

**CONTABILIZADOR ELECTRONICO DE INVENTARIO PARA
REFRIGERADORES**

**JORGE WILSON PALACIOS CARO
CODIGO: 1116547347**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN ELECTRONICA
YOPAL
2015**

**CONTABILIZADOR ELECTRONICO DE INVENTARIO PARA
REFRIGERADORES**

**JORGE WILSON PALACIOS CARO
CODIGO: 1116547347**

**Trabajo de grado para optar al título de
Tecnólogo en Electrónica**

**Director
LUIS GABRIEL NOREÑA TRIGOS.
Ing. Electrónico ESP Teleinformática.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN ELECTRONICA
YOPAL
2015**

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo primero que todo a Dios que es el que me ha permitido estar aquí terminando esta carrera con mucho esfuerzo y sacrificio.

En segundo lugar quiero dedicarles este trabajo a mis padres quienes siempre me han apoyado y serán siempre motivo de orgullo y admiración para mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme lograr culminar esta carrera que he estudiado con mucho esfuerzo, sacrificio y dedicación.

A mis padres por estar siempre ahí apoyándome y esto no hubiera sido posible sin el gran apoyo y esfuerzo de ellos.

Al ingeniero Luis Gabriel Noreña Trigos por su apoyo, dedicación y entrega en el acompañamiento del desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCION.....	3
1. TITULO.....	4
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	4
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
3. OBJETIVOS	5
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	6
5. MARCO DE REFERENCIA.....	6
5.1 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	6
5.1.1 Sensor de fuerza flexiforce.....	7
5.1.2 Arduino mega 2560.....	8
5.1.3 LCD 16x2.....	9
5.1.4 El protoboard o breadbord.....	12
5.1.5 Resistor.....	13
5.1.6 Cable de par trenzado.....	14
5.2 MARCO TECNOLOGICO.....	15
5.2.1 Arduino.....	15
5.2.2 Proteus.....	16
6. DISEÑO METODOLOGICO.....	18
6.1 Localización.....	18
6.2 Tipo de proyecto	18
6.3 Población	18

6.4 METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	18
6.4.1 Selección	18
6.4.2 Diseño Electrónico	19
6.4.3 Diseño de interfaz gráfica	19
6.4.4 Construcción y pruebas.....	20
7. RESULTADOS.....	21
8. RECURSOS.....	42
9. CRONOGRAMA.....	43
10. CONCLUSIONES.....	44
11. RECOMENDACIONES.....	45
12. BIBLIOGRAFIA.....	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen.....	9
Tabla 2.Descripción de pines	11
Tabla 3. Selección	19
Tabla 4. Diseño electrónico	19
Tabla 5. Diseño de interfaz grafica	19
Tabla 6. Construcción y pruebas	20
Tabla 7. Voltajes, corrientes y resistencias para algunos pesajes.....	24
Tabla 8. Presupuesto General Total del Proyecto.....	42
Tabla 9. Cronograma.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de bloques	6
Figura 2. Sensor de fuerza flexiforce	7
Figura 3. Arduino mega 2560	8
Figura 4. Diagrama de 2560 PIN Mega Arduino.	9
Figura 5. Pines soldadas del LCD 16x2	10
Figura 6. LCD 16x2	10
Figura 7. LCD conectada al arduino Mega y la protoboard.....	10
Figura 8. Diagrama de pines de un LCD 16x2	11
Figura 9. Protoboard	13
Figura 10. Resistor.....	13
Figura 11. Cable de par trenzado	14
Figura 12. Comportamiento del sensor.....	21
Figura 13. Circuito y gráfica del sensor.....	22
Figura 14. Área de operación del sensor.....	22
Figura 15. Sensor con multímetro.....	23
Figura 16. Sensor alimentado con 5V.....	24
Figura 17. Resistencia de 10k con 5V.....	25
Figura 18. Sensor, arduino y resistencia.....	26
Figura 19. Montaje físico del sensor con el arduino en la protoboard.....	27
Figura 20. Simulación en proteus.....	28
Figura 21. Código del programa.....	29

Figura 22. Resultados del código del programa.....	30
Figura 23. Código del programa completo.....	31
Figura 24. Resultados del programa.....	32
Figura 25. Configuración de la LCD.....	33
Figura 26. Arduino con los sensores montado en la protoboard.....	34
Figura 27. Angulo opuesto del montaje en la protoboard.....	35
Figura 28. Montaje del prototipo con la LCD.....	36
Figura 29. Panorama más amplio del prototipo.....	36
Figura 30. Prototipo instalado en la parrilla a utilizar.....	37
Figura 31. El prototipo instalado desde otro punto de vista.....	38
Figura 32. Prototipo diseñado en funcionamiento.....	39
Figura 33. El prototipo en funcionamiento desde otro ángulo.....	40
Figura 34. Evidencia de un buen funcionamiento del prototipo diseñado.....	41

RESUMEN

En los establecimientos como autoservicios, restaurantes, y tiendas se utilizan refrigeradores para almacenar bebidas, generalmente la contabilidad de estos refrigeradores se requiere hacer día a día, y esto supone realizar un conteo manual al finalizar las jornadas laborales, este conteo manual requiere que los operarios ingresen parte de su cuerpo al refrigerador, lo cual puede resultar perjudicial para la salud del trabajador. Por otra parte, en ocasiones se requiere conocer el valor exacto de bebidas que hay a cierta hora del día, lo cual requiere nuevamente de la intervención del trabajador. En este contexto se pretende diseñar y elaborar un dispositivo electrónico digital basado en micro controlador que permita el conteo automático de bebidas, y con una interfaz que permita visualizar el número de bebidas existentes en uno de los compartimientos del refrigerador, evitando así la intervención del trabajador y permitiendo un mejor control del inventario.

ABSTRACT

In establishments like supermarkets, restaurants, and shops refrigerators are used to store drinks, usually accounting for these refrigerators is required to do every day, and this means the end of a manual count working hours, this requires manual counting operators enter part of the body to cold, which can be harmful to the health of workers. On the other hand, sometimes it requires knowing the exact value of drinks there a certain time of day, which again requires the intervention of the worker. In this context it is to design and develop a digital electronic device based on microcontroller which enables the automatic counting of drinks, and an interface to view the number of existing drinks in one of the compartments of the refrigerator, thus avoiding worker intervention and enabling better inventory control.

INTRODUCCION

Lo que se trata de hacer es crear un equipo electrónico de medición, esto se quiere realizar porque va a ser de gran ayuda para los administradores de locales comerciales que utilizan refrigeradores industriales.

Este proyecto se piensa hacer utilizando diferentes materiales, como lo son: sensores de fuerza, arduino mega, protoboard, resistencias, regulador de voltaje, lcd y la cablería necesaria. Se va utilizar el siguiente esquema: se requiere un sensor de fuerza y se conectará a un arduino mega luego de esto la salida del circuito va conectada al lcd el cual es el que mostrara la información requerida por el usuario. Este dispositivo podrá ser instalado en las parrillas de los enfriadores industriales en la parte de abajo de cada una de ellas para que pueda mostrar con gran comodidad los datos requeridos por el usuario.

Este dispositivo se va a hacer para proporcionar ayuda a los usuarios a calcular la cantidad de productos que hay en cada parrilla de los enfriadores industriales en los que esté instalado el dispositivo diseñado y también a la vez permita llevar una contabilidad del inventario y corroborar con la facturación de todos los productos involucrados en el mismo.

No hay antecedentes de trabajos similares.

1. TITULO

CONTABILIZADOR ELECTRONICO DE INVENTARIO PARA REFRIGERADORES

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el campo de los refrigeradores industriales utilizados para almacenar productos en establecimientos de comercio como autoservicios, restaurantes, y tiendas, se tiene el problema por parte del operario de obtener información rápida acerca de la cantidad exacta de producto almacenado, por otra parte el conteo manual realizado actualmente obliga al operario a introducir parte de su cuerpo al refrigerador para realizar dicho conteo, esta intervención puede resultar perjudicial para la salud del operario debido al cambio brusco de temperatura al que se expone, este problema es más notable en clima caliente, como es el caso de la ciudad donde se elabora este proyecto (Yopal) cuya temperatura promedio es 26°C.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Que parámetros de diseño se deben tener en cuenta para desarrollar el diseño del dispositivo electrónico y así obtener un óptimo resultado posible con el producto final?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo de un dispositivo electrónico que sirva como herramienta para administrar el inventario de un enfriador industrial.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ❖ Seleccionar los sensores teniendo en cuenta las limitaciones del diseño, y el ambiente al que estarán sometidos.
- ❖ Programar el Arduino y el LCD que servirá para visualizar los datos.
- ❖ Realizar pruebas estadísticas de funcionamiento (Ya que el conteo se realiza por peso, es necesario verificar la precisión obtenida).

4. JUSTIFICACIÓN

Un mejor manejo en el despliegue de los datos necesarios en las operaciones de inventario que tiene el operario de un enfriador industrial, utilizando las facilidades de la visualización LCD, facilitarían en gran medida los tiempos y la eficiencia en los trabajos relacionados con estas áreas .De la misma manera el diseño y montaje de sistemas de control y manejo de sensores permitirían al estudiante demostrar sus conocimientos en tecnología electrónica y ofrecer a la UNAD un producto final que será una base para trabajos futuros por otros estudiantes de la Universidad.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.

Diagrama de Bloques.

Este proyecto se basa en tomar el peso de productos cuantificables, mediante un sensor de fuerza que cuenta con un circuito alterno, esto es controlado por un placa Arduino Mega, la cual lleva un microcontrolador ATmega 328 que es el circuito central del proyecto, que va conectado a su complemento , una pantalla LCD.

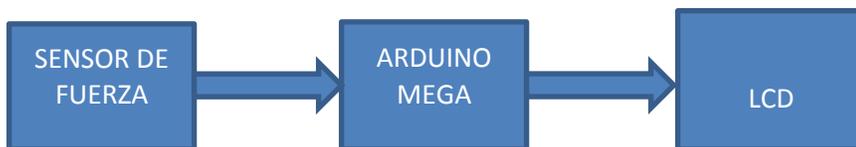


Figura 1. Diagrama de bloques.

Fuente: El autor

5.1.1 Sensor de fuerza flexiforce

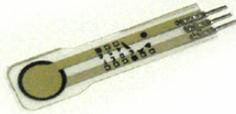


Figura 2. Sensor de fuerza flexiforce.

Fuente: <http://www.sigmaelectronica.net>

El modelo de sensor que pondré a prueba aquí es el A201-25, que tiene un rango de sensibilidad de 0 a 11 kgf (0 a 25 lbf). La longitud de los conductores de este sensor (integrados también como circuito impreso flexible) es de 16 cm, incluyendo el círculo sensor y las patitas de conexión. El ancho en la zona de los conductores es de 10 mm y en la zona sensible es de 15 mm. El espesor es de 0,127 mm.

La zona de detección activa es un círculo colocado en un extremo del sensor que tiene 9,53 mm de diámetro.

El sensor está sostenido entre dos capas de película de poliéster. En la parte interna de cada una de estas capas hay una película de material conductor (plata) y dentro éstas una capa de "tinta" así define el fabricante a este material sensible a la presión. Todo el conjunto está unido por medio de un adhesivo.

El sensor actúa como resistencia variable en un circuito eléctrico. Cuando el sensor no tiene fuerza aplicada, su resistencia es muy alta (superior a 5 mega ohm), y cuando se aplica una fuerza al sensor, la resistencia disminuye.

Es capaz de medir fuerza relativa o carga aplicada sobre su superficie. La resistencia presentada entre sus terminales, es inversamente proporcional a la fuerza censada.

Características

- Posee dos pines de conexión separados 2.54mm (0.1").
- Rango de Fuerza: 0-25lb (110N).
- Dimensiones: 25mm x 14mm (sin incluir los pines de conexión).

5.1.2 Arduino mega 2560



Figura 3. Arduino mega 2560.

Fuente: <http://www.arduino.cc>

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware puertos serie), un oscilador de cristal de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente hay que conectarlo a un ordenador con un cable USB o a un adaptador de CA o a una batería a CC para empezar. El Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

El Mega 2560 es una actualización del Arduino Mega , al cual sustituye.

El Mega2560 difiere de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En lugar de ello, cuenta con el ATmega16U2 (ATmega8U2 en las juntas de revisión 1 y revisión 2) programado como un convertidor de USB a serie.

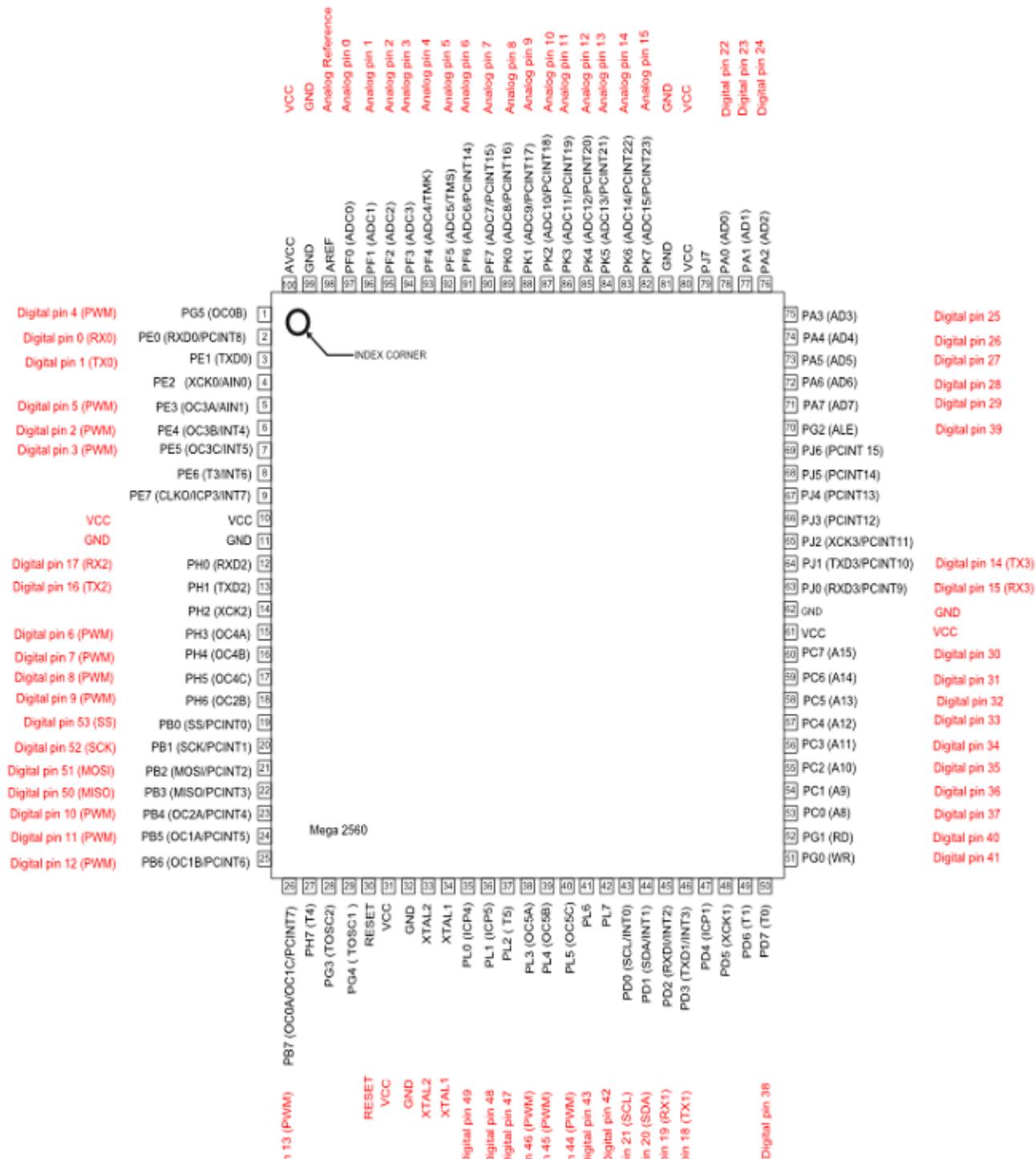
Revisión 2 de la junta Mega2560 tiene una resistencia tirando la línea 8U2 HWB a tierra, por lo que es más fácil de poner en modo DFU .

Revisión 3 de la Junta tiene las siguientes características nuevas:

- 1.0 pinout: SDA añadido y pines SCL que están cerca al pin AREF y otros dos nuevos pasadores colocados cerca del pin de RESET, la instrucción IOREF que permiten a los escudos para adaptarse a la tensión proporcionada por la junta directiva. En el futuro, escudos serán compatibles tanto con la placa que utilizan el AVR, que operan con 5V y con el Arduino Debido que operan con 3.3V. El segundo es un pin no está conectado, que se reserva para usos futuros.
- Circuito de RESET fuerte.
- ATmega 16U2 sustituir el 8U2.

A continuación se muestra la asignación de pines para el Atmega2560. El chip utilizado en Arduino 2560:

Figura 4. Diagrama de 2560 PIN Mega Arduino.



Fuente: <http://www.arduino.cc>

Tabla 1. Resumen.

Microcontroladores	Atmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Digital pines I / O	54 (de las cuales 15 proporcionan salida PWM)
Botones de entrada analógica	16
Corriente DC por E / S Pin	40 mA
Corriente DC de 3.3V Pin	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: <http://www.arduino.cc>

5.1.3 LCD 16x2.

La pantalla LCD viene sin conectores por defecto. Hay dos soluciones para este problema: soldar cables o soldar pines macho de 2,54mm. Se ha optado por la segunda opción por la comodidad que representa (menos cable y acoplan perfectamente con la protoboard). Procederemos a la soldadura de los mismos, siendo el resultado el siguiente:



Figura 5. Pines soldadas del LCD 16x2.

Fuente: El autor.

Primero que todo, la pantalla necesitará ser alimentada. Conectaremos dos cables, uno al pin de la placa Arduino Mega +5V y otro al GND para conectarlos a las filas "+" y "-" de la protoboard.

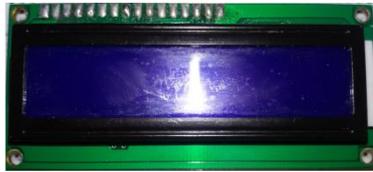


Figura 6. LCD 16x2.

Fuente: El autor.

Para probar la correcta conexión, encenderemos la placa Arduino Mega mediante el cable USB al ordenador y veremos que la pantalla LCD se ilumina.

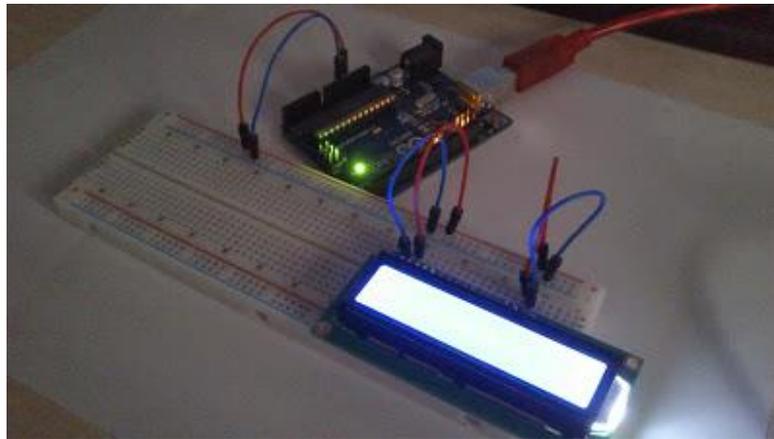


Figura 7. LCD conectada al arduino Mega y la protoboard.

Fuente: El autor.

La Pantalla LCD (Liquid Crystal Display) es un módulo de visualización electrónica y encuentra una amplia gama de aplicaciones. Una pantalla LCD de 16x2 módulo es muy básico y es muy utilizado en diversos dispositivos y circuitos. Estos

módulos se prefieren más de siete segmentos y otro segmento de múltiples LEDs. Las razones son: las pantallas LCD son económicas; fácilmente programables; no tienen limitación de visualización especiales y aun personajes personalizados (a diferencia de en siete segmentos), animaciones y demás.

Un LCD 16x2 significa que puede mostrar 16 caracteres por línea y hay 2 tales líneas. En este LCD cada personaje se muestra en la matriz de píxeles 5x7. Este LCD tiene dos registros, a saber, Comando y Datos.

El registro de comando almacena las instrucciones de comandos dados a la pantalla LCD. Un comando es una instrucción dada a LCD para hacer una tarea predefinida como inicializarlo, despejando su pantalla, ajustar la posición del cursor, el control de pantalla, etc. Las tiendas de registro de datos los datos que se muestran en la pantalla LCD. Los datos son el valor ASCII del carácter que se mostrará en la pantalla LCD.

Diagrama de pines:

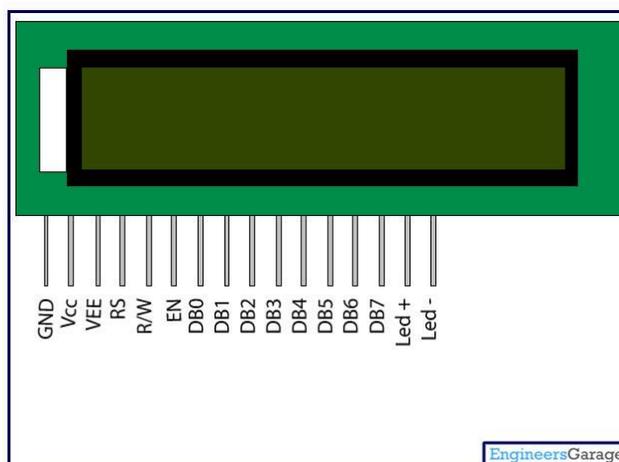


Figura 8. Diagrama de pines de un LCD 16x2.

Fuente: <http://www.engineersgarage.com>

Tabla 2. Descripción de pines:

Pin No	Función	Nombre
1	Tierra (0 V)	Suelo
2	Tensión de alimentación; 5V (4.7V - 5.3V)	V _{CC}
3	Contraste de ajuste; a través de un resistor variable	V _{EE}
4	Selecciona registro de comando cuando baja; y registro de datos cuando la alta	Regístrate Seleccionar
5	Menor a escribir en el registro; Mayor a leer desde el registro	Leer escribir
6	Envía datos a pines de datos cuando un mayor a menor pulso se da	Permitir
7	Pines de datos de 8 bits	DB0
8		DB1
9		DB2
10		DB3
11		DB4
12		DB5
13		DB6
14		DB7
15	Luz de fondo V _{CC} (5 V)	Led +
16	Luz de fondo de tierra (0 V)	Led-

Fuente: <http://www.engineersgarage.com>

5.1.4 El protoboard o breadbord

Es una especie de tablero con orificios, en la cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para armar circuitos. Como su nombre lo indica, esta tableta sirve para experimentar con circuitos electrónicos, con lo que se asegura el buen funcionamiento del mismo.

Estructura del protoboard: Básicamente un protoboard se divide en tres regiones:

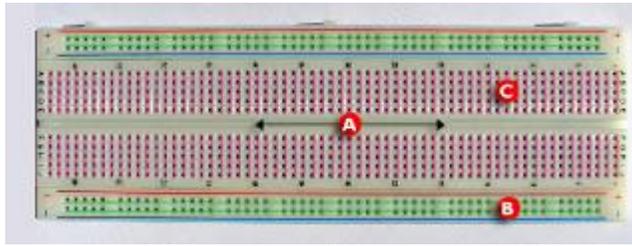


Figura 9. Protoboard.

Fuente: <http://www.circuitoselectronicos.org>

A) Canal central: Es la región localizada en el medio del protoboard, se utiliza para colocar los circuitos integrados.

B) Buses: Los buses se localizan en ambos extremos del protoboard, se representan por las líneas rojas (buses positivos o de voltaje) y azules (buses negativos o de tierra) y conducen de acuerdo a estas, no existe conexión física entre ellas. La fuente de poder generalmente se conecta aquí.

C) Pistas: Las pistas se localizan en la parte central del protoboard, se representan y conducen según las líneas rosas.

5.1.5 Resistor



Figura 10. Resistor.

Fuente: www.minikits.com.au

Se denomina resistor al componente electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito eléctrico. En el propio argot eléctrico y electrónico, son conocidos simplemente como resistencias.

Un resistor está formado por carbón y otros elementos resistivos para disminuir la corriente que pasa. Se opone al paso de la corriente. La corriente máxima y diferencia de potencial máxima en un resistor viene condicionada por la máxima potencia que pueda disipar su cuerpo. Esta potencia se puede identificar visualmente a partir del diámetro sin que sea necesaria otra indicación. Los valores más comunes son 0,25 W, 0,5 W y 1 W.

5.1.6 Cable de par trenzado

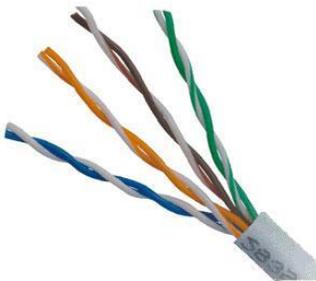


Figura 11. Cable de par trenzado.

Fuente: ekertec.com

El cable de par trenzado es un tipo de conexión usado en telecomunicaciones en el que dos conductores eléctricos aislados son entrelazados para anular las interferencias de fuentes externas y diafonía de los cables adyacentes. Fue inventado por Alexander Graham Bell.

El cable de par trenzado consiste en ocho hilos de cobre aislados entre sí, trenzados de dos en dos que se entrelazan de forma helicoidal, como una molécula de ADN. De esta forma el par trenzado constituye un circuito que puede transmitir datos.

Esto se hace porque dos alambres paralelos constituyen una antena simple. Cuando se trenzan los alambres, las ondas se cancelan, por lo que la radiación del cable es menos efectiva.¹

Así la forma trenzada permite reducir la interferencia eléctrica tanto exterior como de pares cercanos.

Un cable de par trenzado está formado por un grupo de pares trenzados, normalmente cuatro, recubiertos por un material aislante. Cada uno de estos pares se identifica mediante un color.

5.2 MARCO TECNOLÓGICO

5.2.1 Arduino.

Es una plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El Microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP). Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues son libres de adaptarse a la necesidad.

Arduino es diferente de otras plataformas en el mercado debido a las siguientes características:

- Es un ambiente multiplataforma; puede ser ejecutado en Windows, Macintosh y Linux.

- Está basado en el ambiente de programación Processing, un ambiente de desarrollo de fácil uso usado utilizado por artistas y diseñadores.
- Se programa a través de un cable USB, no de un puerto serial. Esta característica es útil, porque la mayoría de los computadores modernos no tienen puertos seriales.
- Es hardware y software de fuente abierta. Si se desea, se puede descargar el diagrama del circuito, comprarse todos los componentes y hacerse por uno mismo, sin pagar nada a los desarrolladores de Arduino.
- El hardware es económico. La placa USB cuesta alrededor de 20 euros (35 dólares) y reemplazar un chip quemado en la placa es fácil y no cuesta más de 5 euros o 4 dólares, así que se puede permitir cometer errores.
- Hay una comunidad activa de usuarios, así que hay muchas personas que pueden colaborar.

5.2.2 Proteus.

Es un software en el que se puede realizar circuitos impresos con la mayor calidad. Si se está trabajando en el desarrollo de algún producto electrónico, esta aplicación es de gran ayuda.

Junto a ella se diseña y simula PCB (Printed Circuit Board) con las mejores herramientas y en un entorno completamente funcional.

Proteus sigue los reglamentos industriales estrictamente, con lo que los trabajos que efectúes serán legítimos y seguros. A modo de ejemplo, el programa opera con distancias estandarizadas entre los puntos de circuitos integrados, y lo mismo se aplica a las dimensiones de los componentes y factores similares.

Por otra parte, este software está conformado por dos dispositivos principales: ISIS y ARES. El primero de ellos será el encargado de la generación de circuitos reales. Una ventaja que te ofrecerá esta herramienta es la de evaluar el

funcionamiento de tu trabajo en un PCB. De ese modo prevendrás errores y corregirás fallas.

En cuanto a ARES, su función consistirá en enrutar, situar y editar los diferentes componentes que hacen a la fabricación de placas PCB. En este sentido, convertirá tu diseño de modo que pueda ser aplicado en cada pieza de un circuito impreso. Además, dispondrás de un calificado espacio de simulación generado con la mejor tecnología. En concreto, contarás con los beneficios y potencial de VSM, a cargo de la modelación de sistemas virtuales.

Por su parte, Proteus pondrá a tu servicio una interfaz clara y funcional, provista de todas las funciones necesarias para la diagramación gráfica de circuitos. Entre otras posibilidades, tendrás ocasión de poner a prueba cada pieza que elabores, lo cual aumentará la calidad de tus desarrollos.

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1 Localización

El proyecto de diseño y construcción de un prototipo de un dispositivo electrónico capaz de controlar el inventario de refrigeradores se desarrollará para el programa de tecnología electrónica de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD sede Yopal en el Departamento de Casanare, lugar donde se identificó la problemática.

6.2 Tipo de proyecto

Este proyecto es de tipo tecnológico, productivo, empresarial y de proyección social. De cada uno tiene una parte más que todo del tecnológico.

6.3 Población

El proyecto de diseño y construcción de un prototipo de un dispositivo electrónico capaz de controlar el inventario de refrigeradores será llevado a cabo para el beneficio de los estudiantes y docentes de los programas de tecnología e ingeniería electrónica de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD sede Yopal.

6.4 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

El proyecto se ha dividido en cuatro etapas que permitirán su óptimo desarrollo:

6.4.1 Selección. En esta etapa se seleccionaran los elementos que se van a utilizar para el diseño y la construcción del prototipo electrónico propuesto.

Tabla 3. Selección.

ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADOS
- Identificar y seleccionar los componentes que se van a utilizar.	- Analizar y seleccionar los diferentes componentes que se pueden utilizar.	- Tener el listado de todos los componentes que se van a utilizar.

Fuente: El autor.

6.4.2 Diseño Electrónico. En esta etapa se realizara el diseño electrónico del prototipo propuesto con los componentes apropiados escogidos en la etapa anterior.

Tabla 4. Diseño electrónico.

ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADOS
- Diseño del circuito electrónico para el prototipo propuesto.	- Diseño del circuito electrónico. - Simulación del circuito diseñado en (Proteus). - Montaje del circuito diseñado en Protoboard.	- Construcción en PCB del circuito diseñado.

Fuente: El autor.

6.4.3 Diseño de interfaz gráfica. En esta sección se tomaran los datos obtenidos del circuito electrónico y se procesaran para permitir la visualización en el LCD las señales generadas.

Tabla 5. Diseño de interfaz gráfica.

ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADOS
- Adquisición de datos. - Diseño de la interfaz gráfica.	- Evaluar el funcionamiento de la adquisición de datos por medio de Arduino. - Una vez seleccionado el equipo para adquisición de datos realizar pruebas en software.	- Seleccionar el equipo que mejor resultados presente. - Selección del software para la visualización y creación de la interfaz de usuario.

	- Organizar los parámetros con los cuales el usuario va a interactuar.	
--	--	--

Fuente: El autor.

6.4.4 Construcción y pruebas. En esta fase se acoplaran los componentes tanto electrónicos como de software, se realizaran pruebas de funcionamiento y se elaboraran los manuales y guías.

Tabla 6. Construcción y Pruebas.

ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> - Acoplamiento y construcción del prototipo diseñado. - Elaborar manual técnico, de usuario y guías de laboratorio para el uso del prototipo diseñado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elegir el material a utilizar en la estructura externa del prototipo. - Verificar el funcionamiento del circuito y la interfaz de usuario. - Corregir las fallas presentadas durante el funcionamiento. - Realizar pruebas con estudiantes y docentes del área de tecnología e ingeniería electrónica. - Diseño y construcción de manual técnico y de usuario. - Elaboración de guías de laboratorio para los Programas de tecnología e ingeniería Electrónica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción del Prototipo del dispositivo electrónico para contabilizar inventario de refrigeradores. - Entrega de manual técnico, manual de usuario, guías de laboratorio para tecnología e ingeniería Electrónica.

Fuente: El autor.

7. RESULTADOS.

Desarrollo del proyecto.

El sensor es de tipo resistivo, recordemos el comportamiento de una resistencia variable medida con un multímetro: tratamos de ajustar un valor, pero siempre cambia y no es estable. Así es el comportamiento de este sensor, incluso en el lugar donde se hace presión si se cambia da otros valores, así que hay que tener muy en cuenta este factor. Según la hoja de datos este es el comportamiento del sensor:

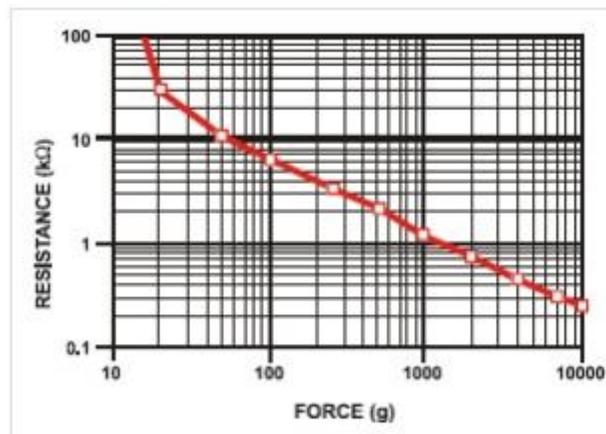


Figura 12. Comportamiento del sensor.

Fuente: <http://www.cortoc.com>

A una mayor fuerza ejercida sobre el sensor, menor será la resistencia. Además de eso, la hoja de datos nos proporciona varios circuitos, el que yo utilicé fue este:

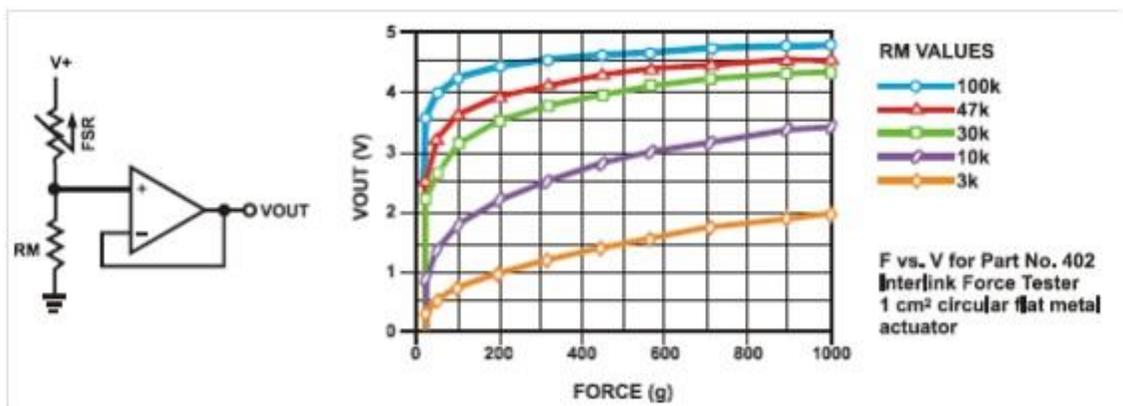


Figura 13. Circuito y gráfica del sensor.

Fuente: <http://www.cortoc.com>

Pruebas básicas.

Como se puede observar en la foto (figura 13), la prueba se realizó por medio de un multímetro. Probando escalas, se encontró que aún en la escala máxima de resistencia (20 Megaohms), el sensor, sin fuerza aplicada, indica un circuito abierto. El sistema, sin ninguna fuerza aplicada, indica resistencia infinita.

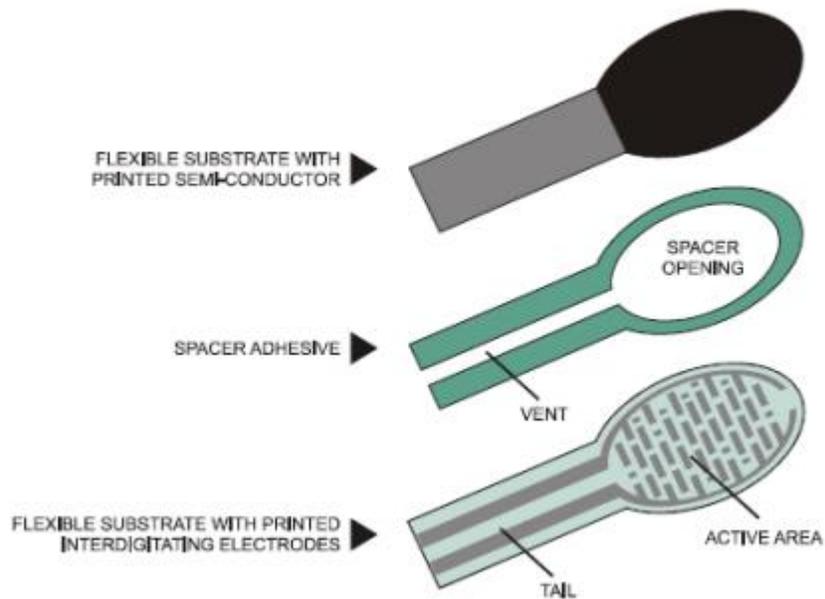


Figura 14. Área de operación del sensor.

Fuente: <http://www.datalights.com.ec>

El sensor de fuerza resistivo (FSR) es un dispositivo de película de polímero (PTF) que presenta una disminución de la resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada a la superficie activa. Su sensibilidad a la fuerza está optimizada para uso en el control por toque humano de dispositivos electrónicos. Las FSRs no son células

de carga o galgas extensiométricas aunque tengan propiedades similares. Las FSRs no son adecuadas para medidas de precisión.

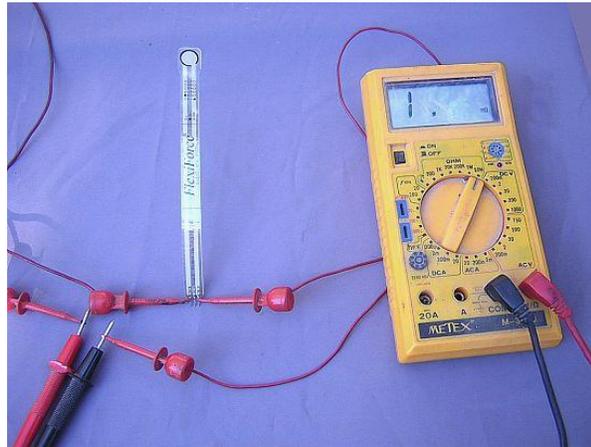


Figura 15. Sensor con multímetro.

Fuente: robots-argentina.com.ar

Para cualquier tipo de sensor analógico que transforma una variable física (presión, temperatura, distancia,...) a una tensión analógica se debe conocer cuál es su curva de respuesta. Si esta respuesta es lineal entre dos puntos dados (mínimo y máximo), solo se debe hacer la transformación con la función map (<http://arduino.cc/en/Reference/Map>).

La forma más fácil de medir un sensor resistivo es conectar un extremo al poder y el otro a una resistencia pull-down a tierra. A continuación, el punto entre la resistencia pulldown fijo y el resistor variable de FSR está conectado a la entrada analógica de un microcontrolador tal como un Arduino (muestra).

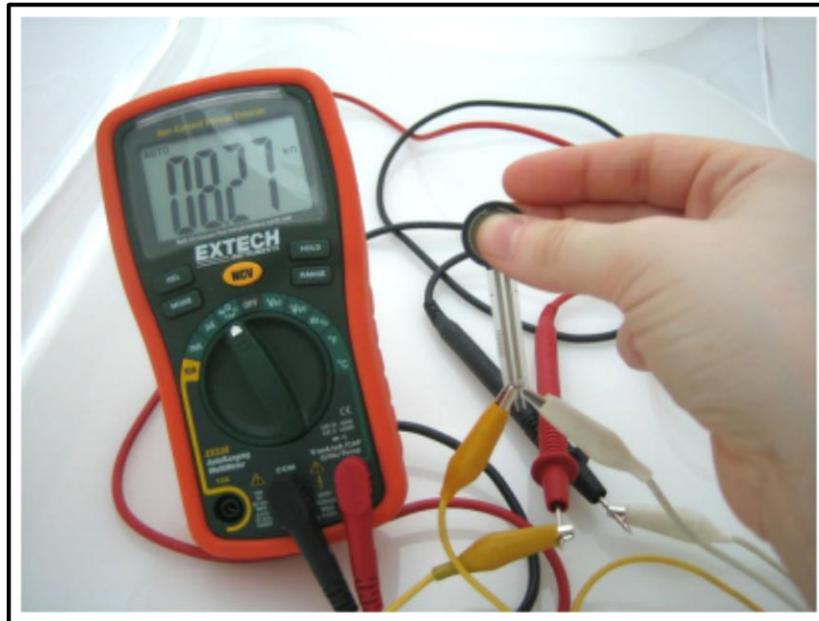


Figura 16. Sensor alimentado con 5V.

Fuente: robots-argentina.com.ar

Para este ejemplo se muestra con una alimentación de 5V pero hay que tener en cuenta que se puede usar esto con un suministro de 3.3v con la misma facilidad. En esta configuración la lectura de voltaje analógico oscila entre 0 V (masa) a aproximadamente 5V (o aproximadamente la misma que la tensión de alimentación de potencia). La forma en que esto funciona es que a medida que la resistencia de la FSR disminuye, la resistencia total del FSR y la resistencia pulldown disminuye desde aproximadamente 100kohm a 10Kohm. Eso significa que la corriente que fluye a través de ambas resistencias aumentos que a su vez hace que la tensión a través de la resistencia de 10K fija para aumentar.

Tabla 7. Voltajes, corrientes y resistencias para algunos pesajes.

Force (lb)	Force (N)	FSR Resistance	(FSR + R) ohm	Current thru FSR+R	Voltage across R
None	None	Infinite	Infinite!	0 mA	0V
0.04 lb	0.2 N	30 Kohm	40 Kohm	0.13 mA	1.3 V
0.22 lb	1 N	6 Kohm	16 Kohm	0.31 mA	3.1 V
2.2 lb	10 N	1 Kohm	11 Kohm	0.45 mA	4.5 V

22 lb	100 N	250 ohm	10.25 Kohm	0.49 mA	4.9 V
-------	-------	---------	------------	---------	-------

Fuente: El autor.

Esta tabla indica el voltaje analógico aproximado basado en el sensor de fuerza resistencia y voltaje alimentación de 5V y 10K resistencia desplegable. Hay que tener en cuenta que nuestro método tiene la resistividad algo lineal, pero no proporciona tensión lineal. Eso es porque la ecuación tensión es:

$$V_o = V_{cc} (R / (R + FSR))$$

Es decir, la tensión es proporcional a la inversa de la resistencia FSR.

El sensor FlexiForce oscila entre su resistencia casi infinita cuando no se toca, a menos de 25K ohmios cuando se acerque a su límite de peso. Cuando apenas tocarlo, tiene una resistencia de alrededor de 10M ohms. Podemos medir ese cambio mediante una de las entradas analógicas de la Arduino. Pero para hacer eso, necesitamos una resistencia fija (no cambiante) que podemos utilizar para esa comparación (Estamos utilizando un 10M (1.000.000 ohmios) Resistencia).

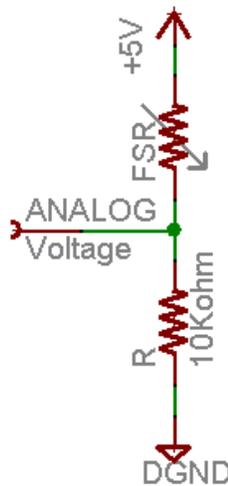


Figura 17. Resistencia de 10k con 5V.
Fuente: el autor.

Esto se llama un divisor de tensión y divide el 5v entre el FlexiForce y la resistencia. El análogo de leer en el arduino es básicamente un medidor de voltaje. En 5V (la máxima) leerá 1023, y al 0v leerá 0. Así que podemos medir la cantidad de tensión está en el FlexiForce utilizando el analogRead y tendremos nuestra lectura vigor. Demostración simple de Uso Conecte el FSR como iguales que el ejemplo anterior, pero esta vez vamos a añadir un LED al pin 11.

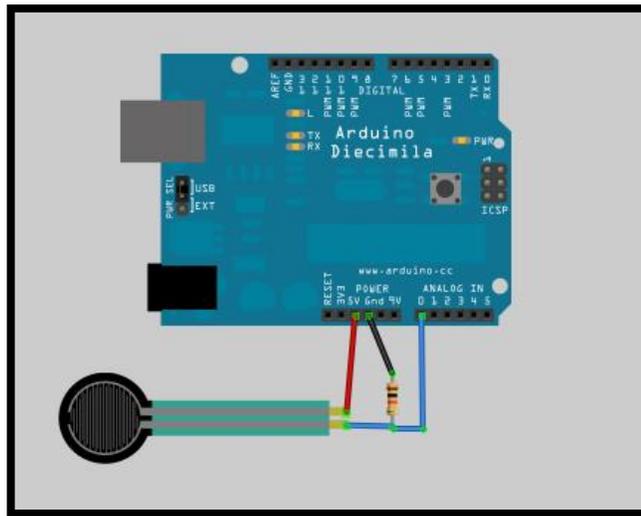


Figura 18. Sensor, arduino y resistencia.

Fuente: El autor.

Este bosquejo tomará la lectura de voltaje analógico y usar eso para determinar qué tan brillante el LED rojo. El más difícil de prensa sobre el FSR, la más brillante del LED será! Recuerde que el LED tiene que estar conectado a un pin PWM para que esto funcione, yo uso el pin 11 en este ejemplo.

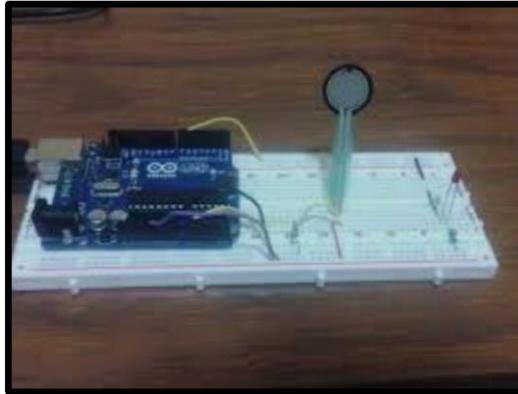


Figura 19. Montaje físico del sensor con el arduino en la protoboard.

Fuente: encrypted-tbn1.gstatic.com

El importe de dicha 5V que cada parte obtiene es proporcional a su resistencia. Así que si el la FlexiForce y la resistencia tienen la misma resistencia, la 5V se divide uniformemente (2,5V) para cada parte. (Lectura analógica de 512)

Pero si se pulsa el FlexiForce en bastante difícil, leyendo solamente 25K de la resistencia, la resistencia de 1M va a absorber 40 veces más de ese 5V. Así que el FSR solamente conseguiría .12V. (Lectura analógica de 25)

Y si algo es apenas presionando en él, el FlexiForce puede ser 5M de la resistencia, por lo que el FlexiForce absorberá 5 veces más de ese 5V como la resistencia de 1M. Así que la FlexiForce obtendría 4.2V. (Lectura analógica de 852)

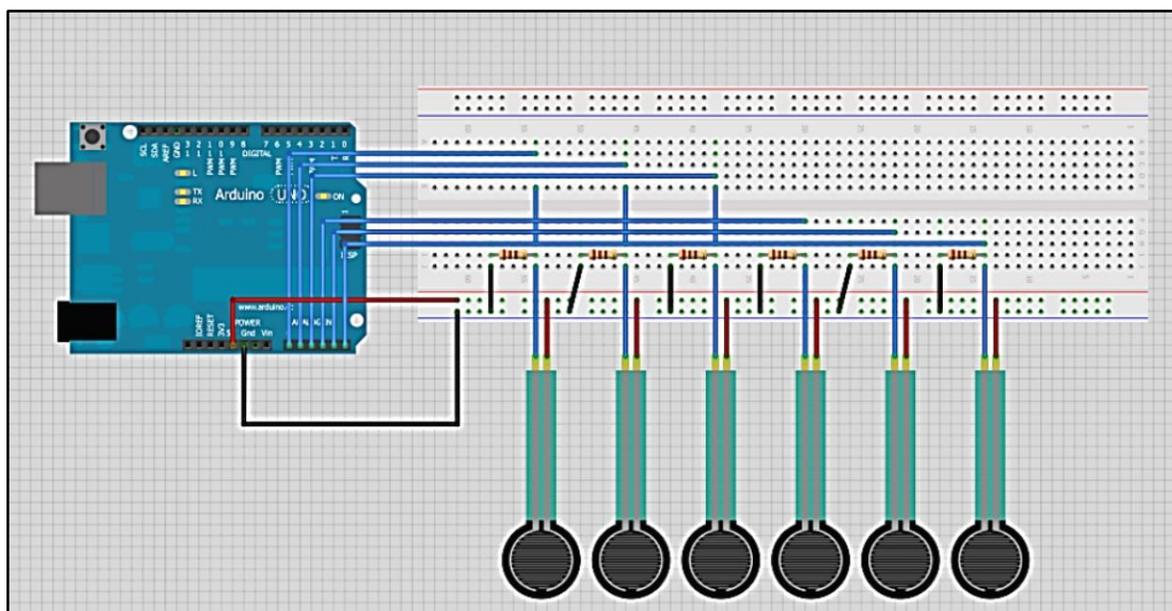


Figura 20. Simulación en proteus.
Fuente: El autor.

En esta figura se puede observar una simulación en proteus con seis sensores conectados a una protoboard la cual tiene sus respectivas conexiones que van al arduino.

```

/* FSR testing sketch.

Connect one end of FSR to 5V, the other end to Analog 0.
Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground
Connect LED from pin 11 through a resistor to ground

For more information see www.ladyada.net/learn/sensors/fsr.html */

int fsrAnalogPin = 0; // FSR is connected to analog 0
int LEDpin = 11;      // connect Red LED to pin 11 (PWM pin)
int fsrReading;      // the analog reading from the FSR resistor divider
int LEDbrightness;

void setup(void) {
  Serial.begin(9600); // We'll send debugging information via the Serial monitor
  pinMode(LEDpin, OUTPUT);
}

void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrAnalogPin);
  Serial.print("Analog reading = ");
  Serial.println(fsrReading);

  // we'll need to change the range from the analog reading (0-1023) down to the range
  // used by analogWrite (0-255) with map!
  LEDbrightness = map(fsrReading, 0, 1023, 0, 255);
  // LED gets brighter the harder you press
  analogWrite(LEDpin, LEDbrightness);

  delay(100);
}

```

Figura 21. Código del programa.

Fuente: El autor.

En el presente proyecto se realizaron varias pruebas, las pruebas el algoritmo diseñado no hace ningún cálculo, sólo se imprime lo que se interpreta como la cantidad de presión de manera cualitativa.

```
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 124 - Light touch
Analog reading = 303 - Light squeeze
Analog reading = 655 - Medium squeeze
Analog reading = 736 - Medium squeeze
Analog reading = 901 - Big squeeze
Analog reading = 968 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
```

23

Figura 22. Resultados del código del programa.

Fuente: El autor.

En esta figura se puede apreciar los resultados del código del programa en donde empezando no se hace ninguna presión sobre los sensores y el resultado que nos da es 0 y el programa nos dice no pressure que no hay presión y luego al presionar estos sensores nos da diferentes valores que se van obteniendo a medida que cada vez se va haciendo mucho más presión sobre dichos sensores y el programa nos muestra que hay una presión baja, luego nos muestra que hay una presión media y por ultimo nos muestra que hay una presión grande, estos datos son obtenidos en inglés como se puede apreciar en la figura 22.

```

/* FSR simple testing sketch.

Connect one end of FSR to power, the other end to Analog 0.
Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground

For more information see www.ladyada.net/learn/sensors/fsr.html */

int fsrPin = 0;    // the FSR and 10K pulldown are connected to a0
int fsrReading;   // the analog reading from the FSR resistor divider

void setup(void) {
  // We'll send debugging information via the Serial monitor
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrPin);

  Serial.print("Analog reading = ");
  Serial.print(fsrReading);    // the raw analog reading

  // We'll have a few thresholds, qualitatively determined
  if (fsrReading < 10) {
    Serial.println(" - No pressure");
  } else if (fsrReading < 200) {
    Serial.println(" - Light touch");
  } else if (fsrReading < 500) {
    Serial.println(" - Light squeeze");
  } else if (fsrReading < 800) {
    Serial.println(" - Medium squeeze");
  } else {
    Serial.println(" - Big squeeze");
  }
  delay(1000);
}

```

Figura 23. Código del programa completo.
Fuente: El autor.

En esta fase del proyecto ya se propone un algoritmo más avanzado y preciso la fuerza de Newton aproximada medida por el FSR. Esto puede ser muy útil para calibrar lo que el FSR experimentará.

```
Voltage reading in mV = 3548
FSR resistance in ohms = 4092
Conductance in microMhos: 244
Force in Newtons: 3
-----
Analog reading = 841
Voltage reading in mV = 4110
FSR resistance in ohms = 2165
Conductance in microMhos: 461
Force in Newtons: 5
-----
Analog reading = 936
Voltage reading in mV = 4574
FSR resistance in ohms = 931
Conductance in microMhos: 1074
Force in Newtons: 2
-----
Analog reading = 967
Voltage reading in mV = 4726
FSR resistance in ohms = 579
Conductance in microMhos: 1727
Force in Newtons: 24
-----
Analog reading = 976
Voltage reading in mV = 4770
FSR resistance in ohms = 482
Conductance in microMhos: 2074
Force in Newtons: 35
-----
Analog reading = 0
Voltage reading in mV = 0
No pressure
-----
```

Figura 24. Resultados del programa.

Fuente: El autor.

Es posible calcular la resistencia real de la lectura pero, por desgracia, las variaciones en el IDE y placa Arduino harán que sea inconsistente. Sea consciente de que si cambia versiones IDE de sistemas operativos , o usa un arduino 3.3V en vez de 5V, o cambia de un Arduino 16MHz a uno 8Mhz (como un lilypad) puede

haber diferencias debido a cuánto tiempo se tarda en leer el valor de un alfiler. Por lo general, eso no es un gran problema pero puede hacer su proyecto difícil de depurar si usted no está contando con él!

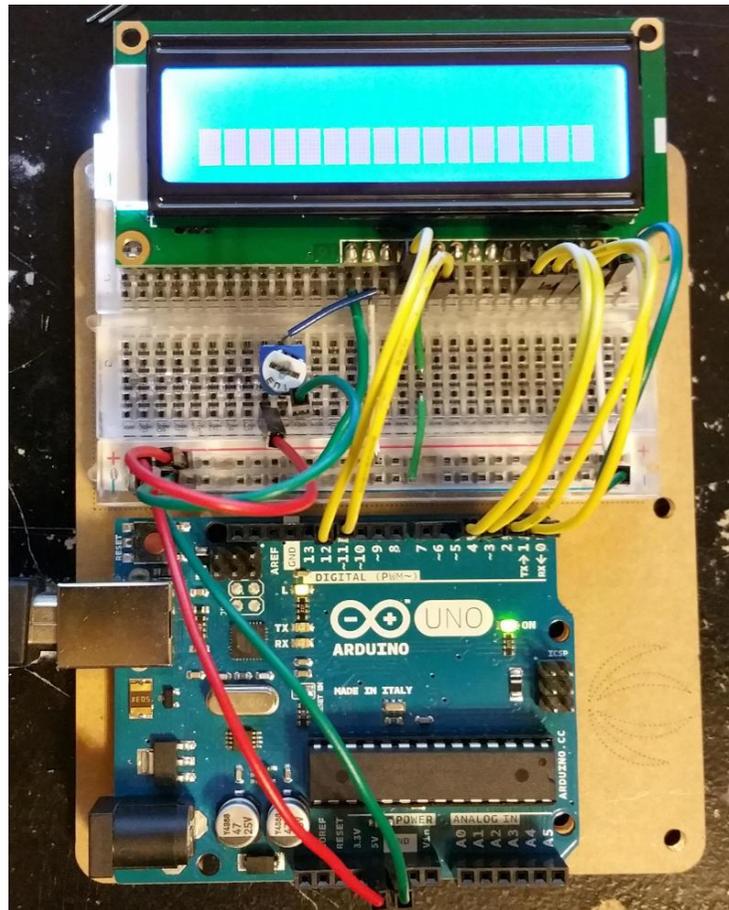


Figura 25. Configuración de la LCD.

Fuente: i.stack.imgur.com

En esta figura se puede observar la LCD conectada a la protoboard y con las respectivas conexiones necesarias del arduino a la protoboard y la LCD configurada.

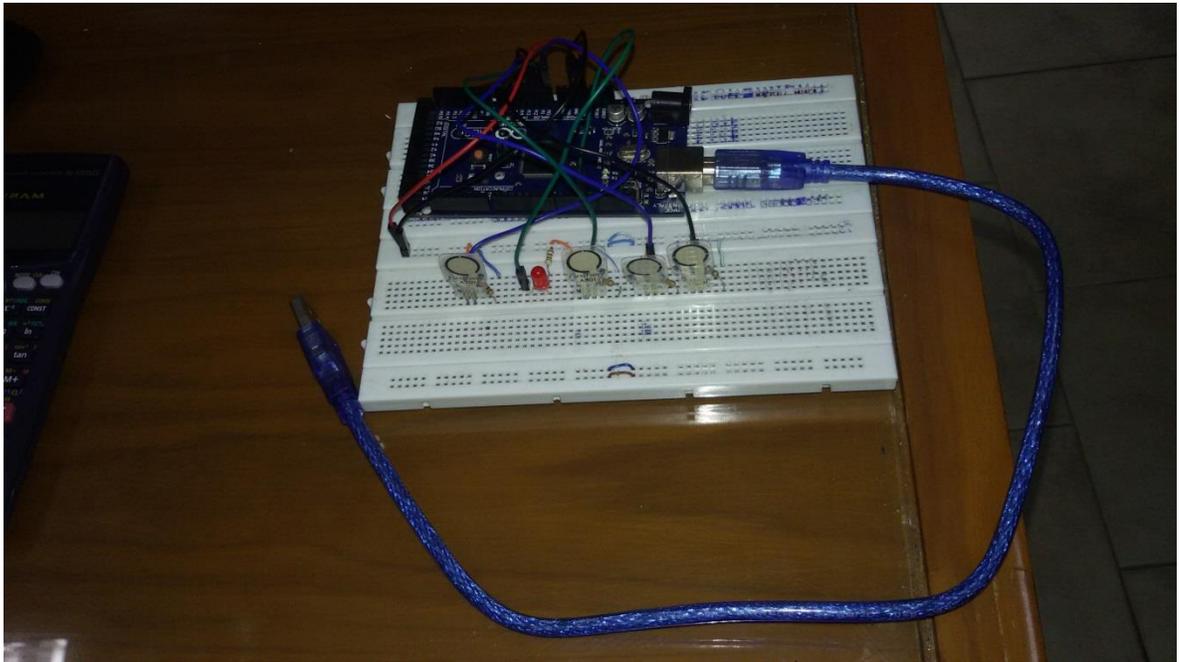


Figura 26. Arduino con los sensores montado en la protoboard.
Fuente: El autor.

En esta figura se puede observar la construcción del prototipo diseñado en donde se puede ver que tenemos los 4 sensores a utilizar conectados al arduino y a la protoboard, adicional a esto hay un led rojo el cual a medida que va aumentando la presión sobre los sensores él va alumbrando cada vez mas intenso.



Figura 27. Angulo opuesto del montaje en la protoboard.
Fuente: El autor.

En esta figura se puede observar la construcción del prototipo diseñado desde otro ángulo de vista con todos los materiales mencionados en la figura anterior.

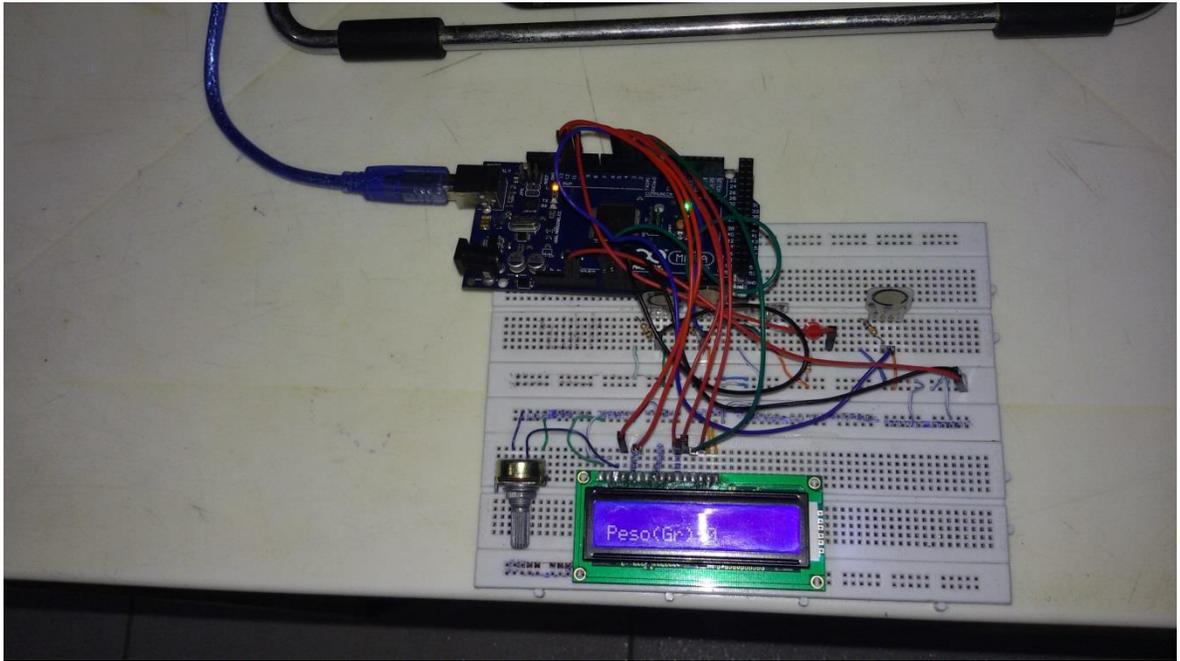


Figura 28. Montaje del prototipo con la LCD.
Fuente: El autor.

En esta figura se puede observar la construcción final del prototipo en donde podemos ver que adicional a la figura anterior el prototipo ya cuenta con el LCD y un potenciómetro que nos permite aumentar o disminuir la luminosidad del LCD, se puede observar también que el arduino está conectado al computador portátil por medio de un cable tipo conexión USB permitiendo poner en funcionamiento al prototipo con el voltaje proporcionado por el computador portátil.

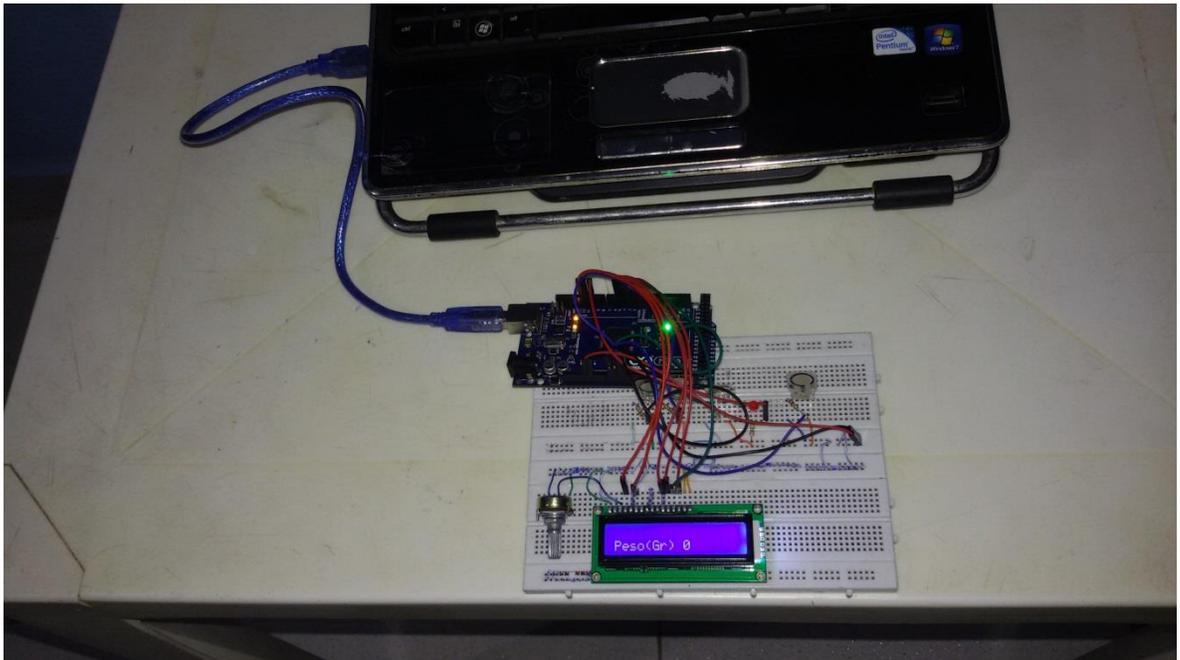


Figura 29. Panorama más amplio del prototipo.
Fuente: El Autor.

En esta figura se obtiene una panorámica más amplia del proyecto en donde se puede observar mucho mejor el prototipo diseñado conectado al computador portátil, el computador alimenta al arduino y prototipo diseñado con un voltaje de 5 V poniéndolo en adecuado funcionamiento.



Figura 30. Prototipo instalado en la parrilla a utilizar.
Fuente: El autor.

En esta figura podemos ver los 4 sensores instalados en cada esquina de la parrilla sobre unos soportes de madera los cuales fueron diseñados para poder ejercer presión solamente en la parte circular indicada de los sensores, estos sensores como podemos ver van conectados a la protoboard en donde se utilizará el prototipo diseñado.



Figura 31. El prototipo instalado desde otro punto de vista.
Fuente: El Autor

En esta figura podemos observar el panorama desde otro ángulo de vista del prototipo instalado en la parrilla listo para empezar a funcionar; en cada sensor instalado en cada una de las esquinas de la parrilla es donde se ejercerá la presión y esa presión nos la dará en voltaje los cuales se sumaran y se obtendrá el resultado que queremos visualizándolo en gramos en el LCD.



Figura 32. Prototipo diseñado en funcionamiento.
Fuente: El Autor.

Como se puede observar, en esta figura tenemos el prototipo en funcionamiento instalado en la parrilla, en dicha parrilla se han depositado diferentes productos comerciales de bebida como lo son: las gaseosas, maltas y jugos; como la parrilla esta sobre 4 soportes, la presión ejercida por los productos depositados en la parrilla se concentra en cada sensor que ha sido instalado en las esquinas de la parrilla y se obtiene en voltios que luego serán sumados y convertidos en gramos por el arduino y se podrá visualizar el resultado en el LCD.



Figura 33. El prototipo en funcionamiento desde otro ángulo.
Fuente: El autor.

En esta figura se observa el prototipo en funcionamiento desde un ángulo de vista distinto, en donde toda la presión que se ejerce se concentra en cada uno de los cuatro sensores instalados en cada esquina de la parrilla. Los sensores instalados soportan cada uno un peso máximo de 25 libras, perfectos para este proyecto que sumados nos da la capacidad de soportar 50kg un peso bastante alto.



Figura 34. Evidencia de un buen funcionamiento del prototipo diseñado.
Fuente: El autor.

Al igual que en las anteriores figuras, se evidencia un buen funcionamiento del prototipo, este funcionamiento consiste en que los 4 sensores están presionados y apoyados con la base de cada esquina de la parrilla, al ejercerles presión cada sensor envía esa cantidad de presión en voltios hacia el arduino e internamente el arduino con la programación realizada anteriormente suma los 4 voltajes obtenidos y me permite visualizar el resultado en la LCD, ese resultado lo muestra en gramos el cual sería el peso de los productos puestos a medición y así sabríamos cuantos productos hay en la parrilla, sabiendo con antelación cuanto es el promedio de peso de un producto o bebida en botella, depositado sobre la parrilla y así no habrá la necesidad de contarlos manualmente y nos ahorrara tiempo en hacer este conteo .

8. RECURSOS

Tabla 8. Presupuesto General Total del Proyecto.

RUBRO	DESCRIPCION	VALOR EN MILES DE \$
1. Equipo Humano	Estudiante (autor) Asesor del proyecto(20h) Coordinador del semillero (20h)	Esto no se hace cuenta en el presupuesto final *\$800.000
2. Equipos y Software	Programador para PIC (PIC KIT2) de microchip que permite hacer simulación in-circuit Ref. *DV164120	\$200.000
Materiales y suministros	Sensor de fuerza, rango de 0 – 25 lbs o similar; Flexiforce A301 Ref. *A301-25LBS (4)	\$ 280.000
	Arduino mega 2560	\$150.000
	LCD 16x2	\$40.000
	Cable de par trenzado (5mt)	\$6.000
	Papelería	\$50.000
	Protoboard (2)	\$24.000
	Resistencias (30)	\$3.000
	Carcaza (1)	\$80.000
	Placa para programar el microcontrolador (1)	\$100.000
4. Bibliografía	Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC (Incluye CD)	\$100.000
5. Socialización de Resultados a la Comunidad Unadista	Redacción de un artículo para la revista "Investigación Formativa Cuaderno de Investigación ZAO"	\$0
TOTAL		\$1.033.000

Fuente: El autor.

9. CRONOGRAMA

Tabla 9. Cronograma.

Actividad	m e S e s																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Selección	■	■	■	■														
Diseño electrónico					■	■	■	■										
Diseño de interfaz grafica									■	■	■	■	■					
Construcción y pruebas														■	■	■	■	■
Documentación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: El autor.

En el cronograma de actividades se aprecia el desarrollo cronológico de 5 actividades, distribuida en 18 meses de trabajo.

10. CONCLUSIONES

- ❖ Se pudo seleccionar los sensores adecuadamente teniendo en cuenta las limitaciones del diseño, y el ambiente al que iban a estar sometidos.
- ❖ Se logró la adecuada programación del Arduino y del LCD.
- ❖ Se realizaron las pruebas estadísticas necesarias para lograr un óptimo funcionamiento del prototipo.
- ❖ La realización de este proyecto sirve como base y guía para el desarrollo de otros proyectos que realicen estudiantes interesados en este mismo tema.
- ❖ Se obtiene un producto final de excelente calidad.

11. RECOMENDACIONES

Dar el adecuado uso al prototipo del dispositivo electrónico diseñado en este proyecto.

El uso del dispositivo diseñado es muy fácil y sencillo, así que no es necesario realizar un manual de usuario.

12. BIBLIOGRAFIA

TRUJILLO, S (2004). Diseño E implementación de una balanza electrónica basada en Microcontrolador PIC 16LF877.

CALVILLO, C (2005) Bascula Electrónica. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería– CUCEI – División de Electrónica y Computación. Diseño con Electrónica Integrada.

MERCADO, C (2006). Báscula electrónica controlada con PIC16f873.Universidad Autónoma de Zacatecas.

NATIONAL SEMICONDUCTORS. Nacional Analog and Interface Products Databook. Edición 2001. National Semiconductors. Estados Unidos. 2001.

Sitio web de sigmaelectronica.net (20 de Mayo de 2015). Recuperado del 02 de Marzo de 2015, del sitio web de sigmaelectronica.net: <http://www.sigmaelectronica.net/a000067-p-1706.html>

Sitio web de sensores-de-medida.es (20 de mayo de 2015). Recuperado del 02 de Marzo de 2015, del sitio web de sensores-de-medida.es: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/ACONDICIONADORES-DE-SE%C3%91AL_158/

Sitio web de robots-argentina.com.ar (20 de mayo de 2015). Recuperado del 08 de Marzo de 2015, del sitio web de robots-argentina.com.ar: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_FlexiForce.htm

Sitio web de datalights.com.ec (20 de mayo de 2015). Recuperado del 08 de

Marzo de 2015, del sitio web de datalights.com.ec:
http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf