltaje en forma discreta. También se puede analizar la rapidez de cambio del voltaje en el espacio, lo cual es indicación de la intensidad del campo eléctrico en dichos puntos, en este proyecto se mantendrá una resolución de 5 milímetros.

2.3 SISTEMA MECÁNICO Y DE POSICIONAMIENTO X-Y

2.3.1 Diseño del sistema

Como se describe anteriormente, se dispone de una cubeta en acrílico dividida simétricamente en cuatro áreas con las medidas que se indican, las cuales contienen separadamente las cuatro formas de campos equipotenciales: “Circunferencia-Punto”, “Punto-Punto”, “Línea–Punto”, “Ínea-Línea”.

El direccionamiento X-Y, es el encargado de posicionar sobre la cubeta los cuatro electrodos medidores de potencial entre los correspondientes puntos debidamente potencializados (los cuales pueden invertir ambas polaridades) con una precisión de $\pm 1\text{mm}$ en distancia sobre las cuadrículas de la cubeta.

2.3.2 Desplazamiento de las puntas de medida

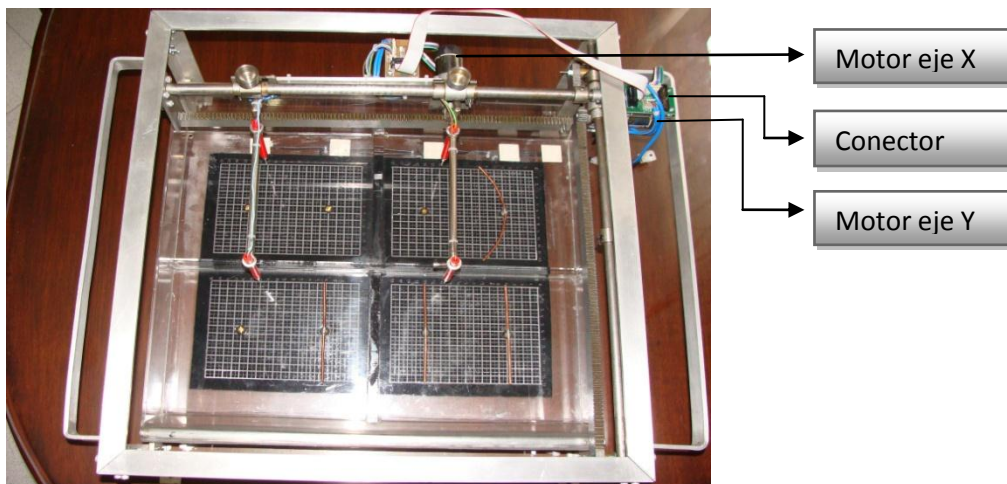
El desplazamiento de estas puntas se realizan mediante dos cremalleras mecánicamente acopladas, posicionados perpendicularmente definiendo los ejes X, Y e impulsados por dos motores de corriente directa con características especiales tanto mecánicas como eléctricas, estos trasladan las cuatro puntas de medida en forma simultánea a lo largo de los cuatro cuadrantes en dirección

vertical y/o horizontal realizando las medidas en las cuatro superficies en forma ordenada.

2.4 MODULARIDAD DEL EQUIPO

Desde el inicio del diseño del proyecto se pensó en un sistema el cual fuera de fácil portabilidad, mantenimiento y reparación en cualquiera de sus partes por lo cual el acabado final es fácilmente ensamblable a demás con chasis en aluminio para dar rigidez y aligerar su peso

Figura 8. Mesa X, Y



2.4.1 Instalación de la bandeja

La bandeja es en material acrílico transparente de 5mm de espesor lo cual le permite ser resistente y robusta, esta se ensambla y se fija fácilmente al equipo sin procedimientos complejos que puedan causar medidas erróneas mediante dos ejes “guías” sobre los cuales se desliza esta. En su interior se encuentran las cuatro divisiones con perfiles del mismo material que garantizan un aislamiento total entre las diferentes superficies.

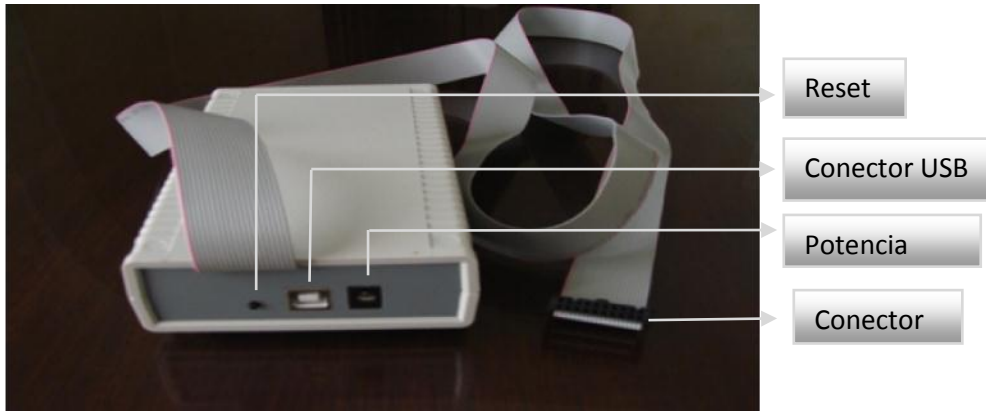
2.4.2 Sistema de tracción de los ejes X, Y.

La tracción conformada por un piñón de 2 cms de diámetro por motor acoplado a las dos cremalleras son de fácil desmonte en los cuales la tracción y el desplazamiento se realiza mediante dos motores a 12 voltios DC acoplados que como se mencionó antes son motores de características especiales mecánicas y eléctricas tal como: reductor de velocidad con su engranaje en piñones de baquelita con el propósito de reducción de ruido además una relación de 24 RPM y torque de 5.5 kg-cm, rodamiento y eje en acero templado a su salida. En sus características eléctricas dispone de escobillas, tres polos magnéticos, sensores magnéticos, filtro supresor de ruido en sus terminales de alimentación, “encoder” con 6 PPR (pulsos por revolución) con detección de sentido de giro para un óptimo control de dirección, desplazamiento y velocidad con un bajo consumo de corriente menor a 470 mA (experimentalmente su consumo es de 90 a 100 mA con carga) que reduce sustancialmente la robustez de la fuente de alimentación.

2.4.3 Panel de control

Su panel de control es ligero, totalmente independiente al sistema, el cual se enlaza mediante conectores de fácil operatividad e instalación al equipo, a demás con interconexión a un computador mediante puerto USB para realizar la adquisición de datos y su respectivo procesamiento en las ejecuciones de las prácticas de laboratorio.

Figura 9. Panel de control independiente al mecanismo



2.5 UBICACIÓN DE COORDENADAS Y DESPLAZAMIENTO

Se tiene como base para el control del desplazamiento y su posición las siguientes referencias:

En los motores de tracción sus sensores magnéticos generan 6 PPR confrontado experimentalmente en el eje principal (pulsos por revolución), el diámetro del piñón de salida en el reductor es de 0.016 mts es decir un radio de 0.008 mts

El reductor nuevamente en forma experimental ejecuta 33 RPM, a plena tensión, desde el “encoder” se lee una señal cuadrada de 714 PPS en el osciloscopio.

Las revoluciones por segundo en el eje principal de acuerdo a esos datos:

$$RPS = \frac{714}{6} = 119$$

Tiempo empleado por vuelta en el reductor:

$$t(seg/v) = \frac{60\text{ seg}}{33\text{ vueltas}} = 1.818181\text{ seg/vuelta}$$

Cantidad de vueltas en este tiempo:

$$RPS * t(seg) = Vueltas \text{ del eje ppal}$$

$$119 \frac{rev}{seg} * 1.818181 seg = 216.363539 Vueltas \text{ del eje ppal}$$

Cantidad de pulsos totales por revolución en el eje principal:

$$vueltas \text{ del eje ppal} * 6PPR = Pulsos \text{ totales}$$

$$216.363539 * 6 = 1298.181 pulsos \text{ totales}$$

Desplazamiento lineal del piñón / vuelta:

$$Perimetro = 2\pi r$$

$$p = 2 * \pi * .008 = 5.02654^{-2} mts$$

Luego tenemos 1298.181 pulsos totales para 50.2654 mm

Pulsos por mm:

$$\frac{1298.181}{5.02654^{-2}} = 25.826 plsos/mm$$

La resolución mínima de avance para toma de medidas será de 5 mm, por tanto se requiere sensor:

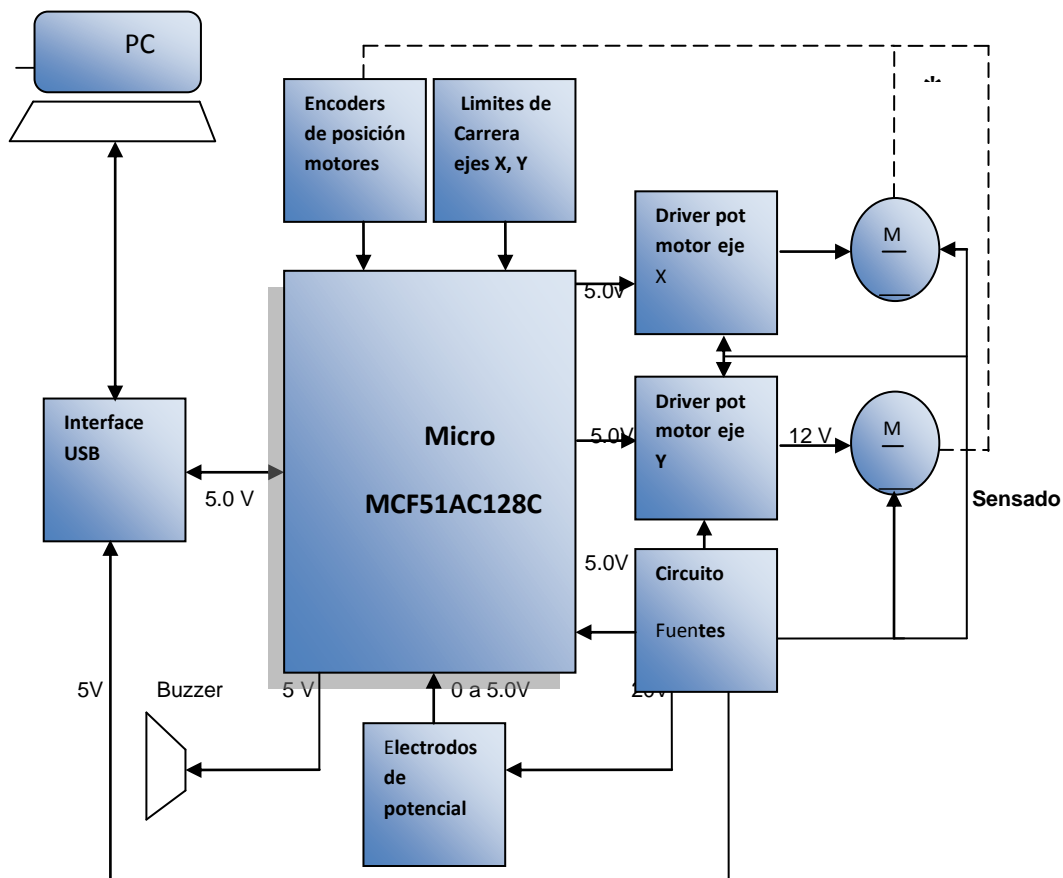
$$25.8264 * 5 = 129.132 \approx 129 pulsos/5mm$$

Mediante sensores de posición para los ejes X, Y el software posiciona las cuatro puntas de medida en las coordenadas (0,0) respectivamente y en este punto el equipo está listo para iniciar las tomas de medidas de potencial en la práctica a realizar.

2.6 DIAGRAMA DE BLOQUES Y SUS DIFERENTES ETAPAS

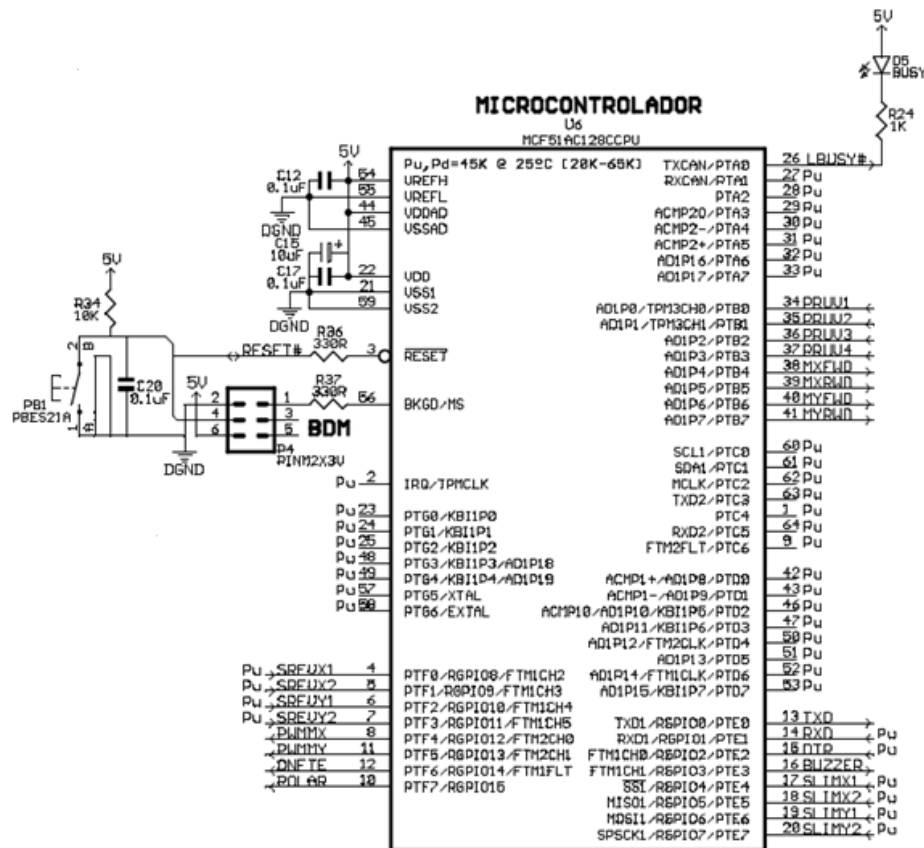
A continuación se explicarán las etapas que intervienen en el desarrollo del proyecto, para efectos de un perfecto entendimiento de la tecnología que se implementó para el desarrollo del proyecto SASE.

Figura 10. Etapas que componen el sistema.



Líneas punteadas: Indica dependencia mecánica.

Figura 11. Circuito del micro controlador MCF51AC128C y su polarización básica



2.6.1 Micro controlador coldfire MCF51AC128C, 32 bits V1

Es el dispositivo que controla todos los parámetros de funcionamiento tales como posicionamiento y desplazamiento de los electrodos, captura y envío de información hacia el PC

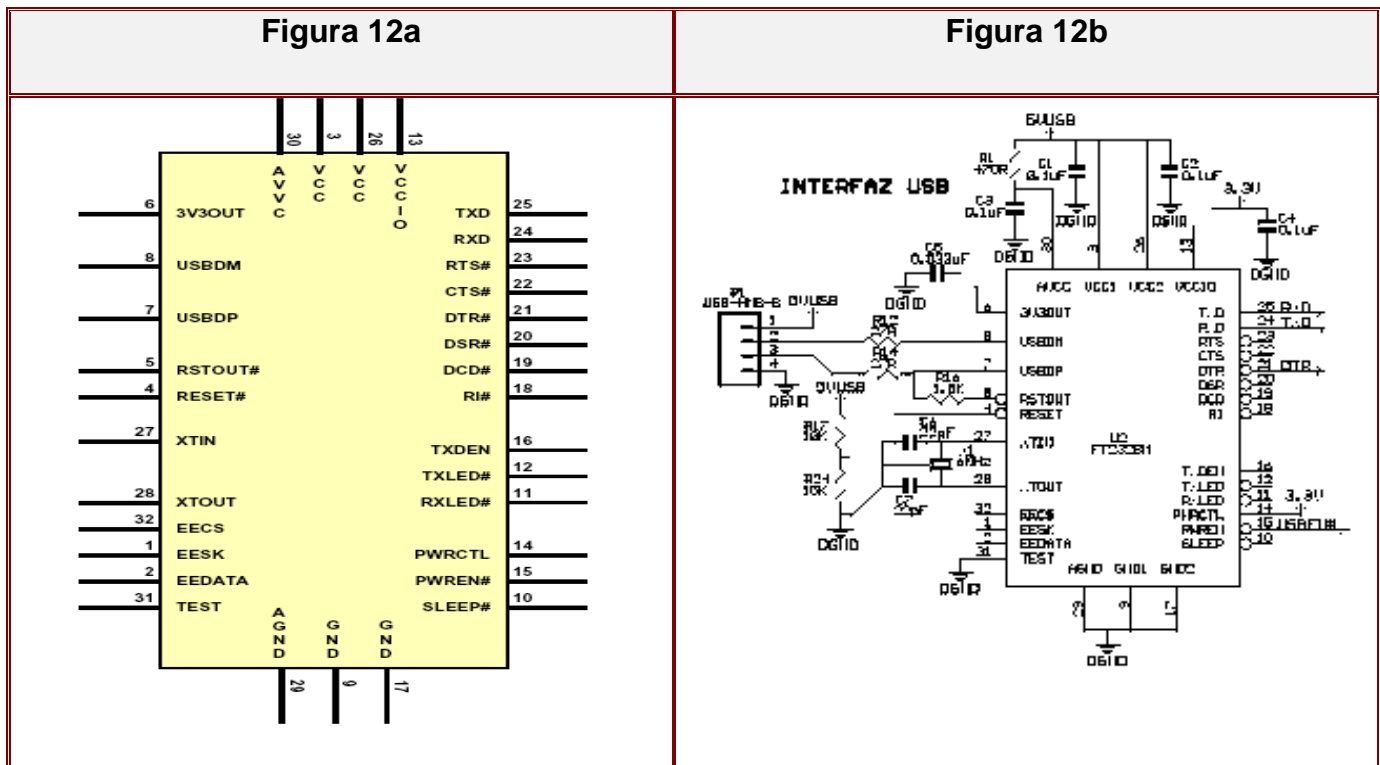
Tecnología Flexis de freescale es decir, totalmente compatible con los micro controladores de 8 bit de la serie MC9S08AC128 lo que permite migrar proyectos de un Micro controlador de 8 bits a 32 bits sin ser necesario alterar al contenido del código fuente y de igual manera minimizar los cambios en el mismo hardware lo que redundará en economía en la actualización de un proyecto en desarrollo.

Entre otras con las siguientes características:

- Velocidad: hasta 50.33 MHz
- V1 Coldfire core con BDM (Background Debug Mode)
- Flash Memory: 128 KB
- Memoria RAM: 16 KB
- Fuentes de interrupción: 30 vía módulos y 7 vía software
- Modos de bajo consumo: 2 por Stop
- Fuentes de reloj: Interna y externa
- Protecciones: COP (Watchdog computer operating properly), LVD, etc.
- Elementos circuitales de protección para prevenir accesos no autorizados a contenidos de RAM o FLASH.
- Puertos RGPIO: 16 puertos distribuidos en 54 pines.
- Módulos serial síncronos y asíncronos: (1 SPI, 2 IIC y 2 SCI full dúplex respectivamente.)
- Módulos temporizadores TPMx: uno de seis canales y dos de tres canales (PWM, Input capture, output compare, etc.)
- 24 Canales para conversión análoga a digital (ADC) de 12 bits.

Su información técnica y de operación se adicionará en el anexo 3: hojas de datos de componentes electrónicos.

El firmware empleado en este micro controlador será tratado en el numeral **2.8** al igual que el software implementado en Visual Basic para el desarrollo y ejecución de la práctica de Medida de las Superficies Equipotenciales.

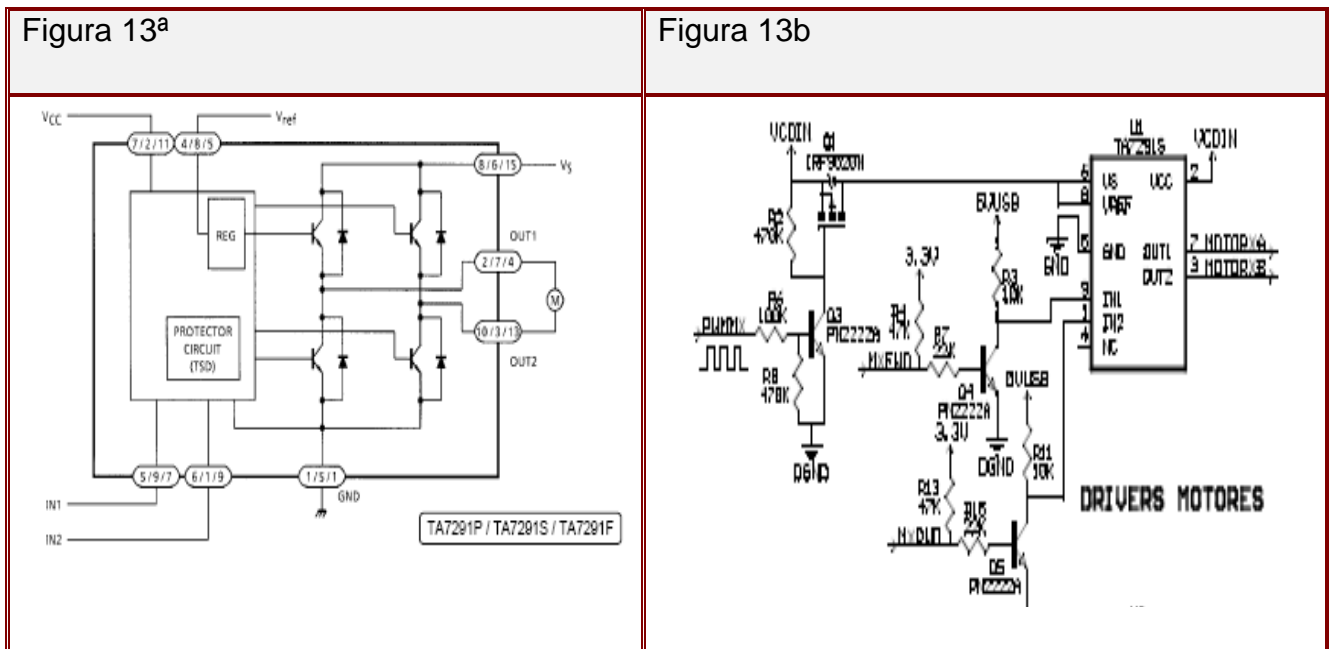


2.6.2 Interface USB FT232BM

Este integrado es el dispositivo encargado de realizar el interface entre la comunicación serial del micro controlador MCF51AC128C y el puerto USB del PC, es la segunda generación mejorada después de FT8U232AM el cual dispone de características especiales mediante las cuales permite entre muchas otras adaptar señales interface de 5.00Va 3.3V con un regulador de voltaje interno, flexibilidad en frecuencias de operación de 6 y 48 MHz a través un multiplicador de frecuencias PLL, rango de alimentación entre 4.35 V y 5.25 V, compatible con controladores principales USB 1.1 Y USB 2.0, puerto dual de transmisión de 128 bytes(Dual port Tx buffer de 128 Bytes), configurable para transmisiones desde 183 baudios hasta 3M baudios.

Este interface USB para su correcto funcionamiento requiere la instalación correspondiente su driver CDM 2.04.16 en el computador desde el cual se ejecute el software del Sistema SASE el cual se adiciona en medio magnético, anexo 3.

Su información técnica y de operación se adicionará en el anexo 3: hojas de datos de componentes electrónicos.



2.6.3 Drivers de potencia para los motores ejes x, y respectivamente, ic TA7291S

Por medio de estos dos dispositivos, llamados “puente H” realiza el micro controlador el control total en lo que refiere a velocidad y posición en avance hacia adelante y hacia atrás de los motores de los ejes X, Y respectivamente; para definir los puntos en que se deben tomar lecturas de voltajes de las superficies equipotenciales.

Este control lo realiza el micro controlador por medio de la modulación de ancho de pulso (PWM) a una frecuencia de 800 Hz, el cual mediante el Sensado que realiza a los motor a través del encoder de cada motor determina la velocidad y desplazamiento para realizar un posicionamiento en una coordenada determinada X, Y a una tensión nominal de 12 voltios DC.

Este control se implementó del tipo PI (Proporcional integral) en modo deslizante.

“La teoría de Control por Modo Deslizante (CMD) es una componente de la teoría de sistemas no lineales y consiste en la utilización de acciones de control conmutadas o discontinuas a través de superficies de deslizamiento. La teoría posee características de invariabilidad respecto a las incertidumbres y perturbaciones externas; sin embargo, tiene como desventaja la presencia de oscilaciones de alta frecuencia en la señal de control².”

A través de este circuito y con el monitoreo que realiza por medio de los suiches “límites de posición” el micro controlador determina el sentido de marcha de los ejes X, Y a través de los respectivos motores así como el punto de posicionamiento para inicio y final de muestras de medidas de la superficies de potenciales.

² Control difuso por modo deslizante para la resolución del problema de Seguimiento en Sistemas no Lineales [en línea] <disponible en: <http://ares.unimet.edu.ve/academic/revista/anales4.1/documentos/andrade.pdf>>

[Fecha de consulta: marzo de 2009]

Figura 14. Esquema de control en modo deslizante implementado a los motores

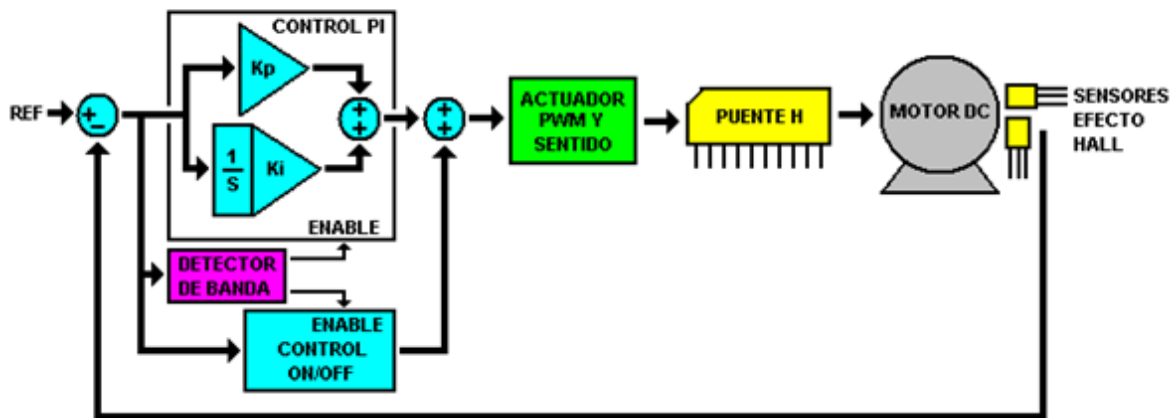
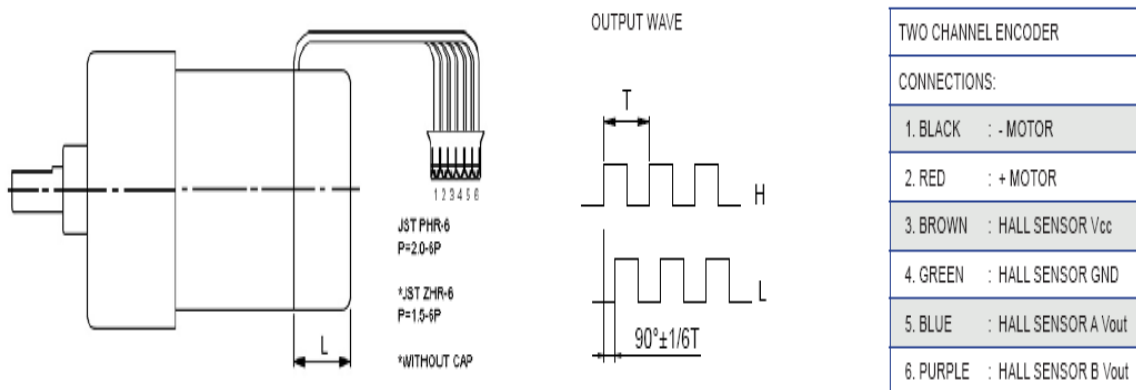


Figura 15. Distribución de los pines de conexión para los motores.



2.6.4 Encoders de posición a motores de tracción ejes X, Y

Este transductor es el dispositivo que determina la precisión del equipo en lo referente a desplazamiento y posición de los electrodos para la toma de medidas.

El diseño de este transductor está basado en la rotación de un disco magnético y dos “Hall sensors” (transductor que varía su salida de voltaje en respuesta a cambios de campos magnéticos) a noventa grados.

Estos dos transductores con desfase de noventa grados, permite mediante una secuencia binaria de dos bits, desarrollar con el código Gray³ una forma segura y eficaz de controlar sentido de giro, distancia en desplazamiento y posicionamiento de los ejes X Y.

El motor posee tres polos magnéticos N+S, es decir, genera seis pulsos por vuelta.

Este transductor se encuentra acoplado al eje principal del motor mecánicamente de tal manera que en la rotación de este genera una señal cuadrada de seis PPR (Pulsos por revolución) que el micro controlador recibe y manipula para tener “conocimiento” de cuál es la velocidad y posición de los electrodos para la toma de datos .

Su información técnica y de operación se adicionará en el anexo 3: hojas de datos de componentes del proyecto.

³Conversión Binario a GRAY y GRAY a Binario [en línea] <disponible en: http://www.unicrom.com/dig_conversion_binario-GRAY_GRAY_Binario.asp>
[Fecha de consulta: febrero 2009]

Figura 16a. Fuente regulada a 5 V. para USB y lógica del sistema

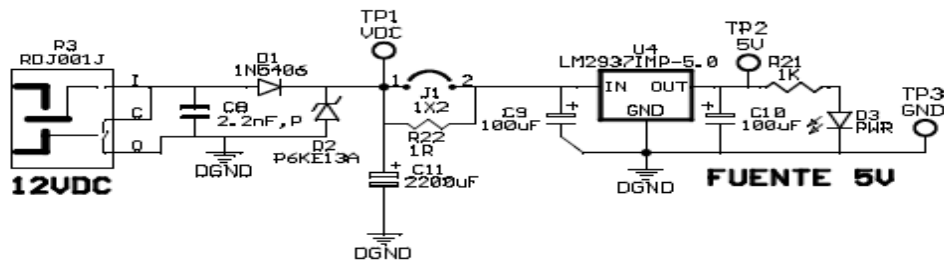
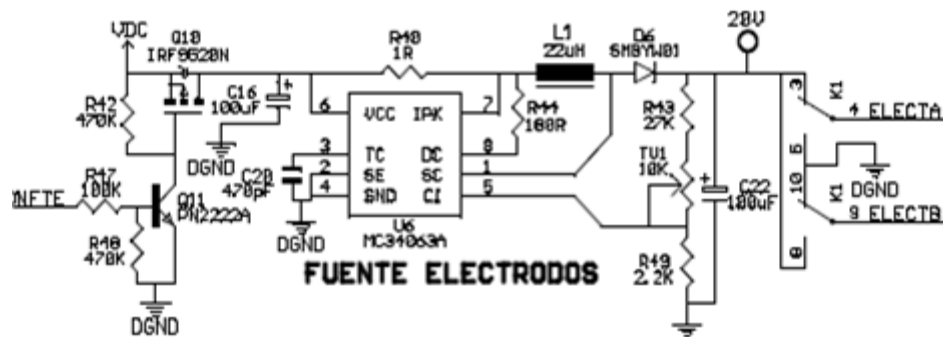


Figura 16b. Fuente 20 VDC suichada con conmutación de polaridad.



2.6.5 Circuito fuente para etapas de control y de potencia

Para las fuentes de 5.0 Vol. para la lógica del micro controlador y 5.0 Vol. DC para el circuito USB, se logra mediante reguladores de superficie LM 2937[MP-3.3] y LM 2937[MP-5.0] respectivamente debidamente polarizados según los datos técnicos de estos dispositivos, figura 8a.

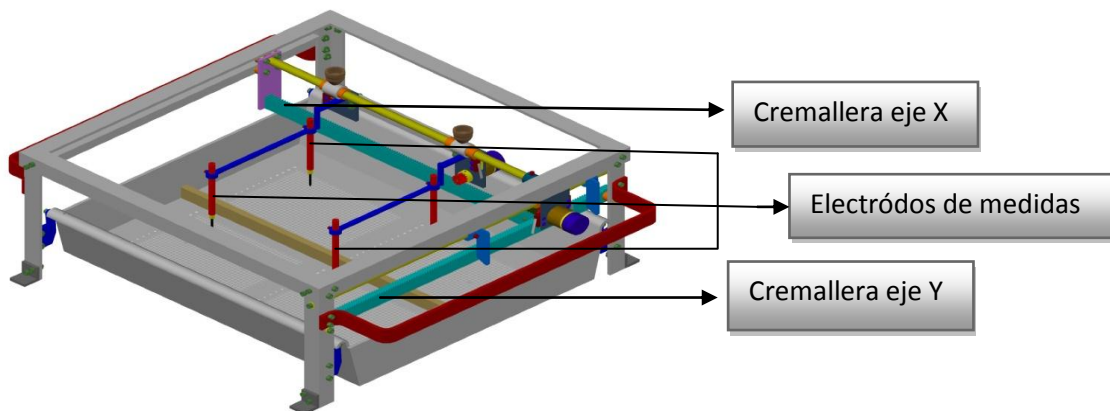
La fuente de 20 Vol. DC que suministra tensión a los electrodos de la cuatro superficies independientes en la bandeja se obtiene mediante el circuito integrado MC34063A el cual esencialmente es un convertor DC/DC que con un rango de frecuencias de operación de hasta 100 KHz (determinado por C20), configura una fuente “suichada” con un 2% de desviación máximo en el voltaje de salida

mediante el juego de resistencias R43, R49 y TV1. Su polaridad se define de acuerdo a la práctica que se realice y se invierte mediante un mando que recibe el micro controlador y lo ejecuta a través del relé K1, figura 8b.

La información técnica y operación de estos respectivos circuitos integrados se adicionará en el anexo 3: hojas de datos de componentes del proyecto.

La fuente de 12 voltios es una fuente externa de 36 Watts de alta frecuencia la cual alimenta la etapa de potencia con positivo al centro para suministrar energía a los motores mediante los puente "H" controlados tal como se explicó en el numeral 2.4.3, además se deriva para alimentar los tres niveles de tensión que requiere el sistema para funcionar correctamente, tal como la etapa interface USB: 5 voltios DC, la etapa lógica que comprende el micro controlador MCF51AC128C y el hardware que este controla: 5.0 voltios DC y por último, alimenta la etapa que corresponde a la fuente de voltaje de electrodos para suministrar voltaje 20 Voltios DC a las cuatro superficies de la bandeja independientemente.

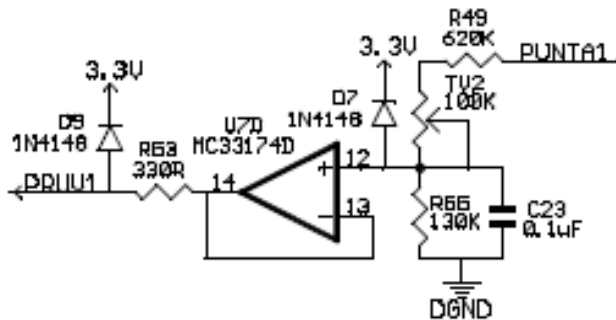
Figura 17. Distribución de los electrodos para las medidas de voltajes



2.6.6 Electrodos para toma de medidas simultáneas.

Los cuatro electrodos posicionados simétricamente sobre cada superficie equipotencial acoplados sobre un mismo eje cuya tracción se da mediante una cremallera tanto por el motor del eje X como del eje Y, se trasladan cubriendo toda el área de medida correspondiente para la toma de medidas de los niveles de potencial.

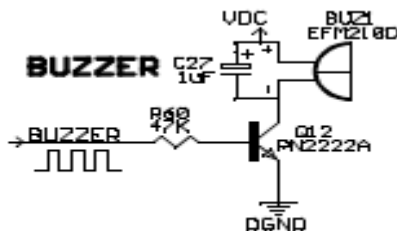
Figura 18. Circuito seguidor para puntas de prueba con el amplificador operacional MC33174D y protección de sobre voltaje para la entrada del micro controlador.



2.6.7 Circuitos de acople para las tomas de medida de las superficies equipotenciales.

En esta configuración circuital se realiza el acople para la señal de voltaje a medir entre las puntas que toman la muestra y la entrada ADC del micro controlador. Mediante el potenciómetro se realiza el ajuste necesario entre cero a 20 Voltios y el nivel de voltaje de referencia del ADC, el cual es 5.0 Voltios.

Figura 19. Circuito “Buzzer” para indicaciones auditivas en la operación del equipo.



2.6.8 Circuito buzzer

El circuito Buzzer permite orientar la práctica al estudiante en las diferentes etapas de esta, de tal manera que lo ubica en forma auditiva en el posicionamiento del equipo en ceros de las puntas de medida, la finalización de estas entre otros.

En el anexo 2, manual del usuario se indicará con detalle la aplicación del circuito Buzzer.

2.7. TOMA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En la adquisición de datos para la realización de la práctica, intervienen las siguientes etapas en el sistema:

Como núcleo principal se tiene el micro controlador MCF51AC128C el que por medio de sus múltiples etapas en su arquitectura interna controla el avance de los motores mediante la modulación de ancho de pulso "PWM", el muestreo debidamente sincronizado de voltaje en las cuatro superficies equipotenciales mediante los canales análogos digitales "ADC" de 12 bits debidamente calibrados y acoplados en el hardware por medio de los circuitos seguidores, los topes máximos en el desplazamiento de los ejes X, Y por medio de los interruptores finales de carrera debidamente instalados y finalmente la transmisión ordenada de datos digitalizados al computador central a través del acople con el interface de transmisión serial Vs puerto USB el cual es externo al micro controlador.

Finalmente el almacenamiento y transmisión de datos realizado por el micro controlador, utilizando el módulo SCI (Serial Communication Interface), configurado a una frecuencia de 115.2 Kbps se transfiere al computador central por medio del acople de transmisión USB ya descrito anteriormente en el numeral 2.4.2.

En el computador base se desarrolla mediante el software Visual Basic una ventana con tres pestañas con la que se realiza la manipulación del sistema tal como inicios de práctica, posición inicial, visualización de datos tales como voltajes

de los electrodos, posicionamiento de los motores, captura de datos y procesamiento de estos entre otros, los cuales a través de un archivo plano el estudiante desarrollaría las respectivas tablas y gráficas de la práctica en cuestión.

En el manual de usuario se detallará en forma clara el manejo, operación y uso en general de esta ventana.

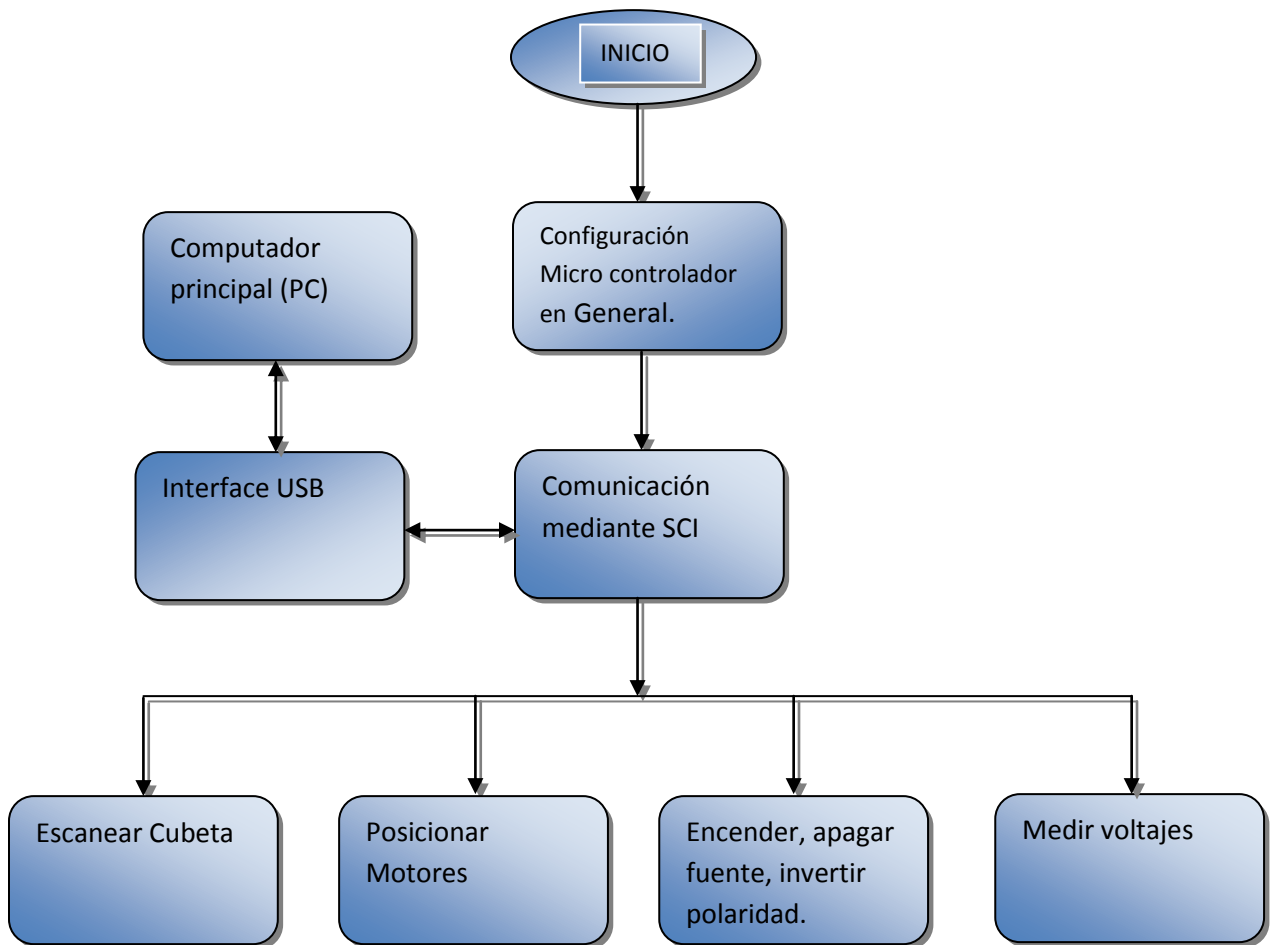
2.8. SOFTWARE DEL SISTEMA

2.8.1 Software implementado en el micro controlador MCF51AC128C, Cold Fire V1.

El software del micro controlador está correlacionado directamente con el hardware del sistema ya que tiene acción directa sobre el sensado de las variables de entrada e igualmente sobre las variables de salida, de acuerdo al numeral 2.6 figura 10, se describe con detalle los diferentes tipos de variables que recibe, tales como voltajes análogos de las cuatro puntas de medidas, trenes de pulsos cuadrados procedentes de los “encoders” ubicados en los motores, señales de los interruptores finales de carrera, etc. Así mismo en forma sistemática de acuerdo a los niveles de estas variables de entrada, realiza acciones controladas y directas sobre los motores para el desplazamiento de los ejes X, Y en forma ordenada intercambia información con el ordenador central mediante la interface USB.

El software se implementa con la herramienta “CodeWarrior” para micro controlador versión V6.2, esta versión permite desarrollar el software tanto en “assembler” como en ambiente del lenguaje C, en este proyecto todo el software se implementa en ambiente C y en la siguiente figura se esquematiza en diagrama de flujo las diferentes etapas sobre las que se desarrolla el proyecto para las medidas de las superficies equipotenciales.

Figura 20. Diagrama de flujo general para el sistema “SASE”



De acuerdo al diagrama de bloques del modelo de control deslizante para los motores de los ejes X, Y de la figura 14 en la página 38 se presenta el bloque de código en C que permite realizar el control para el desplazamiento y velocidad de cada motor en los respectivos ejes, las variables que se denominaron, etc.


```
// Variables control modo deslizante motor X
```

```
volatile double Kpx=80;
```

```
volatile double Kix=80;
```

```
volatile double Xkx=0;
```

```
volatile double Xk_1x=0;
```

```
volatile double Ekx=0;
```

```
volatile double Ukx=0;
```

```
volatile word Rkx=0;
```

```
volatile word Ykx=0;
```

```
volatile word Rkxs=0;
```

```
// Variables control modo deslizante motor Y
```

```
volatile double Kpy=80;
```

```
volatile double Kiy=60;
```

```
volatile double Xky=0;
```

```
volatile double Xk_1y=0;
```

```
volatile double Eky=0;
```

```
volatile double Uky=0;
```

```
volatile word Rky=0;
```

```
volatile word Yky=0;
```

```
volatile word Rkys=0;
```

```
void mcufSetCicloUtil(byte motor,byte pdc){
```

```
    if(motor==MCU_MOTORX){
```

```
        FTM2C0V=(word)((20000*pdc)/100);
```

```
    } else{
```

```
        FTM2C1V=(word)((20000*pdc)/100);
```

```
    }
```

```

}

void mcufPollProcesoMotorX(void){

    if(RequestMotorX && ScanProcesoMotorX){

        ScanProcesoMotorX=0;

        Ekx=Rkx-Ykx;      // Cálculo del error

        if(Ekx>=MCU_BANDA_PI_MOTORX_NEGATIVA && Ekx<=MCU_BANDA_PI_MOTORX_POSITIVA){

            Xk_1x=Xkx+Ts*Kix*Ekx; // Control PI

            Ukx=Xkx+Kpx*Ekx;

            Xkx=Xk_1x;      // Actualiza el valor anterior del integrador

            if(Ukx>20000){   // Limitador de la salida del control PI y antiwindup

                FTM2C0V=20000;

                Xkx=0;

                MCU_MOTORX_FWD();

            } else if(Ukx<=-20000){

                FTM2C0V=-20000;

                Xkx=0;

                MCU_MOTORX_RWD();

            } else{

                if(Ukx>=0){

                    FTM2C0V=(word)Ukx;

                    MCU_MOTORX_FWD();

                } else{

                    FTM2C0V=(word)(Ukx*-1);

                    MCU_MOTORX_RWD();

                }

            }

        }

    }

}

```

```

} else if(Ekx>0){

    FTM2C0V=20000;

    MCU_MOTORX_FWD();

} else{

    FTM2C0V=20000;

    MCU_MOTORX_RWD();

}

if(Ekx>=MCU_BANDA_ERRORX_PERMITIDO_NEG&&
Ekx<=MCU_BANDA_ERRORX_PERMITIDO_POS){

    McuvContadorValErrorX++;

    if(mcuvContadorValErrorX==MCU_MAX_VALOR_TIEMPO_ERRORX){

        McuvContadorValErrorX=0;

        FTM2C0V=0;

        MCU_MOTORX_STOP();

        RequestMotorX=0;

    }

} else {

    McuvContadorValErrorX=0;

}

}

}

void mcufPollProcesoMotorY(void){

    if(RequestMotorY && ScanProcesoMotorY){

        ScanProcesoMotorY=0;

        Eky=Rky-Yky;    // Cálculo del error

        if(Eky>=MCU_BANDA_PI_MOTORY_NEGATIVA && Eky<=MCU_BANDA_PI_MOTORY_POSITIVA){

```

```

Xk_1y=Xky+Ts*Kiy*Eky; // Control PI

Uky=Xky+Kpy*Eky;

Xky=Xk_1y;      // Actualiza el valor anterior del integrador

if(Uky>20000){   // Limitador de la salida del control PI y antiwindup

    FTM2C1V=20000;

    Xky=0;

    MCU_MOTORY_FWD();

} else if(Uky<-20000){

    FTM2C1V=-20000;

    Xky=0;

    MCU_MOTORY_RWD();

} else{

    if(Uky>=0){

        FTM2C1V=(word)Uky;

        MCU_MOTORY_FWD ();

    } else {

        FTM2C1V=(word)(Uky*-1);

        MCU_MOTORY_RWD();

    }

}

} else if(Eky>0){

    FTM2C1V=20000;

    MCU_MOTORY_FWD();

} else{

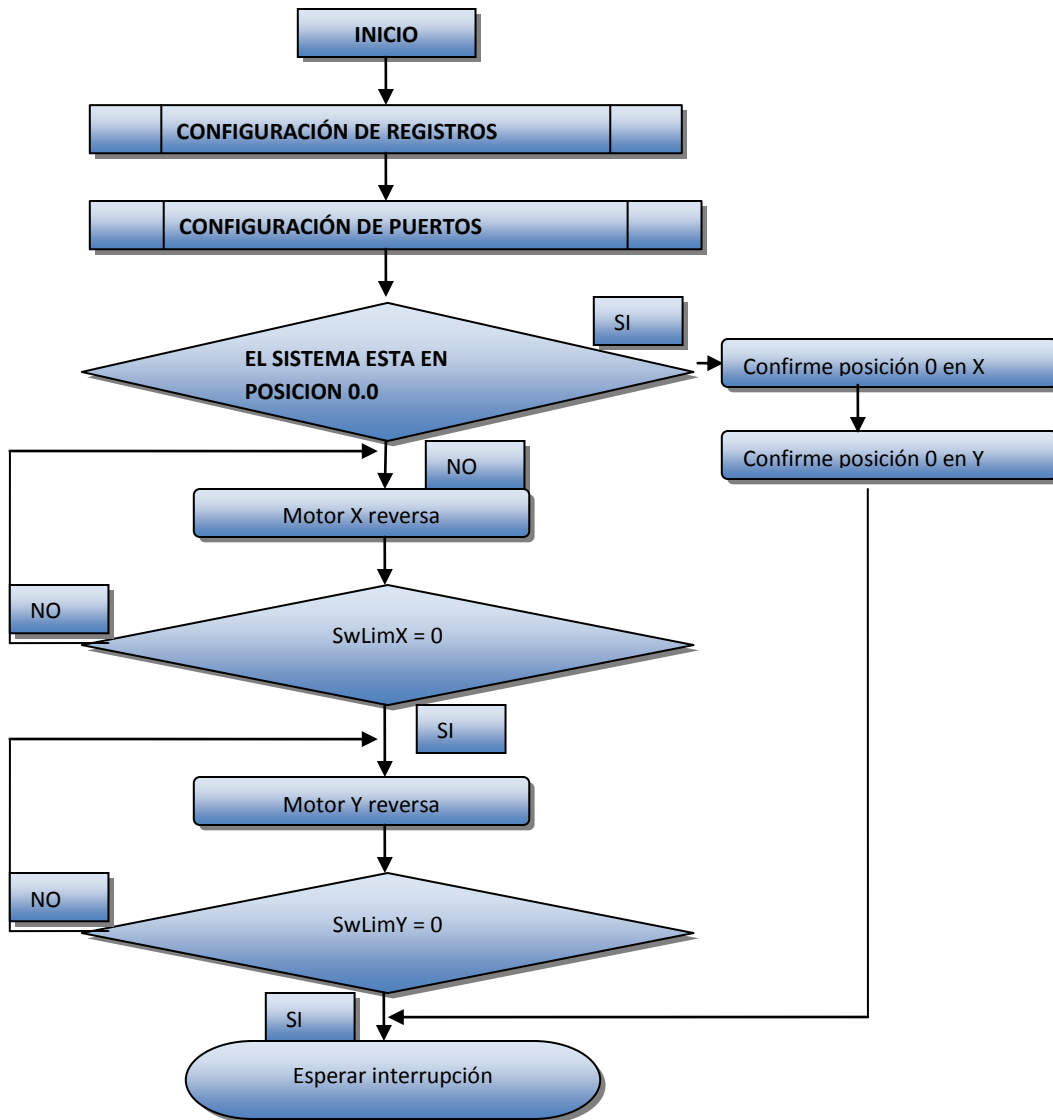
    FTM2C1V=-20000;

    MCU_MOTORY_RWD();

```

```
}  
  
if(Eky>=MCU_BANDA_ERRORY_PERMITIDO_NEG&&  
Eky<=MCU_BANDA_ERRORY_PERMITIDO_POS){  
  
    McuvContadorValErrorY++;  
  
    if(mcuvContadorValErrorY==MCU_MAX_VALOR_TIEMPO_ERRORY){  
  
        McuvContadorValErrorY=0;  
  
        FTM2C1V=0;  
  
        MCU_MOTORY_STOP ();  
  
        RequestMotorY=0;  
  
    }  
  
} else{  
  
    McuvContadorValErrorY=0;  
  
}  
  
}  
  
}
```

Figura 21. Diagrama de flujo para subrutinas de inicialización del micro controlador posicionamiento de los motores



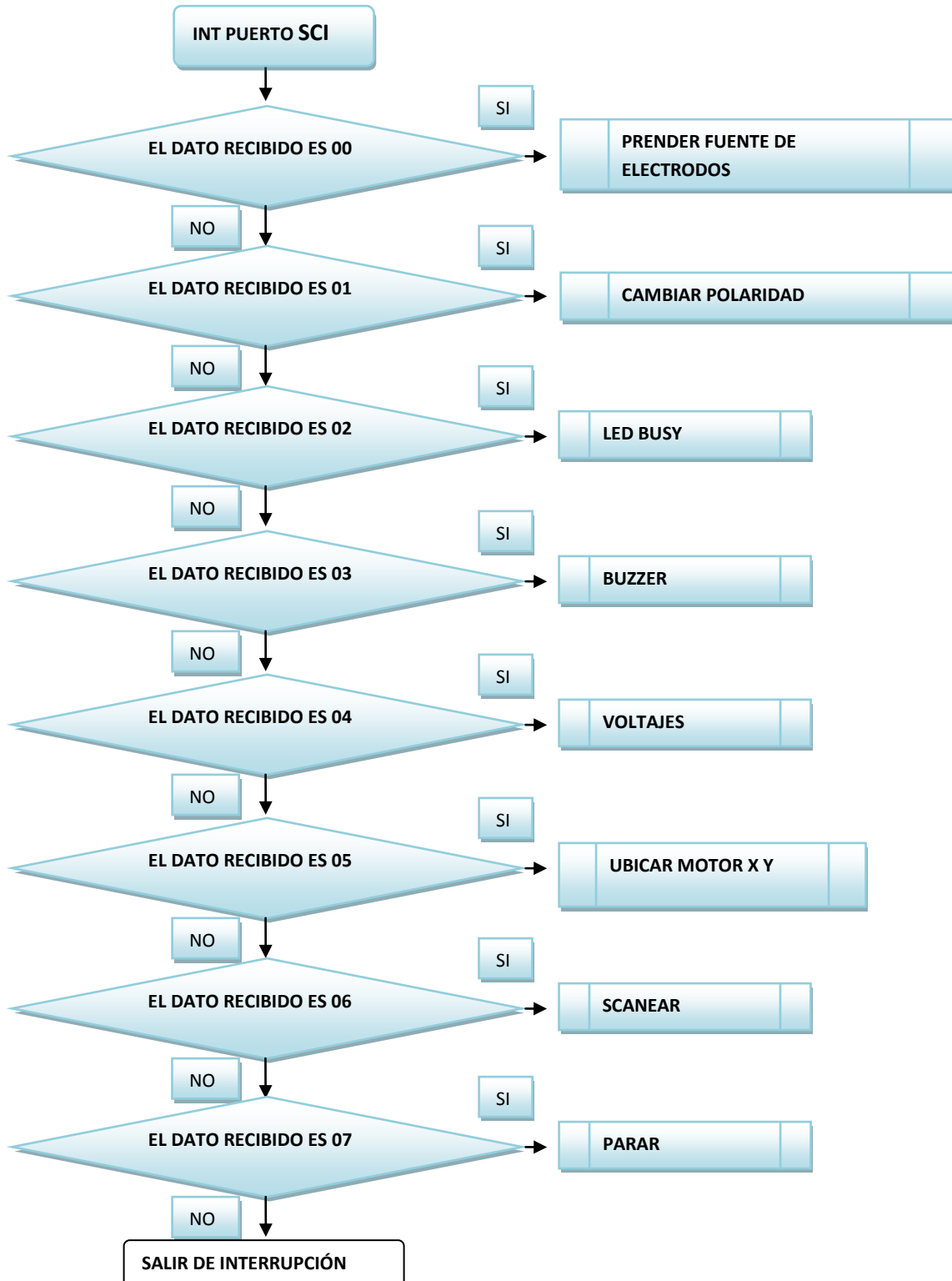
2.8.1.1 Modulo SCI y las configuraciones de tramas para la comunicación con el control principal del PC.

Las siguientes son las interrupciones por el puerto de comunicación SCI y el Formato de las tramas a recibir para atender las diferentes solicitudes hechas desde computador principal:

| 0x10 | 0x02 | CMD | Cantidad de datos | Datos | 0x10 | 0x03 |

Mediante el puerto USB de acuerdo al dato recibido será la acción que debe hacer el micro controlador, dependiendo del programa realizado en Visual Basic.

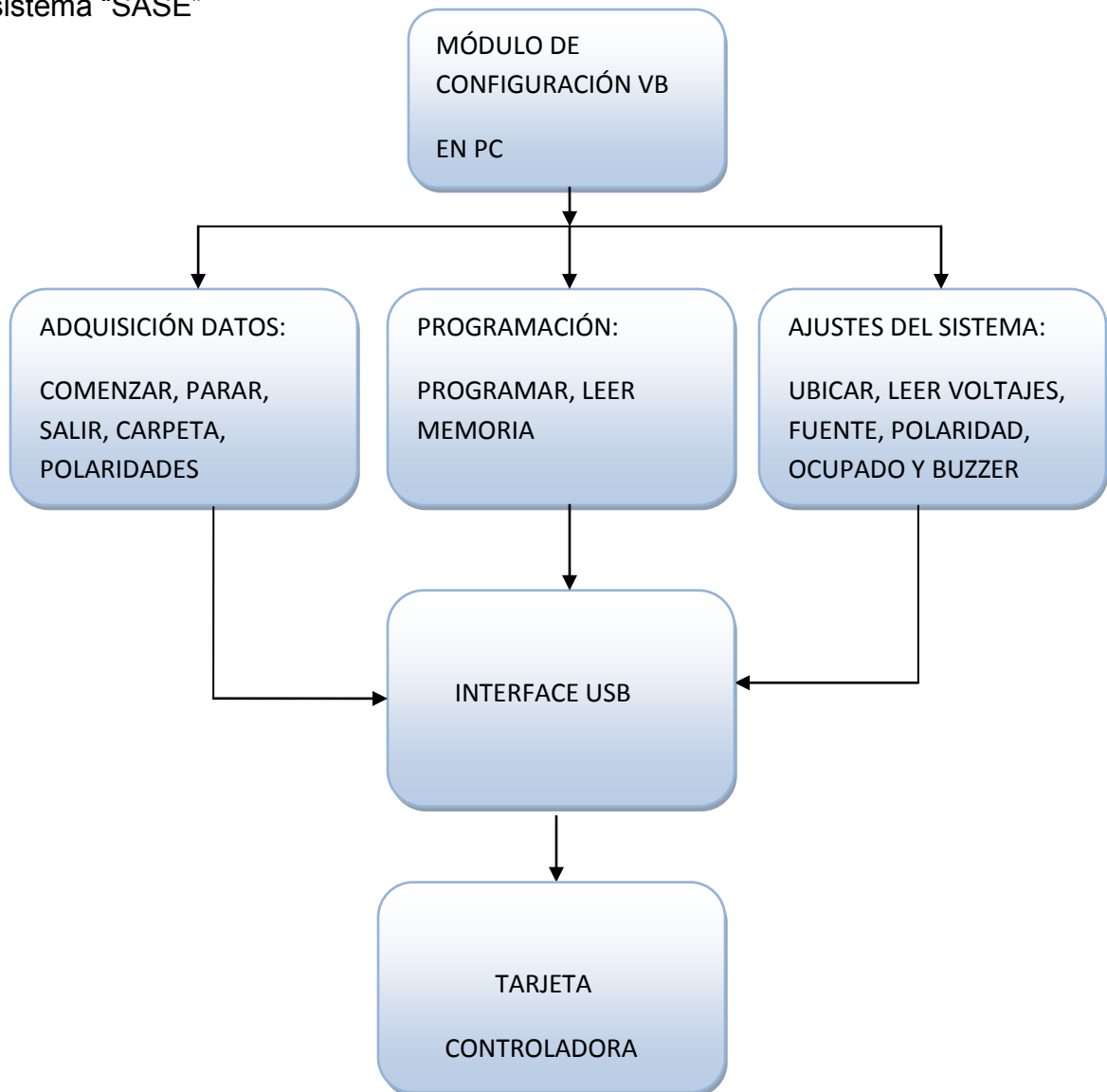
Figura 22 Diagrama de flujo para el módulo SCI en el micro controlador



2.8.2 Software implementado en el PC en Visual Basic.

El software diseñado e implementado en la computadora principal en Visual Basic el cual es amigable, sencillo de usar y a la vez brinda una información completa del desarrollo de la práctica en tiempo real presenta los siguientes bloques de funciones:

Figura 23 Bloques de funciones en VB para la ejecución de las diferentes tareas del sistema “SASE”



Todo el código tanto del micro controlador realizado en lenguaje C como el de VB en el PC, se incluye en el anexo N° 3 en formato de CD.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo, en el desarrollo de este proyecto: Sistema Automático para Superficies Equipotenciales “SASE” sobresalen algunos aspectos importantes tales como:

- Optimizar el tiempo en la realización de la práctica por parte del estudiante en lo referente a la captura de datos en la actividad, tiempo que lo podrá emplear para una asimilación más profunda en lo que se refiere a las superficies equipotenciales y a su comportamiento físico.
- Brindar portabilidad y robustez tanto en el software implementado como en la estructura principal de aluminio al equipo y así en corto tiempo lograr la instalación del mismo al momento de iniciar la actividad de la práctica a realizar.
- Mediante la implementación de comunicación por puerto USB del sistema, se logra una transmisión serial de datos ágil y eficaz hacia la computadora principal, optimizando los tiempos de procesamiento en la captura de datos del equipo y la parametrización de estos.

Dificultades e inconvenientes de diseño:

Es de tener en cuenta que la tarjeta controladora se desarrolló inicialmente con el micro controlador MCF51QE128, con el cual se encontraron los siguientes inconvenientes:

El ruido o EMI que generaban los motores causaban permanentemente reset al sistema, lo que nos indicó la sensibilidad del micro controlador, aun con los sistemas de filtrado que tienen incorporado los motores de CD y adicional a los filtros que se le implementó al sistema en las diferentes etapas tales como los interruptores finales de carrera, fuente de 20 Vol. y tomas de medida de voltaje.

Observando otros micro controladores de la tecnología Flexis, eléctricamente existían otras referencias de características más robustas tales como filtros internos en sus micro conexiones para mejorar la inmunidad al ruido, la fuente de alimentación de mayor nivel de voltaje a 5 VDC (Este aspecto ayuda a mantener una relación señal a ruido mas óptima para su operación) a demás con características de diseño más especializadas para aplicaciones industriales como es el micro controlador MCF51AC128C, este por diseño ofrece todas estas características mejoradas respecto al micro controlador MCF51QE128, se optó por rediseñar nuevamente la tarjeta controladora con el dispositivo MCF51AC128C superándose así el inconveniente del “reseteo” permanente del equipo.

También en el diseño de la tarjeta impresa se realizó un “refuerzo de tierras”, separándose las rutas de líneas de control y líneas de potencia. Para esto se tuvo en cuenta que los caminos del circuito impreso para polarizar el micro controlador estuvieran lo más distantes posibles de los caminos del impreso para suministrar corriente a los sistemas de potencia como motores, las líneas con interconexión hacia los micro suiches o límites de carrera los cuales pueden generar el efecto revote cuando son accionados, a demás todos los espacios libres del área total de la tarjeta se dejó como línea de tierra lo cual disminuyó efectivamente los problemas de funcionamiento en el sistema

Respecto al diseño de la bandeja se implemento inicialmente para que el sistema capturara las medidas de solo dos tipos de medida, dado el diseño que se desarrolló en el sistema mecánico del equipo y la robustez tecnológica que nos ofreció el micro controlador se pudo implementar la captura de medida para las cuatro formas de medida de las superficies equipotenciales: línea-línea, línea-punto, punto- punto y semicírculo- punto.

Observando la **Figura 6** de la página 25, cada superficie equipotencial mide 18 Cm por 13 Cm. Inicialmente se optó por tener en la bandeja las cuatro superficies y que el sistema solo tuviera dos puntas de medida, de tal forma realizaba las tomas de medida primero a las dos superficies horizontalmente ubicadas en la bandeja y luego estas se desplazaban a los otros dos cuadrantes e iniciaban las

tomas a las otras dos superficies restantes, esto implicaba realizar maniobras complicadas de control y a demás mecánicas para que las puntas se elevaran de una zona a otra por tanto se contempló la posibilidad de extender los brazos de las puntas de medida para que cada brazo tuviera dos puntos de medida y así en un solo tiempo el sistema capturaba las cuatro medidas de la práctica optimizando aun más el rendimiento del tiempo para la actividad.

BIBLIOGRAFÍA

CIFUENTES OSPINA, Juan Martín, MARÍN ARCOS, Álvaro. Diseño y construcción de un sistema control remoto para la experimentación con superficies equipotenciales. Medellín, 2002. 376p. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica

CodeWarrior Development Studio [en línea] <disponible en:
<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=0127262E70>>
[Fecha de consulta: Septiembre de 2008]

Control difuso por modo deslizante para la resolución del problema de Seguimiento en Sistemas no Lineales [en línea] <disponible en:
<http://ares.unimet.edu.ve/academic/revista/anales4.1/documentos/andrade.pdf>>
[Fecha de consulta: marzo de 2009]

Conversión Binario a GRAY y GRAY a Binario [en línea] <disponible en:
http://www.unicrom.com/dig_conversion_binario-GRAY_GRAY_Binario.asp>
[Fecha de consulta: febrero 2009]

FT232BM USB UART (USB – SERIAL) IC [en línea] <disponible en:
http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232BM.pdf> [Fecha de consulta: Octubre 2008]

SERWAY, Raymond A.. Electricidad y magnetismo. México: Mc Graw – Hill, 1999. 389 p.

Spur gear DC motors 1W-40W General catalogue [en línea] <Disponible en:
http://www.transmotec.com/PDF/Catalogues/Motors_Spur_Gear_DC_Catalogue_1W-40W.pdf> [Fecha de consulta: Septiembre 2008]

Transferencia Directa [MC33174D datasheet](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2180.pdf) de ST Microelectronics [en línea]
<disponible en:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2180.pdf>> [Fecha de
consulta: Junio de 2009]

WANGSNESS, Roald K.. Campos electromagnéticos. México: Editorial Limusa, 1998, p. 682