

**Diseño de un Prototipo de Laboratorio y un Prototipo Funcional para
Demostrar las Múltiples Funcionalidades de los Diodos LED como Detectores
de Luz**

Camilo Andrés Lagos D'Alemán

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Especialización en Instrumentación Electrónica

Bogotá

Agosto de 2015

Dedicatoria

A Dios, a mis padres y a mi pareja, quienes con sus consejos y enseñanzas continúan forjando mi camino de superación profesional.

Agradecimientos

Al Ingeniero Fernando Rivera por su asesoría y constante apoyo durante la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros de estudio y a todos aquellos que de una u otra manera aportaron un granito de arena para llevar a feliz término el presente trabajo.

Tabla de Contenido

Dedicatoria	II
Agradecimientos.....	III
Tabla de Contenido	IV
Lista de Figuras	VII
Lista de Tablas	IX
Introducción	10
Resumen	11
Abstract	11
Objetivos	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos	12
Antecedentes	13
Justificación.....	14
Problema o Necesidad	15
Solución al Problema	16
Alcance del Proyecto.....	17
Alcance Organizacional.....	17
Alcance Procedimental	17
Alcance Comercial	18

Alcance en Tiempo	18
Riesgos	19
Marco Teórico	20
Operación del LED como Sensor	22
Estado del Arte	24
Ingeniería de Requerimientos de la Solución.....	27
Requerimientos de Funcionamiento	27
Requerimientos de Montaje Físico	27
Requerimientos de Ambiente de Operación.....	28
Desarrollo del Producto.....	29
Ingeniería Básica	29
Prototipo de Laboratorio	29
Prototipo Funcional.....	34
Ingeniería de Detalle.....	36
Desarrollo de Cada Bloque	36
Cálculo, Dimensionamiento de los Componentes de la Solución	43
Diagramas y Planos Detallados de la Solución.....	47
Implementación de la Solución	48
Procura/Suministro	48
Adecuaciones.....	48

Montaje.....	48
Prueba del Equipo.....	49
Puesta en Servicio.....	49
Factibilidad Técnica del Proyecto	50
Recomendaciones para el Desarrollo del Proyecto	50
Facilidades Técnicas del Proyecto.....	50
Dificultades Técnicas del Proyecto	50
Planificación del Proyecto.....	51
Árbol de Tareas (WBS)	51
Cronograma del Proyecto	53
Costos del Proyecto	55
Costos Fijos.....	55
Costos Variables Directos.....	56
Costos Variables Indirectos	58
Costo Total del Proyecto.....	59
Negociación del Proyecto	60
Conclusiones	61
Lista de Referencias	62
Apéndice.....	63

Lista de Figuras

Figura 1. Por qué el LED detecta la Luz	21
Figura 2. Operación del LED como Sensor.....	22
Figura 3. Comunicación Bidireccional con LEDs.....	24
Figura 4. Prototipo de Sensor Táctil con Matriz de LED	25
Figura 5. Pantalla de LED Táctil	25
Figura 6. Pantalla Interactiva con Matrices de LED	25
Figura 7. Instrumento Musical con LED	26
Figura 8. Diagrama de Bloques del Prototipo de Laboratorio.....	29
Figura 9. Inducción Directa	30
Figura 10. Inducción por Reflexión.....	31
Figura 11. Inducción por Reflexión sobre un único LED	32
Figura 12. Diagrama de Bloques del Prototipo Funcional.	34
Figura 13. Circuito del Microcontrolador.....	36
Figura 14. Circuito del Sensor de Temperatura.....	37
Figura 15. Circuito del Acoplador de Señal	38
Figura 16. Control de Conexiones del LED Sensor	38
Figura 17. Control del LED de Excitación	39
Figura 18. Circuito de Control del Motor.....	39
Figura 19. Circuito del Codificador de Cuadratura	40
Figura 20. Circuito de Interfaces USB y RS485	41
Figura 21. Circuito de Fuente de Poder.....	42
Figura 22. Circuito del Conversor DC-DC.....	42

Figura 23. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta Principal	64
Figura 24. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Sensor	65
Figura 25. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Emisor	66

Lista de Tablas

Tabla 1. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta Principal	43
Tabla 2. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Sensor	45
Tabla 3. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Emisor	45
Tabla 4. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Varios	46
Tabla 5. Distribuidores de Componentes	48
Tabla 6. Árbol de Tareas (WBS) - Prototipo de Laboratorio	51
Tabla 7. Costos Fijos	55
Tabla 8. Costos Variables Directos	56
Tabla 9. Total de Costos Variables Directos	56
Tabla 10. Costo del Proyecto.....	57
Tabla 11. Gastos Administrativos	58
Tabla 12. Gastos Generales	58
Tabla 13. Gastos Financieros	58
Tabla 14. Total de Costos Variables Indirectos.....	58
Tabla 15. Costo Total del Proyecto	59
Tabla 16. Pólizas	59

Introducción

El presente trabajo de grado se desarrolló con el fin de aplicar algunos de los conocimientos adquiridos durante la especialización en instrumentación electrónica y para cumplir con los requisitos que exige la universidad para la obtención del grado.

Resumen

En este documento se presenta el prototipo que se desarrollará para analizar el funcionamiento de los LED como detectores de luz, y así, determinar que comportamiento tienen de acuerdo a la luz que incide sobre estos. Para dicho experimento se diseñará un circuito microcontrolado que permitirá adquirir los datos de respuesta de los diversos tipos de LED a los estímulos luminosos. Esta información será enviada al computador, donde se identificarán las respuestas de dichos dispositivos a las diversas interacciones propuestas.

Palabras Clave: Diodo Emisor de Luz, Sensor Táctil, Pantalla Táctil, Comunicaciones con LED, Detección de Luz.

Abstract

This paper shows the prototype developed which will analyze the performance of the LED as light detectors, and thus, determines its behavior according to the light incident on them. For this experiment will design a microcontrolled circuit that acquire data answer from sort LED types to light stimulus. This Information will send to computer, where it identifies the answers of these devices to the several proposals interactions.

Keywords: Light Emitting Diode, Touch Sensor, Single-Touch Screen, Multi-Touch Screen, LED Communication, Light Detect.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una matriz de LEDs, con el fin de emular una pantalla de visualización táctil, haciendo uso de las propiedades detectoras de los diodos LED.

Objetivos Específicos

- Analizar el funcionamiento de los diodos emisores de luz LED como detectores de luz ambiente o luz reflejada del propio dispositivo, con el fin de determinar de qué modo funcionan y que comportamiento tienen de acuerdo a la luz que incide sobre ellos.
- Diseñar un prototipo de laboratorio que permita caracterizar las respuestas de diversos tipos de LEDs a la incidencia de luz.
- Diseñar un prototipo funcional que saque provecho de las propiedades detectoras de los diodos LED.

Antecedentes

Los diodos emisores de luz (LEDs) ofrecen una larga vida útil, bajo costo, eficiencia, brillo, y una amplia gama de colores. Debido a estas propiedades, son ampliamente utilizados para pantallas en dispositivos electrónicos. Es un hecho poco conocido que un LED se puede utilizar no sólo para generar luz, sino también para detectarla.

Desde el punto de vista de la física de estado sólido, un diodo es simplemente una unión PN, y por esto, un diodo rectificador, diodo emisor de luz y un fotodiodo son básicamente la misma cosa. Esta propiedad de los LEDs se ha destacado en algunos artículos científicos, en los que se han utilizado para crear dispositivos de comunicación bidireccional (Dietz, Yerazunis, & Leigh, 2003) , como sensores táctiles (Hudson, 2004), entre otros.

Justificación

En el sector de la electrónica de consumo es cada vez más necesaria la utilización de dispositivos que faciliten el diseño y la producción en masa. Para ello, es necesario que dichos elementos sean cada vez más pequeños y/o funcionales.

En razón de lo expuesto, se diseñará un panel de visualización con LEDs, que además de visualizar información, se le agregarán las funciones de detección de objetos cercanos, sensor de contacto, sensor de gestos y detección de niveles de iluminación.

Problema o Necesidad

Con el desarrollo de este proyecto se busca adoptar un nuevo concepto en torno a la funcionalidad de los dispositivos LED, ya que con el paso del tiempo se ha descubierto que estos sirven no solo para emitir luz, sino también, para detectarla, y por ende, ha surgido o surgirán algunas necesidades, como por ejemplo:

- Lograr que un solo dispositivo sea capaz de emitir y detectar niveles de iluminación.
- Crear una pantalla de LEDs que no necesite de una superficie táctil, y que por el contrario, sea ella misma la encargada de detectar objetos cercanos o algún contacto directo.
- Reducción de costos al no utilizar otros dispositivos como fotoceldas o fotodiodos para la detección de iluminación en dispositivos que poseen pantallas o indicadores en base a diodos LED.

Solución al Problema

Implementar un circuito análogo-digital que permita sacar provecho de todas las ventajas funcionales de una o más matrices LED. Adicionalmente, estas variables serán monitoreadas y controladas desde una interfaz HMI (**H**uman-**M**achine **I**nterface) con el fin de corroborar, analizar y caracterizar la respuesta de dicho dispositivo a las interacciones ya consideradas.

Para lograr lo anterior, primero se debe diseñar un prototipo de laboratorio, que como ya se mencionó, permitirá analizar el funcionamiento de los LED como detectores de luz. Después de hecho dicho análisis, se diseñará e implementará un circuito que permita observar el desempeño de una matriz de LED táctil dentro de diversos ambientes de iluminación.

Alcance del Proyecto

Alcance Organizacional

Para desarrollar el prototipo de laboratorio es necesario disponer de personal profesional altamente capacitado y con experiencia para llevar a cabo dicho proyecto. Se requiere de la siguiente estructura organizacional:

- Director de proyecto.
- Ingeniero de proyectos.
- Especialista de Instrumentación.
- Personal operativo:
 - Profesional de programación de microcontroladores.
 - Profesional de desarrollo de software.
 - 2 técnicos de montaje (1 mecatrónico, 1 de instrumentación).
 - Profesional certificado en adecuación de laboratorios de electrónica.
 - Profesional encargado de compras y suministros.
 - Profesional encargado de contabilidad.

Alcance Procedimental

Teniendo en cuenta que se busca que el prototipo funcional tenga un excelente desempeño, no será desarrollado completamente sino hasta después de haber obtenido y analizado los resultados del prototipo de laboratorio. Por lo anterior, en el presente documento se desarrollará el prototipo funcional solamente en la etapa de ingeniería básica, ya que su diseño en la etapa de ingeniería de detalle depende en gran parte de los resultados que se obtengan con el prototipo de laboratorio.

Alcance Comercial

Inicialmente, el propósito de este proyecto no incluye un prototipo comercial, ya que se deben ejecutar pruebas a los prototipos, además hay que tener en cuenta las tecnologías emergentes en cuanto a la fabricación de LEDs y la posibilidad de que estos se puedan seguir usando como detectores de luz.

Alcance en Tiempo

El presente proyecto se diseñó para ser ejecutado en un tiempo aproximado de dos meses, pero teniendo en cuenta que puede existir algún tipo de retraso, como por ejemplo, problemas con la puesta en funcionamiento del prototipo, el suministro de componentes, entre otros, se estima que el tiempo máximo de ejecución del proyecto será de 3 meses.

Riesgos

- Retrasos por falta de equipos, materiales y suministros a ser utilizados en el proyecto.
- Problemas con la instrumentación utilizada en el momento de ejecutar el experimento.
- Renuncia de personal profesional involucrado en el diseño, desarrollo y ejecución del proyecto, causando inconvenientes en la entrega de éste.

Para realizar la mitigación y control de los riesgos causados por diferentes situaciones, se tienen en cuenta las siguientes medidas de aseguramiento para que el proyecto se lleve a cabo en el tiempo estipulado:

- Contratación de personal capacitado y con la experiencia necesaria para la ejecución del proyecto.
- Revisión detallada de las especificaciones técnicas de los diversos componentes y equipos ofrecidos por los proveedores.
- Planeación correcta de tiempos de entrega de componentes requeridos, revisar cantidades y que técnicamente cumplan con las especificaciones.

Marco Teórico

Un semiconductor puede ser dopado o mezclado con dos tipos de impurezas que resultan en un material que conduce la electricidad de dos modos diferentes. Uno de ellos es, con un exceso de electrones que se llama de tipo N y el otro con una ausencia de electrones que se llama de tipo P. Esto es debido a que la ausencia de electrones puede comportarse, en lo que a la conducción de la electricidad se refiere, a un exceso de cargas positivas. Estas cargas positivas se llaman huecos, en el reconocimiento de lo que son, la ausencia de un electrón. Así, la electricidad puede ser conducida por el flujo de huecos en el material de tipo P o de electrones en el de tipo N.

Así, cuando los materiales tipo P y N se unen para formar una juntura, algunos de los huecos en el material de tipo P se mueven dentro del material de tipo N, en el que se combinan y se anulan entre sí. Del mismo modo, algunos electrones en la juntura se mueven dentro del material tipo P y se anulan entre sí.

Lo anterior da como resultado que alrededor de la juntura de los materiales se forme un área que no tiene ni electrones ni huecos, y por lo tanto no conducirá la electricidad en absoluto. Esto se conoce como la región intrínseca o de tipo I. Esto sella el camino para la migración de más huecos y electrones, y hace que dicha región se estabilice.

Para conseguir que la electricidad fluya, se tiene que aplicar una tensión externa que agregue más electrones en el lado N y más huecos en el lado P. Esta acumula un potencial que es lo suficientemente grande como para atravesar esta capa intrínseca. Sin embargo, si se aplica una tensión menor a través de ella, sólo hay que agregar una carga adicional o electrostática que genere potencia a través de la capa I.

Ahora bien, si un fotón (pequeño paquete de energía electromagnética o partícula de luz) se adentra en ésta capa I, puede interactuar con uno de los átomos y ceder su energía a los electrones del átomo. Esto no sólo libera un electrón para la conducción, también deja un hueco detrás de donde estaba el electrón, y así, se genera un par electrón-hueco.

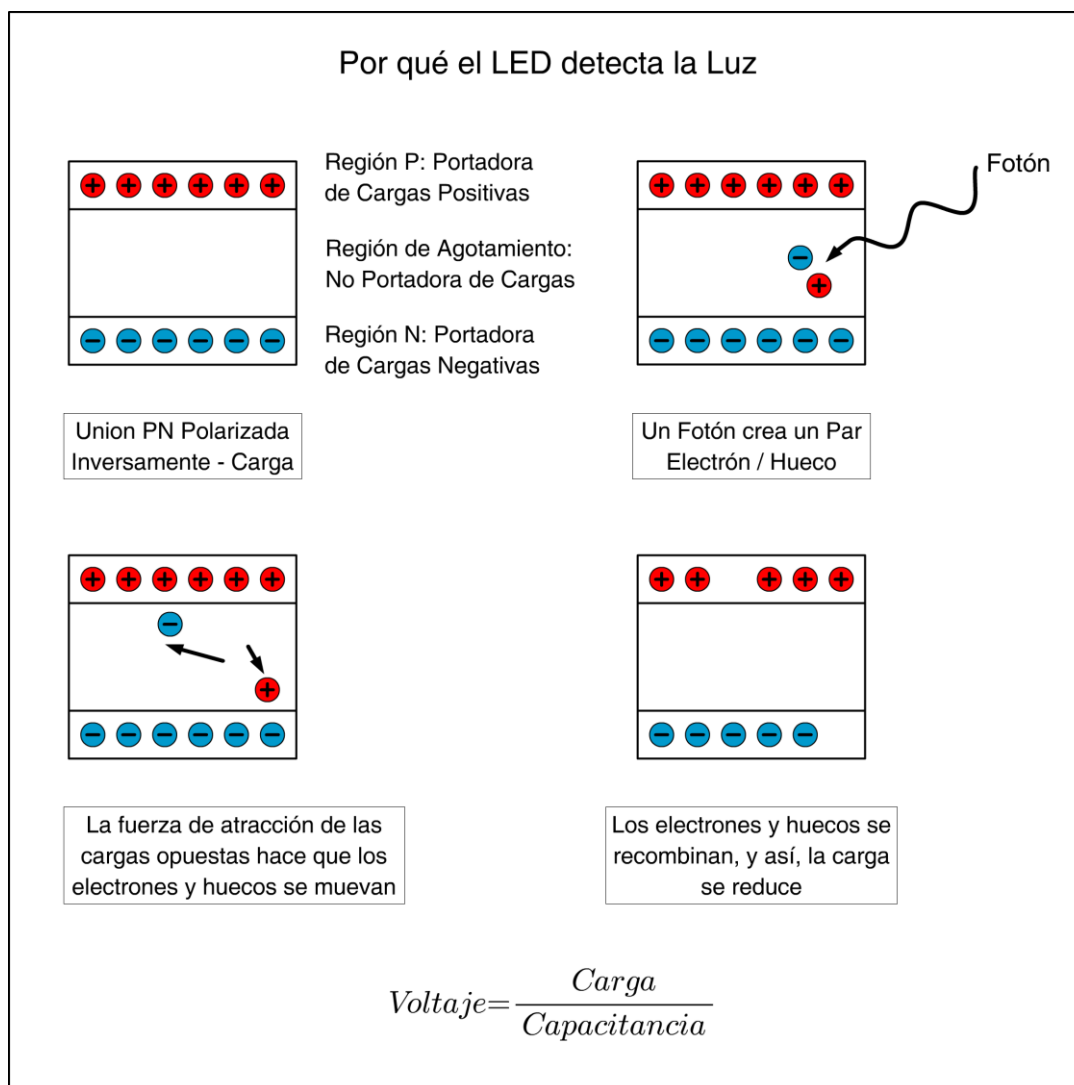


Figura 1. Por qué el LED detecta la Luz

Éstos se recombinan normalmente, pero el campo eléctrico a través de la región los jala, causando además, el flujo de una pequeña corriente. Entre más fotones (luz) es más la corriente

que se suma, y de esta manera, la corriente es proporcional a la luz que incide sobre el diodo, y a ello se le denomina corriente fotoeléctrica. (Cook, 2009)

Operación del LED como Sensor

La corriente fotoeléctrica es muy pequeña en un LED porque la geometría de la unión no se ha diseñado para maximizar el fenómeno como en un fotodiodo.

En teoría, existen varias formas de detectar la cantidad de luz que incide sobre un LED.

Una de ellas es, encontrar la forma de integrar o sumar todas las pequeñas corrientes fotoeléctricas en un tiempo determinado. Para ello se puede sacar provecho de las propiedades capacitivas del LED, que como bien se sabe, posee regiones conductivas que están separadas por un aislante, y que conceptualmente, se puede ver como un capacitor. Así que, se carga el LED y luego se mide el tiempo que toma la corriente fotoeléctrica en descargarse, tal como se muestra en la Figura 2.

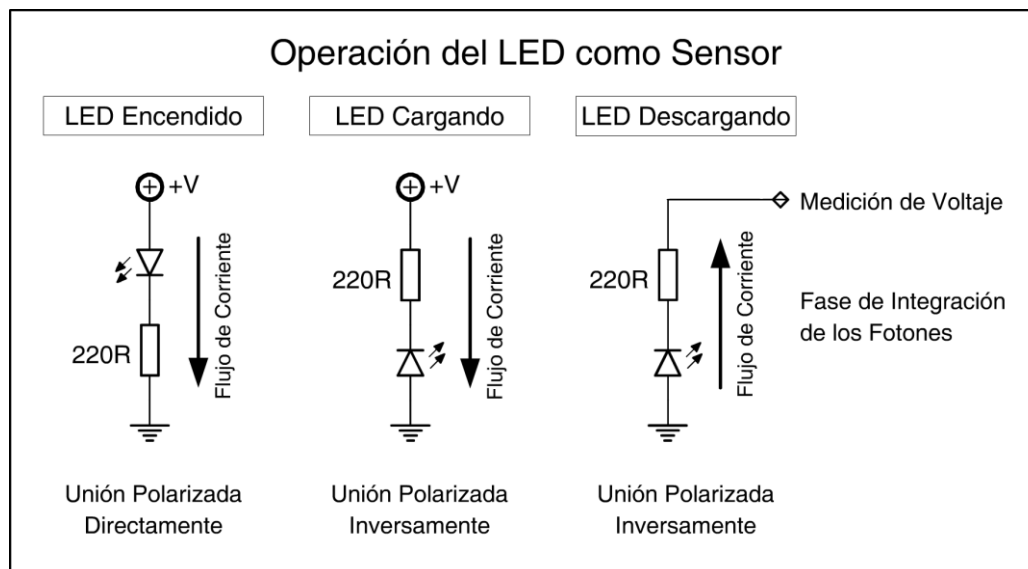


Figura 2. Operación del LED como Sensor

Lo anterior implica la ejecución de algunas maniobras electrónicas con los extremos del LED, pero se logra fácilmente usando un dispositivo programable como un microcontrolador o una FPGA.

La otra forma es, en vez de esperar a que el LED se descargue lo suficiente como para dar un cero lógico, que puede ser mucho tiempo, basta con medir el voltaje inmediatamente después de la carga.

El LED no es un dispositivo ideal, es decir, la descarga no es causada solamente por los fotones, otras causas incluyen el ruido térmico y las fugas. Así que, dado el tiempo suficiente la carga decaerá en ausencia de luz.

Finalmente, como los LED no están diseñados como sensores de luz, la capacidad de detección de luz varía de LED a LED. Hay algunos que son mejores que otros, y su capacidad de detectar la luz varía dependiendo del fabricante, del tipo de encapsulado y del color que éste emite. Los LED rojos son los mejores, ya que tienden a ser sensibles a todos los colores de la luz, y los LED azules son sensibles solamente a la luz azul. Los peores son los LED blancos, algunos tipos sólo responden a la luz UV.

El tamaño de la juntura es importante porque entre más pequeño sea el LED, será más sensible y su capacitancia será más pequeña, por ende, se necesitarán menos fotones para cargarlo.

Por último, un encapsulado transparente deja entrar más luz que uno difuso. Si se quiere utilizar un LED como sensor de contacto, probablemente serán mejores los de montaje superficial. (Cook, 2009)

Estado del Arte

A pesar de que el fenómeno de detección de luz con LED se ha venido documentando desde 1973 (Mims, 1973), es poco el avance que se ha hecho para sacar provecho de dicha cualidad, aparentemente, por el desconocimiento por parte de científicos y fabricantes de que estos dispositivos pueden llegar a tener muchas más aplicaciones además de generar luz.

Por otra parte, los LED requieren cada vez menos corriente y emiten una luz cada vez más brillante, es decir, son mucho más eficientes a la hora de convertir la energía eléctrica en lumínica, y, al mismo tiempo, vienen siendo mucho más sensibles a los estímulos luminosos.

Dicho lo anterior, los pocos avances logrados, han sido meramente gracias a investigadores independientes, que han documentado y publicado sus experimentos en diversas páginas de internet. En estos experimentos se puede ver cómo los LED han sido usados para crear gran variedad de dispositivos, como los que se muestran a continuación:

- Dispositivos de Comunicaciones.

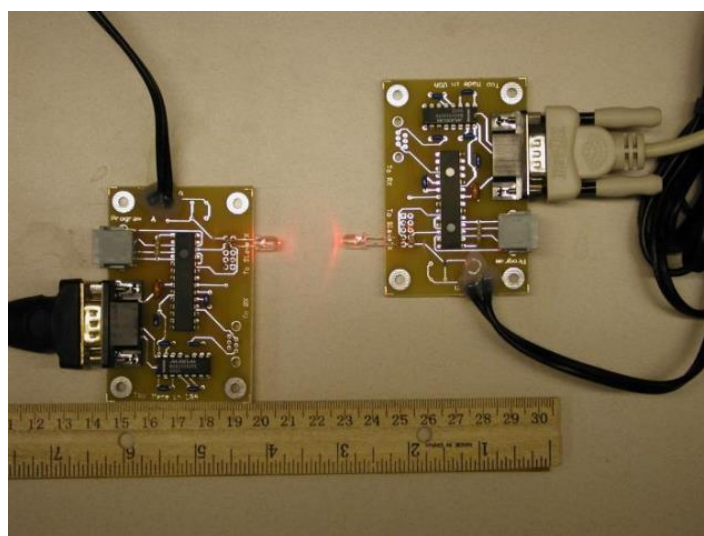


Figura 3. Comunicación Bidireccional con LEDs

- Sensores Táctiles.

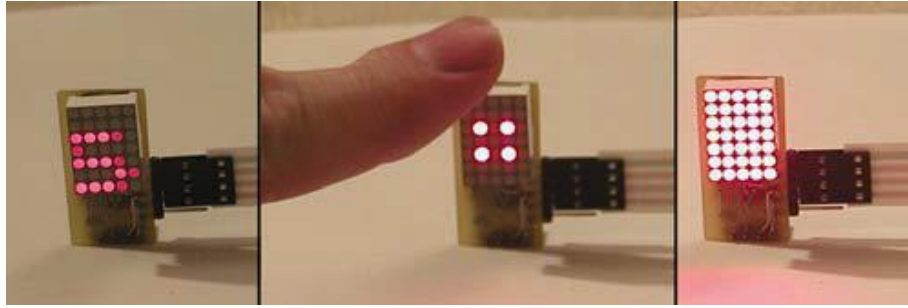


Figura 4. Prototipo de Sensor Táctil con Matriz de LED

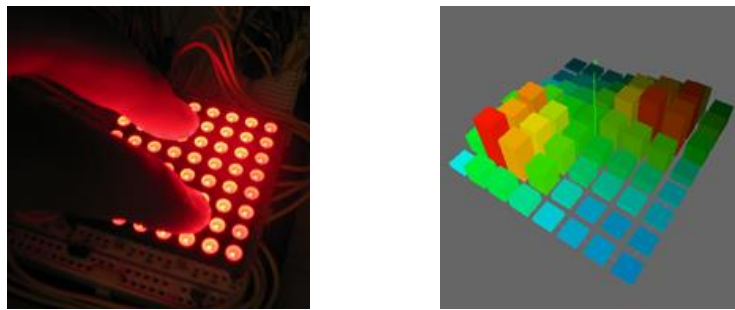


Figura 5. Pantalla de LED Táctil

- Pantallas Interactivas

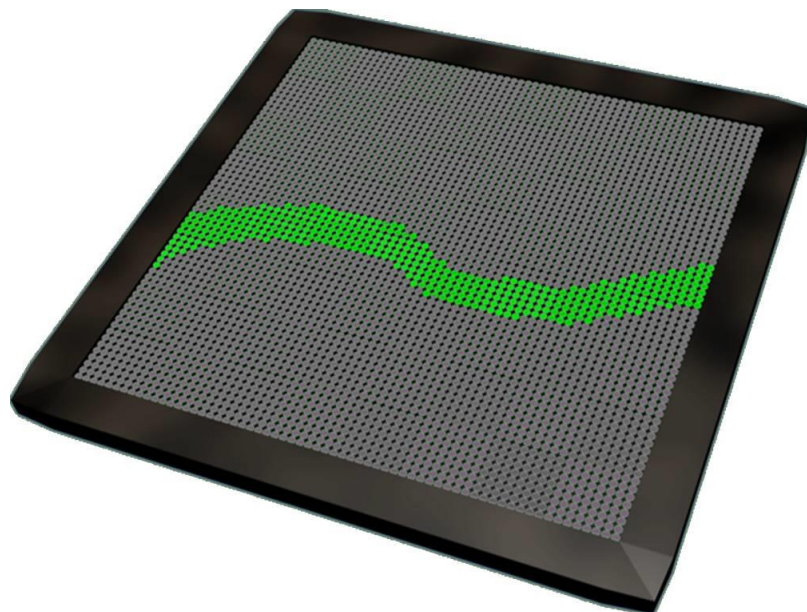


Figura 6. Pantalla Interactiva con Matrices de LED

- Instrumentos Musicales



Figura 7. Instrumento Musical con LED

Ingeniería de Requerimientos de la Solución

Requerimientos de Funcionamiento

Las variables físicas que deben transmitirse hacia la HMI son:

- Voltaje
- Temperatura

Se debe tener en cuenta que el voltaje medido estará en función de la intensidad luminosa del LED de excitación y de la distancia a la que éste se encuentre del LED sensor. Dicho voltaje, eventualmente, también se puede ver afectado por la temperatura.

Requerimientos de Montaje Físico

Dado que se está hablando de un experimento que tiene LEDs como elementos sensores y actuadores, es necesario que el sistema mecánico del prototipo sea lo suficientemente preciso, por las siguientes razones:

- La necesidad de determinar a través del hardware y/o software, la distancia a la que se encuentran los zócalos, con un error de $\pm 1\text{mm}$, debido a que la HMI tomará como referencia dicha magnitud.
- El tamaño de los LEDs hace que cualquier desviación de más de 1mm genere errores en la medición lo suficientemente considerables como para afectar el objeto del experimento.

En razón a lo anterior, es que se ha decidido utilizar un carro de impresora con su respectivo codificador lineal como mecanismo para variar la distancia entre los zócalos. Este dispositivo se modificará de tal forma que la velocidad de variación de distancia sea lo suficientemente baja como para no afectar las mediciones, y por ende, evitar así una variable más de falla.

Requerimientos de Ambiente de Operación

Se requiere que el prototipo de laboratorio y el prototipo funcional estén dentro de un ambiente de iluminación y temperatura controladas, de tal forma que las mediciones tomadas no se vean afectadas, o se puedan modificar controladamente.

Desarrollo del Producto

Ingeniería Básica

Prototipo de Laboratorio

Diagrama de Bloques de la Solución

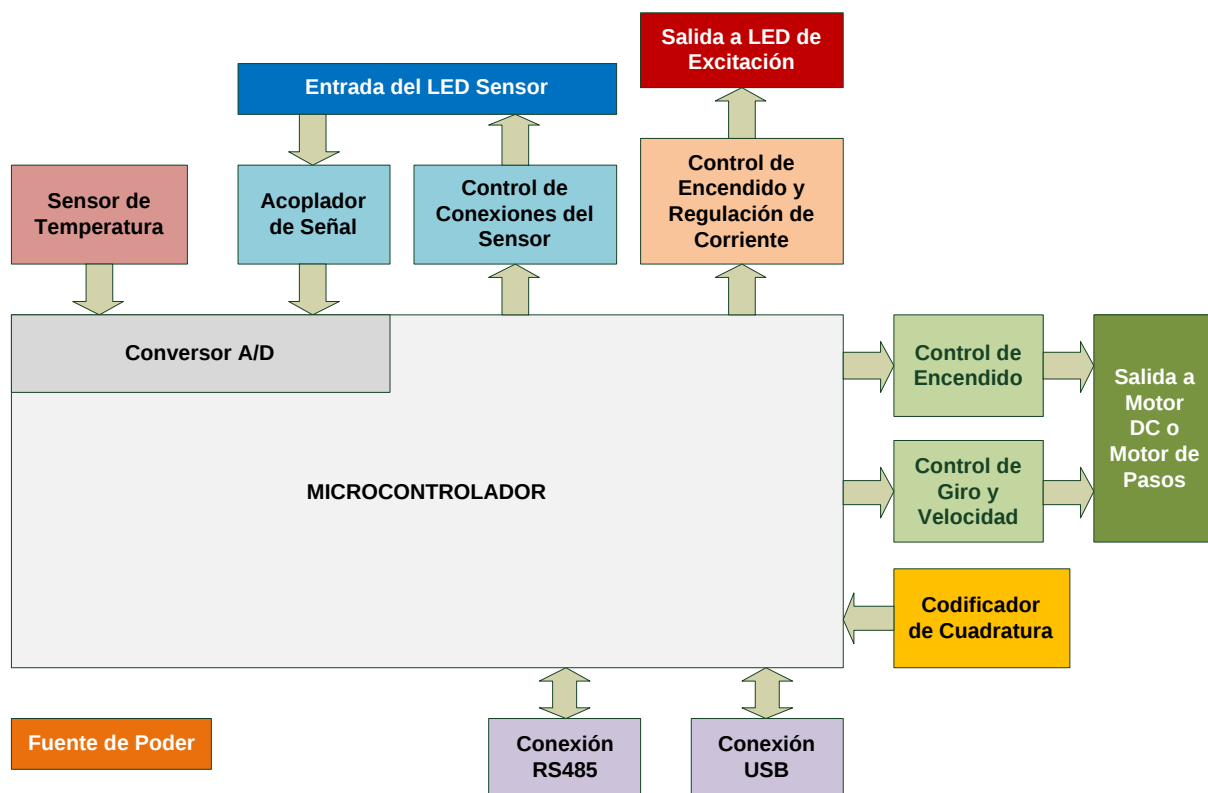


Figura 8. Diagrama de Bloques del Prototipo de Laboratorio

Narrativa del Proceso

El prototipo de laboratorio es un sistema mecatrónico que permitirá variar la distancia entre dos zócalos, a los que se conectarán diversos módulos LED, los cuales, actuarán como LED de excitación y LED sensor, respectivamente.

Se ejecutarán básicamente tres tipos de experimentos, los cuales se han nombrado de la siguiente manera:

1. Inducción Directa
2. Inducción por Reflexión
3. Inducción por Reflexión sobre un único LED

A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los experimentos mencionados:

Inducción Directa

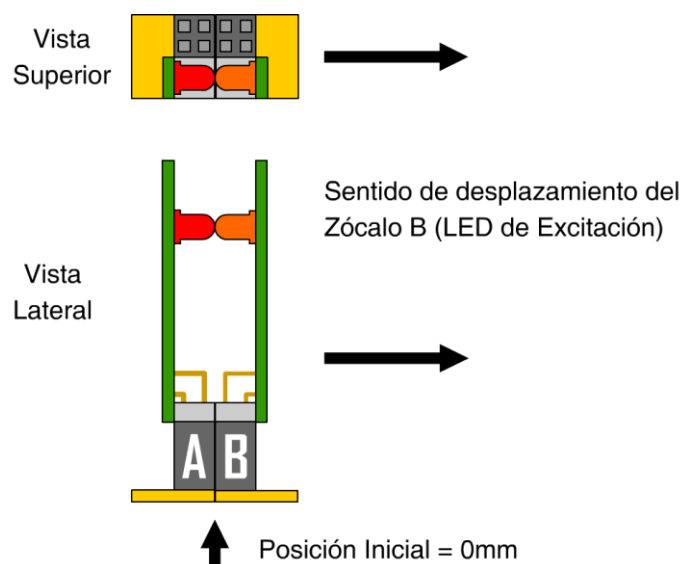


Figura 9. Inducción Directa

En el experimento de inducción directa actuarán dos LED, cada uno conectado en un zócalo opuesto, y por ende, enfrentados entre sí. Uno de los LED estará configurado como LED de excitación, y el otro configurado como LED sensor. Este último actuará, como su descripción lo indica, como sensor, y se encargará de enviar hacia el conversor análogo-digital del microcontrolador, un voltaje proporcional a la luz emitida por el LED de excitación.

Inicialmente, los dos LED estarán enfrentados entre sí a una distancia de 0mm. En este momento el microcontrolador encenderá el LED de excitación e iniciará el muestreo del voltaje inducido por el LED sensor. A medida que se realiza el muestreo, se enviarán los datos obtenidos hacia el PC, y se variará la distancia entre los LEDs, de tal forma que se pueda visualizar sobre la interfaz HMI la respuesta del LED sensor al estímulo luminoso de acuerdo a la distancia que tiene con respecto al LED de excitación.

Los datos obtenidos serán almacenados para su posterior análisis y con el fin de comparar las múltiples respuestas de los diversos tipos de LED, teniendo en cuenta todas las combinaciones posibles.

Inducción por Reflexión.

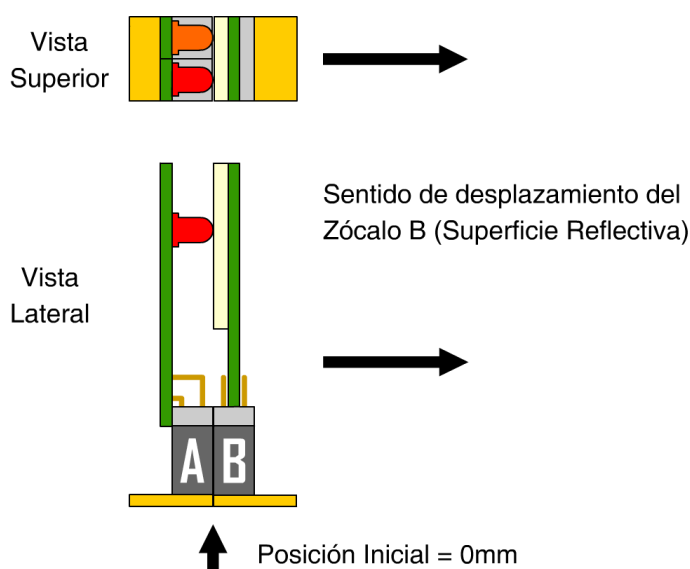


Figura 10. Inducción por Reflexión

El experimento de inducción por reflexión será similar al de inducción directa, con la diferencia de que, tanto el LED de excitación como el LED sensor estarán ubicados sobre el mismo zócalo, uno al lado del otro, con el fin de que sea necesaria una superficie reflectiva (que

estará montada sobre el zócalo opuesto) para que la luz del LED de excitación llegue al LED sensor.

Inducción por Reflexión sobre un único LED

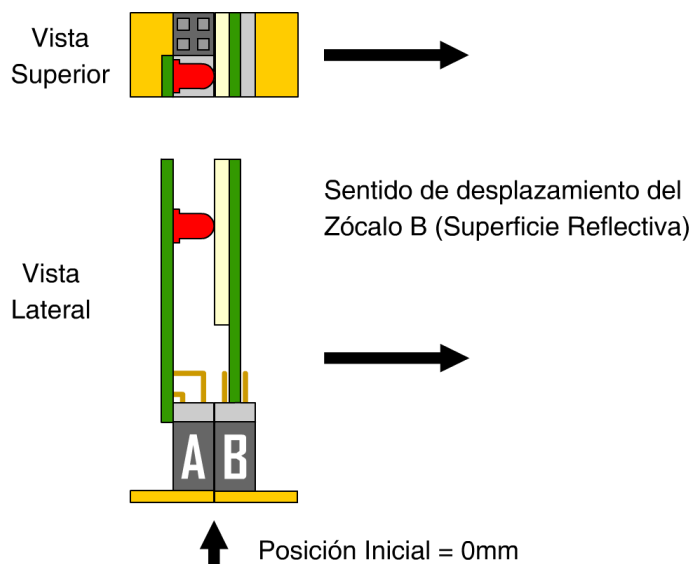


Figura 11. Inducción por Reflexión sobre un único LED

Este experimento será similar al de inducción por reflexión, con la diferencia de que habrá un único LED encargado de emitir y detectar la luz. Esto con el fin de intentar demostrar la hipótesis que se tiene de que un porcentaje de la luz emitida por el LED es reflejada y detectada por el mismo dispositivo.

Partes de la Tarjeta Electrónica

La tarjeta electrónica del prototipo de laboratorio consta de las siguientes partes:

- **Microcontrolador:** Se encargará de gestionar todas las mediciones, control y comunicaciones del prototipo.
- **Sensor de Temperatura:** Es el bloque encargado de medir la temperatura del prototipo y enviarla al conversor análogo-digital del microcontrolador.

- **Acoplador de Señal del LED Sensor:** Es un bloque compuesto por electrónica analógica en base a amplificadores operacionales de instrumentación que permitirán obtener las señales de respuesta del LED sensor al estímulo luminoso y enviarlas al microcontrolador a través de su conversor análogo-digital.
- **Control de Conexiones del Sensor:** Está compuesto básicamente por un multiplexor análogo, el cual se encargará de realizar las conexiones automáticas para lograr que el LED pueda funcionar como emisor o sensor de luz, de acuerdo a los requerimientos.
- **Control de Encendido y Regulación de Corriente del LED de Excitación:** Este sistema se encargará de controlar la activación o desactivación del LED de excitación, y además de monitorear y ajustar la corriente del LED a un valor determinado.
- **Control del Motor:** En esta etapa, se controlará el encendido, giro y velocidad de un motor (DC o de pasos), el cuál se encargará de acercar o alejar los zócalos donde estarán alojados los módulos LED.
- **Codificador de Cuadratura:** Este dispositivo permitirá al microcontrolador determinar la distancia exacta a la que se encuentran los zócalos.
- **Conexiones USB y RS485:** Permitirán al microcontrolador enviar hacia un PC la información recopilada de cada una de las mediciones realizadas.
- **Fuente de Poder:** Alimenta la circuitería del prototipo con los voltajes requeridos.

Prototipo Funcional

Diagrama de Bloques de la Solución

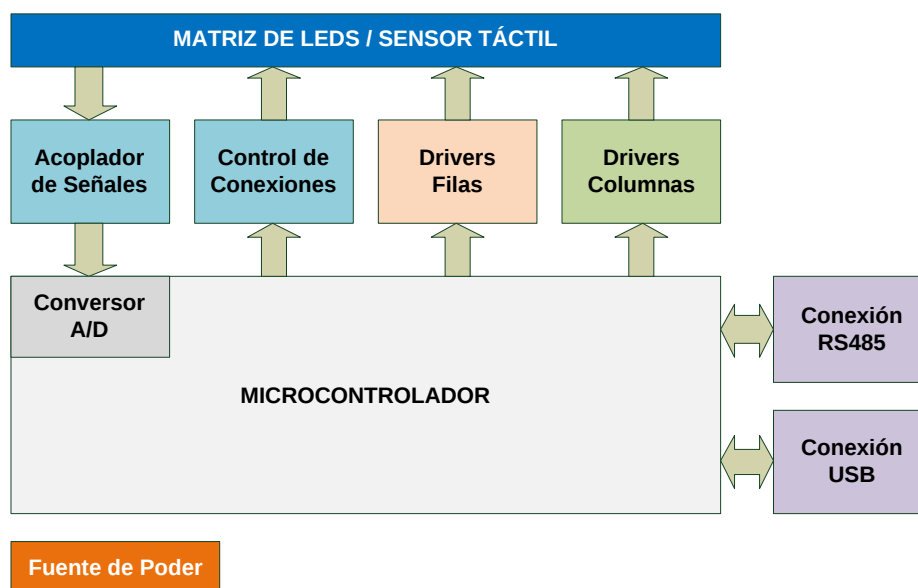


Figura 12. Diagrama de Bloques del Prototipo Funcional.

Narrativa del Proceso

El prototipo funcional es un sistema electrónico que permitirá monitorear la respuesta de una matriz de LED a todas las interacciones de las que puede ser objeto dicho dispositivo.

La tarjeta electrónica del prototipo funcional consta de las siguientes partes:

- **Microcontrolador:** Se encargará de gestionar el control de la matriz de LEDs, así como las mediciones asociadas y las comunicaciones con el PC.
- **Acoplador de Señales:** Es un bloque compuesto por electrónica analógica en base a amplificadores operacionales de instrumentación que permitirán obtener las señales de respuesta de los LED al estímulo luminoso y enviarlas al microcontrolador a través de su conversor analógico-digital.

- **Control de Conexiones:** Está compuesto por una serie de multiplexores análogos, que se encargarán de realizar las conexiones automáticas para lograr que cada una de las columnas de la matriz de LED pueda funcionar como emisor o sensor de luz, de acuerdo a los requerimientos.
- **Drivers Filas:** Es un bloque que se encarga de la multiplexación de las Filas de la matriz de LEDs.
- **Drivers Columnas:** Es un bloque que se encarga de la multiplexación de las Columnas de la matriz de LEDs.
- **Conexiones USB y RS485:** Permitirán al microcontrolador enviar hacia un PC la información en tiempo real de las interacciones a las que se somete la matriz de LEDs.
- **Fuente de Poder:** Alimenta la circuitería del prototipo con los voltajes requeridos.

Ingeniería de Detalle

Desarrollo de Cada Bloque

Prototipo de Laboratorio

Microcontrolador

Dado que el prototipo de laboratorio requiere de comunicaciones por medio de interfaces USB y RS485, y además, de la considerable cantidad de variables que se deben medir y/o controlar, se optó por utilizar el microcontrolador PIC18F4550. Como se puede notar en el siguiente esquemático, los pines del integrado fueron apenas suficientes para el diseño:

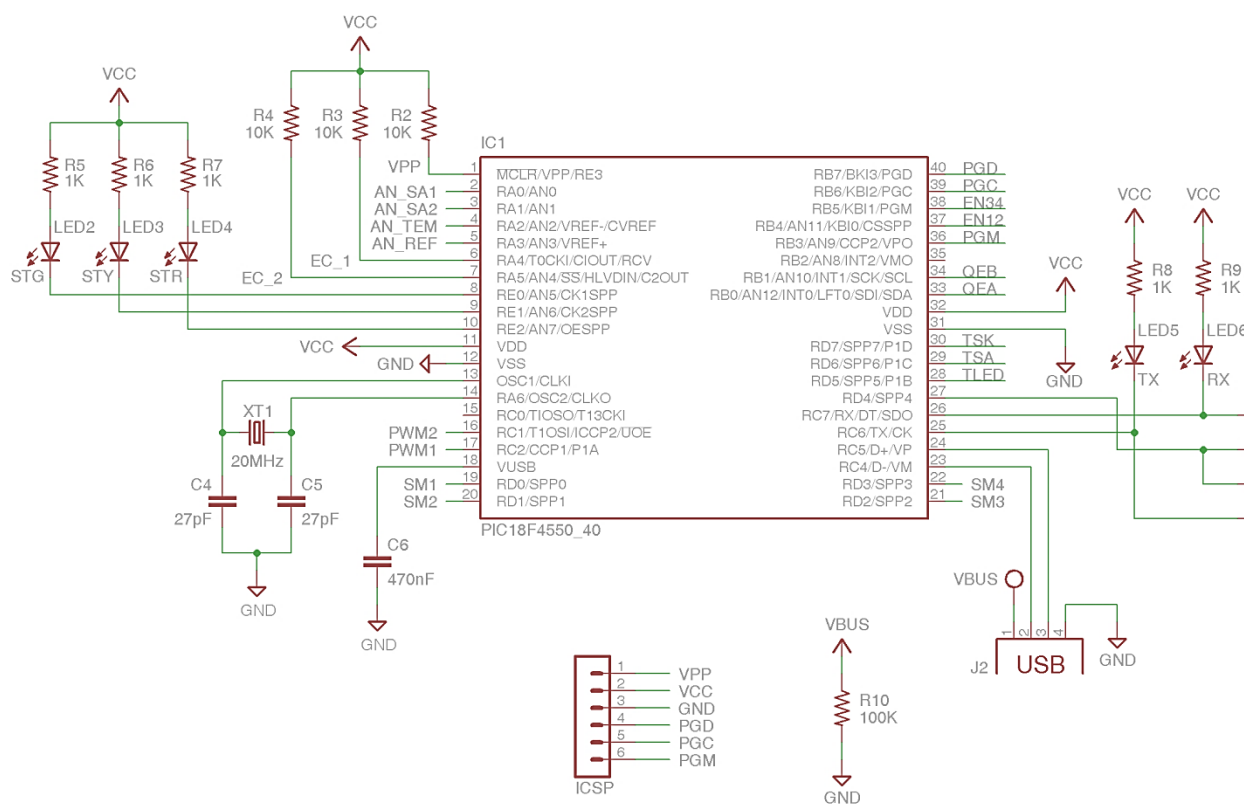


Figura 13. Circuito del Microcontrolador

Sensor de Temperatura

Debido a que los diodos LED pueden llegar a ser sensibles a los cambios de temperatura cuando son usados como detectores de luz (Mims, 1973), se implementará un bloque dentro del circuito que permitirá medir dicha variable, con el fin de determinar a través de la interfaz HMI, en qué proporción se ve afectada la detección de luz de acuerdo a la temperatura. Para lograrlo, se usará el sensor LM35, cuyo circuito se muestra a continuación:

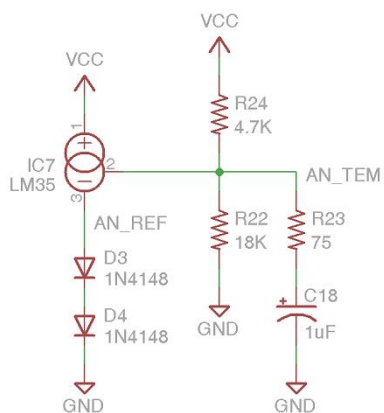


Figura 14. Circuito del Sensor de Temperatura

Acoplador de Señal del LED Sensor

Este circuito permite obtener las señales de respuesta del LED sensor al estímulo luminoso y enviarlas al microcontrolador a través de su conversor análogo-digital. Está basado en el integrado LM324, y permite medir voltajes desde 0V hasta 6V y acoplar dicha señal al rango de voltaje soportado por el microcontrolador, el cual va desde 0V hasta 5V.

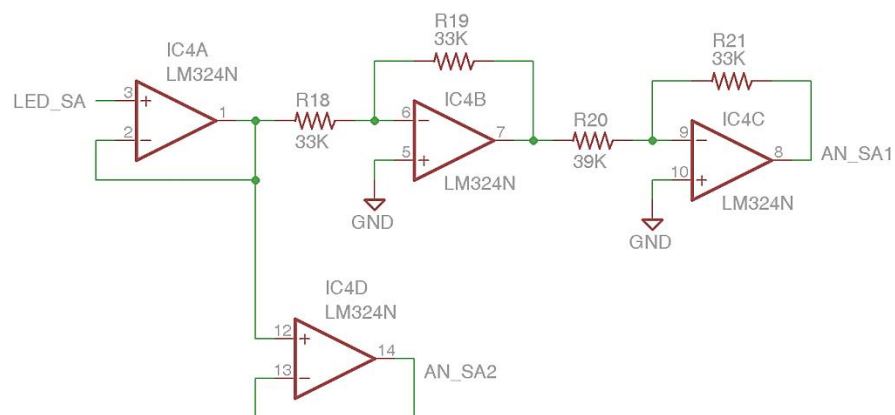


Figura 15. Circuito del Acoplador de Señal

Control de Conexiones del LED Sensor

Este circuito permite realizar las conexiones automáticas para lograr que el LED pueda funcionar como emisor o sensor de luz.

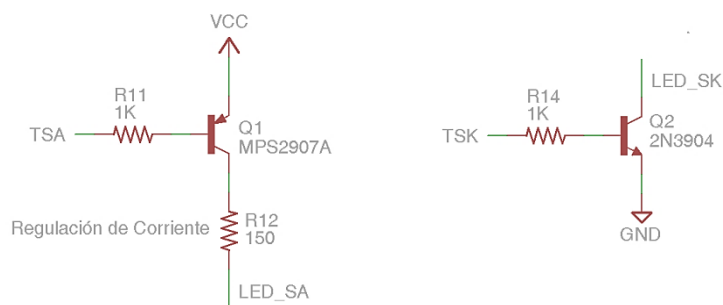


Figura 16. Control de Conexiones del LED Sensor

Control del LED de Excitación

Este circuito se encargará de controlar la activación o desactivación del LED de excitación.

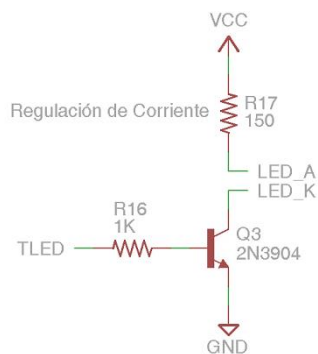


Figura 17. Control del LED de Excitación

Control del Motor

En esta etapa del circuito, se controlará el encendido, giro y velocidad de un motor de 5V (DC o de pasos), el cuál se encargará de acercar o alejar los zócalos donde estarán alojados los módulos LED. Está basado en el integrado L293D, el cual se puede configurar para ser utilizado con un motor DC o un motor de pasos bipolar.

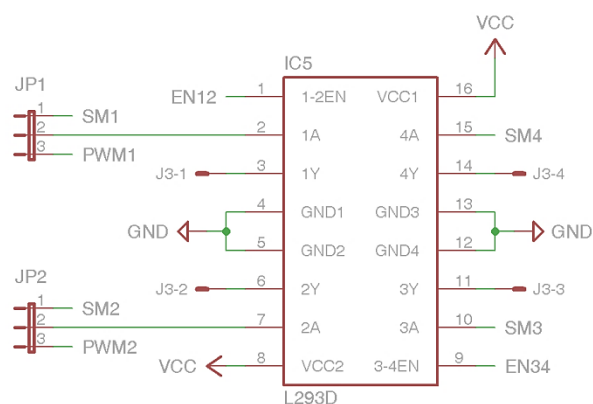


Figura 18. Circuito de Control del Motor

Codificador de Cuadratura

El codificador de cuadratura transmisivo permitirá al microcontrolador determinar la distancia exacta a la que se encuentran los dos módulos LED, y se basa en el módulo Avago 80058.

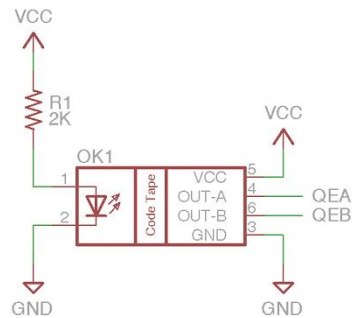


Figura 19. Circuito del Codificador de Cuadratura

Conexiones USB y RS485

Permitirán al microcontrolador enviar hacia un PC la información recopilada de cada una de las mediciones realizadas. Dicha información se podrá visualizar, analizar y caracterizar desde una interfaz HMI, la cual será desarrollada en un software como processing o LabVIEW.

La interfaz RS485 se basa en el integrado MAX485.

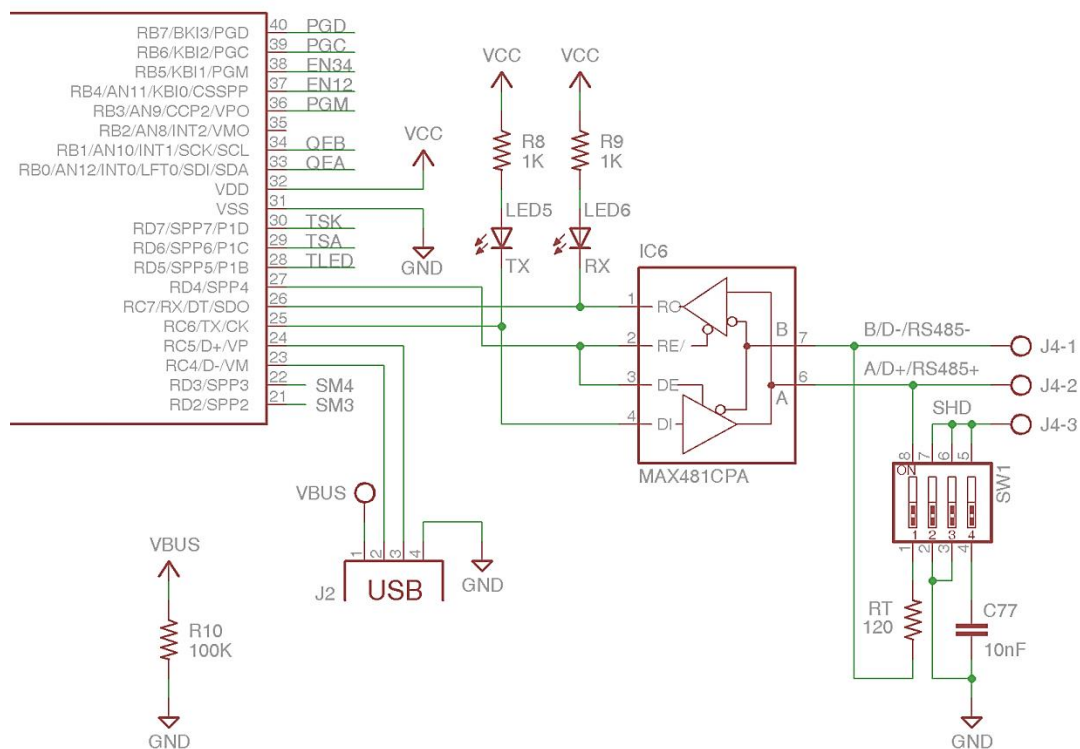


Figura 20. Circuito de Interfaces USB y RS485

Fuente de Poder

Alimenta la circuitería del prototipo con los voltajes requeridos, que son:

- +12V
- +5V
- -12V

El circuito tiene como componentes principales, el regulador LM2594T-5 y el convertidor DC-DC de referencia TC7662A.

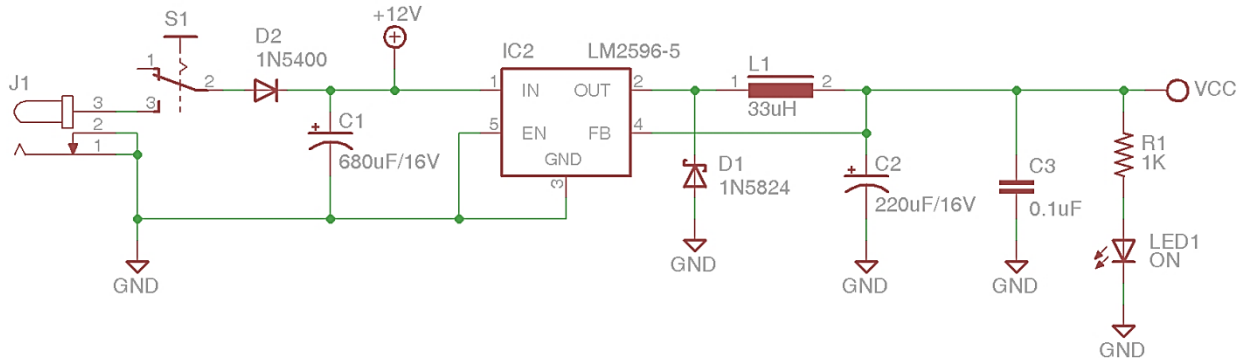


Figura 21. Circuito de Fuente de Poder

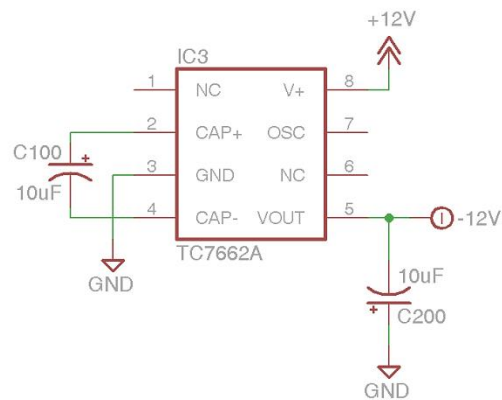


Figura 22. Circuito del Conversor DC-DC

Prototipo Funcional

Como ya se mencionó, el desarrollo del prototipo funcional no se dará sino hasta obtenidos los resultados del prototipo de laboratorio, ya que, se deben tener en cuenta las diversas modificaciones de hardware a que haya lugar después de hechos los experimentos.

Cálculo, Dimensionamiento de los Componentes de la Solución

A continuación se muestra la lista de los componentes a utilizar en el prototipo de laboratorio:

Tabla 1. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta Principal

Ítem	Tipo	Cantidad	Descripción	Valor	Partes	Precio Unitario (U\$)	Precio Total (U\$)	Distribuidor
1	B	1	Bobina PE-54040NL	33uH / 3A	L1	\$ 3,03	\$ 3,03	Mouser
2	C	8	Capacitores Cerámicos	0.1uF	C3, C7-C13	\$ 0,02	\$ 0,16	TNC
3	C	2	Capacitores Cerámicos	27pF	C4, C5	\$ 0,02	\$ 0,04	TNC
4	C	1	Capacitores Cerámicos	470nF	C6	\$ 0,02	\$ 0,02	TNC
5	C	1	Capacitores Cerámicos	10nF	C77	\$ 0,02	\$ 0,02	TNC
6	C	1	Capacitores Electrolíticos	680uF / 16V	C1	\$ 0,08	\$ 0,08	TNC
7	C	2	Capacitores Electrolíticos	10uF / 16V	C100, C200	\$ 0,04	\$ 0,08	TNC
8	C	2	Capacitores Electrolíticos	100uF / 16V	C14, C15	\$ 0,07	\$ 0,14	TNC
9	C	2	Capacitores Electrolíticos	47uF / 16V	C16, C17	\$ 0,04	\$ 0,08	TNC
10	C	1	Capacitores Electrolíticos	1uF/16V	C18	\$ 0,04	\$ 0,04	TNC
11	C	1	Capacitores Electrolíticos	220uF/16V	C2	\$ 0,07	\$ 0,07	TNC
12	D	1	Diodo 1N4148	1N4148	D3, D4	\$ 0,02	\$ 0,02	TNC
13	D	1	Diodo 1N5400	1N5400	D2	\$ 0,14	\$ 0,14	Sigma
14	D	1	Diodo Schottky	1N5824	D1	\$ 0,09	\$ 0,09	Mouser
15	D	2	LED 3mm Difuso	Rojo	LED1, LED4	\$ 0,04	\$ 0,08	Semiconductores
16	D	2	LED 3mm Difuso	Verde	LED2, LED5	\$ 0,04	\$ 0,08	Semiconductores
17	D	2	LED 3mm Difuso	Amarillo	LED3, LED6	\$ 0,04	\$ 0,08	Semiconductores
18	R	9	Resistencias	1K - 1/4W	R1, R5-R9, R11, R14, R16	\$ 0,01	\$ 0,07	TNC
19	R	1	Resistencias	100K - 1/4W	R10	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
20	R	2	Resistencias	150 - 1/4W	R12, R17	\$ 0,01	\$ 0,02	TNC
21	R	1	Resistencias	1M - 1/4W	R13	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
22	R	3	Resistencias	33K - 1/4W	R18, R19, R21	\$ 0,01	\$ 0,02	TNC
23	R	4	Resistencias	10K - 1/4W	R2, R3, R4, R15	\$ 0,01	\$ 0,03	TNC
24	R	1	Resistencias	39K - 1/4W	R20	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
25	R	1	Resistencias	18K - 1/4W	R22	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
26	R	1	Resistencias	75 - 1/4W	R23	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC

27	R	1	Resistencias	4,7K - 1/4W	R24	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
28	R	1	Resistencias	120 - 1/4W	RT	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
29	S	1	L293D	L293D	IC5	\$ 3,75	\$ 3,75	Sigma
30	S	1	LM2596TH	LM2596-5	IC2	\$ 4,53	\$ 4,53	Mouser
31	S	1	LM324N	LM324N	IC4	\$ 0,51	\$ 0,51	Mouser
32	S	1	LM35	LM35	IC7	\$ 1,11	\$ 1,11	Sigma
33	S	1	MAX485CPA	MAX485CPA	IC6	\$ 2,65	\$ 2,65	Mouser
34	S	1	PIC18F4550	PIC18F4550	IC1	\$ 4,38	\$ 4,38	Microchip
35	S	1	TC7662A	TC7662A	IC3	\$ 2,22	\$ 2,22	Microchip
36	S	2	Transistores NPN	2N3904	Q2, Q3	\$ 0,06	\$ 0,12	Sigma
37	S	1	Transistores PNP	MPS2907A	Q1	\$ 0,06	\$ 0,06	Sigma
38	SW	1	DIP-Switch	4 Posiciones	SW1	\$ 0,25	\$ 0,25	Sigma
39	SW	1	Switch Deslizable Mediano	2 Posiciones	S1	\$ 0,20	\$ 0,20	TNC
40	T	1	Bornera Desarmable	KF-2EDG x3T	J4	\$ 0,58	\$ 0,58	TNC
41	T	1	Conector FPC Horizontal	20 Terminales	X1	\$ 0,22	\$ 0,22	Mouser
42	T	1	Conector FPC Horizontal	8 Terminales	X2	\$ 0,22	\$ 0,22	Mouser
43	T	1	Conector GP	4 Terminales	J3	\$ 0,12	\$ 0,12	TNC
44	T	1	Conector USB Tipo B	USB-B	J2	\$ 0,50	\$ 0,50	Sigma
45	T	1	JACK DC para impreso		J1	\$ 0,19	\$ 0,19	TNC
46	V	1	Circuito Impreso		T1	\$ 10,00	\$ 10,00	MicroLED PCB
47	V	1	Cristal	20MHz	XT1	\$ 0,18	\$ 0,18	Sigma
48	V	1	Disipador de Calor	TO220	H1	\$ 0,39	\$ 0,39	Sigma
49	V	1	Regleta Macho	40x1	JP1, JP2, ICSP	\$ 0,14	\$ 0,14	Sigma
TOTAL						\$ 36,77		

Tabla 2. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Sensor

Ítem	Tipo	Cantidad	Descripción	Valor	Partes	Precio Unitario (U\$)	Precio Total (U\$)	Distribuidor
1	C	4	Capacitores Cerámicos	0.1uF	C1, C2, C3, C4	\$ 0,02	\$ 0,08	TNC
2	C	1	Capacitores Electrolíticos	100uF / 16V	C5	\$ 0,07	\$ 0,07	TNC
3	C	1	Capacitores Electrolíticos	47uF / 16V	C6	\$ 0,04	\$ 0,04	TNC
4	T	1	Conector FPC Vertical	8 Terminales	X1	\$ 0,22	\$ 0,22	Mouser
5	T	1	Regleta Hembra	40x2	SV1	\$ 0,17	\$ 0,17	TNC
6	V	1	Circuito Impreso		T2	\$ 5,00	\$ 5,00	MicroLED PCB
7	V	1	Cinta FPC	8		\$ 4,57	\$ 4,57	Mouser
TOTAL							\$ 15,15	

Tabla 3. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Emisor

Ítem	Tipo	Cantidad	Descripción	Valor	Partes	Precio Unitario (U\$)	Precio Total (U\$)	Distribuidor
1	C	4	Capacitores Cerámicos	0.1uF	C1, C2, C3, C4	\$ 0,02	\$ 0,08	TNC
2	C	1	Capacitores Electrolíticos	100uF / 16V	C5	\$ 0,07	\$ 0,07	TNC
3	C	1	Capacitores Electrolíticos	47uF / 16V	C6	\$ 0,04	\$ 0,04	TNC
4	R	1	Resistencias	2K - 1/4W	R1	\$ 0,01	\$ 0,01	TNC
5	SEN	1	Sensor Óptico Transmisivo	Avago 80058	OK1	\$ 2,00	\$ 2,00	Mouser
6	SW	2	Switch Final de Carrera		S1, S2	\$ 0,39	\$ 0,78	TNC
7	T	1	Conector FPC Vertical	20 Terminales	X1	\$ 0,22	\$ 0,22	Mouser
8	T	1	Regleta Hembra	40x2	SV1	\$ 0,17	\$ 0,17	TNC
9	V	1	Circuito Impreso		T3	\$ 5,00	\$ 5,00	MicroLED PCB
10	V	1	Cinta FPC	20		\$ 4,57	\$ 4,57	Mouser
TOTAL							\$ 12,94	

Tabla 4. Componentes del Prototipo de Laboratorio – Varios

Ítem	Tipo	Cantidad	Descripción	Valor	Partes	Precio Unitario (U\$)	Precio Total (U\$)	Distribuidor
1	D	2	LED 3mm Transparente	Amarillo		\$ 0,50	\$ 1,00	Mouser
2	D	2	LED 3mm Transparente	Azul		\$ 0,50	\$ 1,00	Mouser
3	D	2	LED 3mm Transparente	Blanco		\$ 0,50	\$ 1,00	Mouser
4	D	2	LED 3mm Transparente	Rojo		\$ 0,50	\$ 1,00	Mouser
5	D	2	LED 3mm Transparente	Verde		\$ 0,50	\$ 1,00	Mouser
6	D	1	LED de Potencia	Blanco / 1W		\$ 1,00	\$ 1,00	Mouser
7	M	1	Motor 5V	SANKYO - BCZ3B51		\$ 3,17	\$ 3,17	Sankyo
8	T	1	Regleta Macho en Ángulo	40x2		\$ 0,17	\$ 0,17	TNC
9	V	10	Circuito Impreso - Bases LED		T4 - T14	\$ 0,50	\$ 5,00	MicroLED PCB
10	V	1	Rollo de Estaño	100gr		\$ 4,70	\$ 4,70	TNC
11	V	1	Fuente DC	12V / 3A		\$ 9,53	\$ 9,53	TNC
12	V	1	Carro de impresora	HP1510		\$ 26,00	\$ 26,00	Hewlett Packard
13	V	1	Caja Reductora			\$ 10,00	\$ 10,00	TNC
TOTAL							\$ 64,57	

Diagramas y Planos Detallados de la Solución

Tarjeta Principal

Ver Figura 23.

Base Sensor

Ver Figura 24.

Base Emisor

Ver Figura 25.

Implementación de la Solución

Procura/Suministro

Los componentes serán suministrados por los siguientes distribuidores:

Tabla 5. Distribuidores de Componentes

Distribuidor	Tipo	Ciudad	Dirección
Mouser Electronics	Internacional	Mansfield, Texas	1000 North Main Street
Sankyo Motors	Internacional	Nagano	5329, Shimosuwa-machi, Suwa-gun
TNC Electrónica	Nacional	Bogotá	CR 9 19-30 L-208
MicroLED PCB	Nacional	Bogotá	CLL 12 B Bis A # 1-38
Hewlett Packard	Nacional	Bogotá	
Sigma Electrónica	Nacional	Bogotá	CR 24 # 61D-65
Microchip Technology	Internacional	Chandler, Arizona	2355 West Chandler Blvd.
Semiconductores	Nacional	Bogotá	CR 9 # 19-70

Los componentes que se deben importar llegarán entre siete (7) y diez (10) días hábiles después de hecho el respectivo pedido.

Adecuaciones

El sitio donde se ejecutarán las pruebas y el montaje del prototipo debe tener una variación regular de la temperatura, de tal forma que los experimentos no se vean afectados súbitamente por ésta. Para lograr lo anterior, se debe procurar que el laboratorio no tenga entradas de aire frío o caliente que puedan afectar las mediciones. Además, es posible que sea necesario un sistema de aire acondicionado controlado, para su uso en el experimento.

Montaje

El montaje del prototipo es un procedimiento sencillo, debido a que los componentes que lo conforman son de pequeño tamaño y fácilmente ensamblables.

Prueba del Equipo

Se requiere que se haga una revisión exhaustiva de las tarjetas electrónicas que conforman el prototipo antes de conectarlo, con el fin de evitar daños en sus componentes.

Por lo demás, es importante ejecutar pruebas y mediciones en cada una de las etapas, garantizando así su correcto funcionamiento.

Puesta en Servicio

Luego de la prueba del sistema, se deberán ejecutar todos y cada uno de los experimentos programados con el fin de determinar la sensibilidad de cada uno de los modelos de LED's, documentando debidamente todos los resultados para su posterior análisis.

Factibilidad Técnica del Proyecto

Recomendaciones para el Desarrollo del Proyecto

- Ejecutar pruebas sobre protoboard de cada una de las etapas del prototipo antes de diseñar las tarjetas de circuito impreso definitivas.
- Se requiere que los experimentos se hagan en un ambiente con temperatura e iluminación controladas.

Facilidades Técnicas del Proyecto

- El poco espacio requerido para implementar todo el prototipo, y por lo tanto, la facilidad para controlar la temperatura e iluminación.
- La facilidad para adquirir todos los componentes requeridos para la solución.
- El poco riesgo operativo para los encargados del desarrollo del proyecto.

Dificultades Técnicas del Proyecto

- El largo tiempo requerido para diseñar los circuitos, debido a la necesidad de hacer pruebas sobre protoboard de cada una de las etapas del prototipo, antes de diseñar las tarjetas de circuito impreso.
- Hallar los diodos LED adecuados para el experimento, de acuerdo a las especificaciones, dado que son muchos los componentes de este tipo que poseen una muy baja luminosidad, y por lo tanto no son ideales para el prototipo.

Planificación del Proyecto

Árbol de Tareas (WBS)

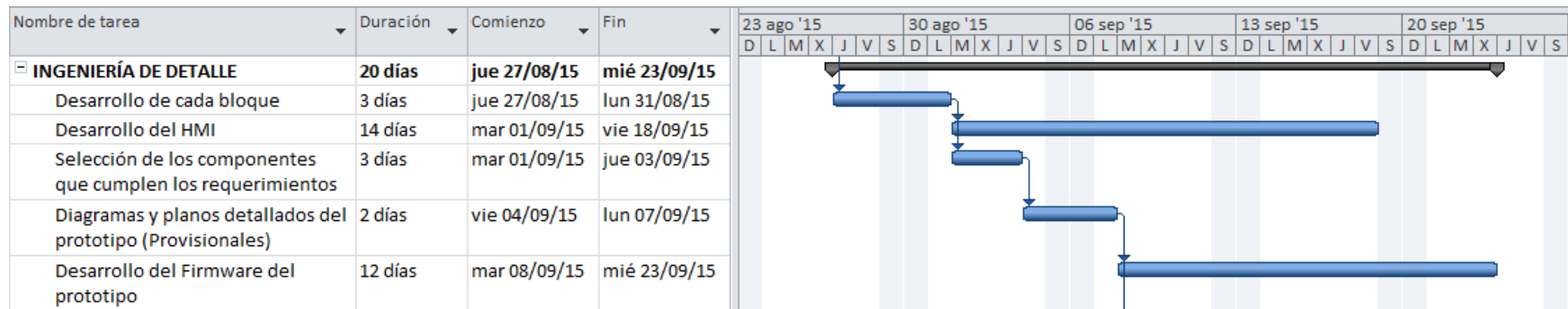
Tabla 6. Árbol de Tareas (WBS) - Prototipo de Laboratorio

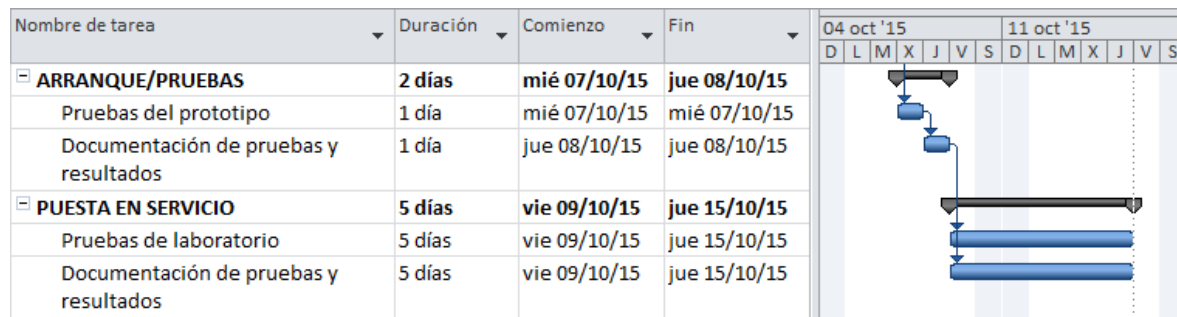
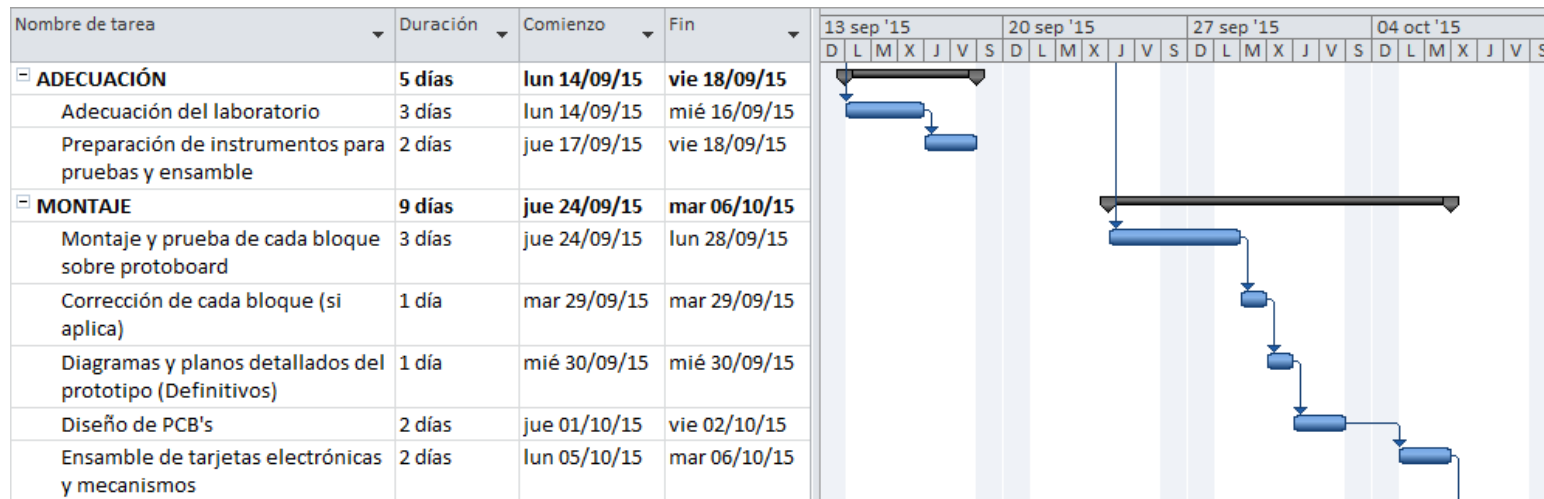
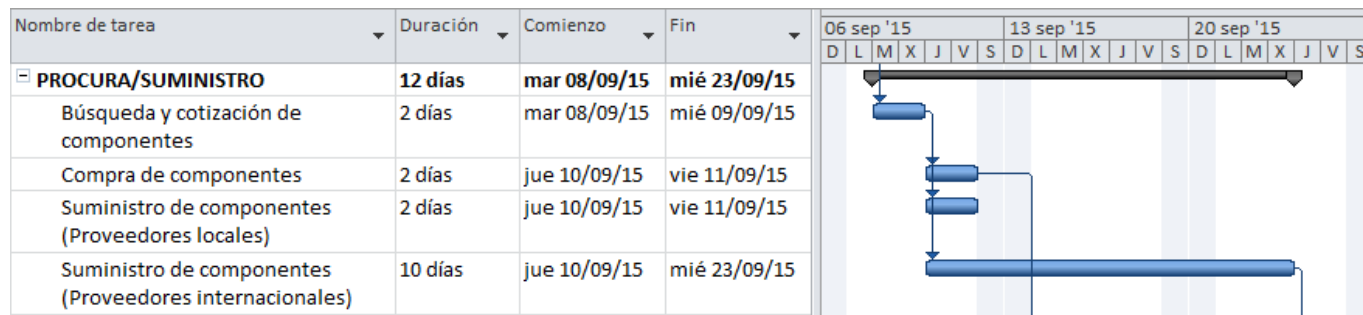
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	RECURSOS
PROYECTO DE INGENIERÍA	CONCEPTUALIZACIÓN	Idea Inicial / Caso de Negocio (Business Case)	Antecedentes / Contexto	Director de proyecto Especialista de Instrumentación Ingeniero de proyectos
			Propuesta de Solución	
			Problema / Necesidad	
			Justificación	
			Alcance	
		Ingeniería Conceptual y/o de Requerimientos. (Project Charter)	Análisis del objetivo del proyecto	
			Estudio de los requerimientos del proyecto	
			Evaluación de las tecnologías a implementar	
			Evaluación de los alcances del proyecto	
	DISEÑO	Ingeniería Básica	Descripción del funcionamiento en diagramas de bloques.	Especialista de Instrumentación
			Desarrollo de cada bloque	Especialista de Instrumentación
		Ingeniería de detalle	Desarrollo del HMI	Profesional de desarrollo de Software
			Selección de los componentes que cumplen los requerimientos	Especialista de Instrumentación
			Diagramas y planos detallados del prototipo (Provisionales)	Especialista de Instrumentación
			Desarrollo del Firmware del prototipo	Profesional de Programación de Microcontroladores

IMPLEMENTACIÓN

	Procura / Suministro	Búsqueda y cotización de componentes	Profesional de Compras y Suministros
		Compra de componentes	
		Suministro de componentes (Proveedores locales)	
		Suministro de componentes (Proveedores internacionales)	
	Adecuación	Adecuación del laboratorio	Profesional de Adecuación de Laboratorios
		Preparación de instrumentos para pruebas y ensamble	Técnico de Instrumentación
	Montaje	Montaje y prueba de cada bloque sobre protoboard	Técnico de Instrumentación
		Corrección de cada bloque (si aplica)	Especialista de Instrumentación
		Diagramas y planos detallados del prototipo (Definitivos)	Técnico de Instrumentación
		Diseño de PCB's	Especialista de Instrumentación
		Ensamble de tarjetas electrónicas y mecanismos	Técnico de Instrumentación
			Técnico Mecatrónico
	Arranque / Pruebas		Especialista de Instrumentación
			Profesional de desarrollo de Software
		Pruebas del prototipo	Profesional de Programación de Microcontroladores
			Técnico de Instrumentación
			Técnico Mecatrónico
		Documentación de pruebas y resultados	Especialista de Instrumentación
	Puesta en servicio		Técnico de Instrumentación
		Pruebas de laboratorio	Técnico Mecatrónico
		Documentación de pruebas y resultados	Especialista de Instrumentación

Cronograma del Proyecto





Costos del Proyecto

Costos Fijos

Tabla 7. Costos Fijos

COSTOS FIJOS			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario (U\$)	Precio Total (U\$)
Componentes de la Tarjeta Electrónica del Emisor	1	\$ 12,94	\$ 12,94
Componentes de la Tarjeta Electrónica del Sensor	1	\$ 15,15	\$ 15,15
Componentes de la Tarjeta Electrónica Principal	1	\$ 36,77	\$ 36,77
Componentes para el Montaje del Prototipo	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Computador de Escritorio	8	\$ 300,00	\$ 2.400,00
Elementos Eléctricos	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Escritorio	10	\$ 60,00	\$ 600,00
Fuente DC	2	\$ 100,00	\$ 200,00
Licencia Cadsoft Eagle Layout Editor Standard	1	\$ 575,00	\$ 575,00
Licencia Office 2010	8	\$ 50,00	\$ 400,00
Licencia Sketchup Pro	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Multímetro Fluke	3	\$ 150,00	\$ 450,00
Osciloscopio Hantek	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Sillas	10	\$ 50,00	\$ 500,00
COSTO FIJO TOTAL			\$ 6.619,86

Costos Variables Directos

Tabla 8. Costos Variables Directos

COSTOS VARIABLES DIRECTOS					
Concepto	Recursos	Cantidad	Semanas	Costo Semanal (U\$)	Precio Total (U\$)
Costo de Mano de Obra Directa	Director de proyecto	1	12	\$ 250	\$ 3.000
	Ingeniero de proyectos	1	12	\$ 220	\$ 2.640
	Especialista de instrumentación	1	12	\$ 250	\$ 3.000
	Programador de microcontroladores	1	8	\$ 150	\$ 1.200
	Desarrollador de software	1	8	\$ 150	\$ 1.200
	Técnico de instrumentación	1	8	\$ 100	\$ 800
	Técnico mecatrónico	1	8	\$ 100	\$ 800
	Profesional de adecuación de laboratorios	1	1	\$ 180	\$ 180
	Profesional de contabilidad	1	12	\$ 120	\$ 1.440
	Profesional de compras y suministros	1	2	\$ 150	\$ 300
Bienes de Capital	Vehículo	1	12	\$ 80	\$ 960
TOTAL					\$ 15.520

Tabla 9. Total de Costos Variables Directos

TOTAL DE COSTOS VARIABLES DIRECTOS	
Costo Variable directo del Proyecto (U\$)	\$ 15.520
Costo del Proyecto (U\$)	\$ 2.900
TOTAL DE COSTOS VARIABLES DIRECTOS (U\$)	\$ 18.420

Tabla 10. Costo del Proyecto

NIVEL 4	NIVEL 3	COSTOS NIVEL 3 (U\$)	NIVEL 2	COSTOS NIVEL 2 (U\$)	COSTO PROYECTO NIVEL 1 (U\$)
Antecedentes / Contexto					
Propuesta de Solución	Idea Inicial / Caso de Negocio (Business Case)	\$ 400	CONCEPTUALIZACIÓN	\$ 900	
Problema / Necesidad					
Justificación					
Alcance					
Análisis del objetivo del proyecto	Ingeniería Conceptual y/o de Requerimientos (Project Charter)	\$ 500			
Estudio de los requerimientos del proyecto					
Evaluación de las tecnologías a implementar					
Evaluación de los alcances del proyecto					
Descripción del funcionamiento en diagramas de bloques.	Ingeniería Básica	\$ 100			
Desarrollo de cada bloque					
Desarrollo del HMI	Ingeniería de detalle	\$ 600	DISEÑO	\$ 700	
Selección de los componentes que cumplen los requerimientos					
Diagramas y planos detallados del prototipo (Provisionales)					
Desarrollo del Firmware del prototipo					
Búsqueda y cotización de componentes	Procura / Suministro	\$ 100			\$ 2.900
Compra de componentes					
Suministro de componentes (Proveedores locales)					
Suministro de componentes (Proveedores internacionales)					
Adecuación del laboratorio	Adecuación	\$ 200			
Preparación de instrumentos para pruebas y ensamble					
Montaje y prueba de cada bloque sobre protoboard					
Corrección de cada bloque (si aplica)					
Diagramas y planos detallados del prototipo (Definitivos)	Montaje	\$ 500	IMPLEMENTACIÓN	\$ 1.300	
Diseño de PCB's					
Ensamble de tarjetas electrónicas y mecanismos					
Pruebas del prototipo					
Documentación de pruebas y resultados	Arranque / Pruebas	\$ 200			
Pruebas de laboratorio					
Documentación de pruebas y resultados	Puesta en servicio	\$ 300			

Costos Variables Indirectos

Tabla 11. Gastos Administrativos

GASTOS ADMINISTRATIVOS				
Cargo	Salario Mensual (U\$)	Carga Prestacional (U\$)	Meses	Total (U\$)
Revisor de fiscal	\$ 330	\$ 217	3	\$ 651
Contador	\$ 480	\$ 316	3	\$ 948
Asistente de contabilidad	\$ 230	\$ 151	3	\$ 454
Asistente de compras y suministros	\$ 230	\$ 151	1	\$ 151
Asistente de adecuador de laboratorio	\$ 230	\$ 151	1	\$ 151
Servicios generales	\$ 230	\$ 151	3	\$ 454
TOTAL				\$ 2.810

Tabla 12. Gastos Generales

GASTOS GENERALES			
Concepto	Meses	Valor Mensual (U\$)	Total (U\$)
Arrendamiento de local para laboratorio	3	\$ 350,00	\$ 1.050,00
Servicios Públicos	3	\$ 50,00	\$ 150,00
Seguros	3	\$ 200,00	\$ 600,00
Cuotas de Administración	3	\$ 20,00	\$ 60,00
Cafetería	3	\$ 30,00	\$ 90,00
Papelería	3	\$ 12,00	\$ 36,00
		TOTAL	\$ 1.986,00

Tabla 13. Gastos Financieros

GASTOS FINANCIEROS	
Valor a Financiar (U\$)	\$ 15.000,00
Valor de la Financiación Anual (15%)	\$ 2.250,00
Valor de la Financiación por 6 Meses (U\$)	\$ 1.125,00
TOTAL DE GASTOS FINANCIEROS (U\$)	\$ 1.125,00

Tabla 14. Total de Costos Variables Indirectos

TOTAL DE COSTOS VARIABLES INDIRECTOS	
Gastos Administrativos (U\$)	\$ 2.809,66
Gastos Generales (U\$)	\$ 1.986,00
Gastos Financieros (U\$)	\$ 1.125,00
TOTAL DE COSTOS VARIABLES INDIRECTOS (U\$)	\$ 5.920,66

Costo Total del Proyecto

Tabla 15. Costo Total del Proyecto

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
CONCEPTO	TOTALES (U\$)
Total Costos Fijos	\$ 6.619,86
Total Costos Variables Directos	\$ 18.420,00
Total Costos Variables Indirectos (Gastos)	\$ 5.920,66
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (U\$)	\$ 30.960,52

Tabla 16. Pólizas

PÓLIZAS	COSTO (U\$)
Póliza de cumplimiento	\$ 1.548
Póliza de garantías	\$ 1.548
Póliza de seriedad de la oferta	\$ 3.096
TOTAL PÓLIZAS (U\$)	\$ 6.192

Negociación del Proyecto

Precio de venta mínimo del proyecto:

$$PRECIO DE VENTA MÍNIMO = \frac{COSTO DEL PROYECTO}{1 - RENTABILIDAD MÍNIMA}$$

Para una rentabilidad del 30%:

$$PRECIO DE VENTA MÍNIMO = \frac{U\$ 30.960,52}{1 - 0.3}$$

$$PRECIO DE VENTA MÍNIMO = U\$ 44.229,3$$

Precio de venta al público:

$$PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO = \frac{PRECIO DE VENTA MÍNIMO}{1 - DESCUENTO}$$

Para un descuento del 10%:

$$PRECIO DE VENTA PUBLICO = \frac{U\$ 44.229,3}{1 - 0.1}$$

$$PRECIO DE VENTA PUBLICO = U\$ 49.143,7$$

Conclusiones

- Para desarrollar un proyecto, es de vital importancia documentarse debidamente en todos sus ámbitos, con el fin de evitar riesgos en su implementación.
- Es muy importante determinar correctamente todos los costos que acarreará un proyecto, ya que muchas veces no se hace y eventualmente se generan pérdidas.
- El cronograma de un proyecto se debe planear minuciosamente con el fin de evitar contratiempos que generen graves retrasos en su entrega.

Lista de Referencias

Cook, M. (2009). *LED Sensing*. Obtenido de Arduino Workshop:

http://www.thebox.myzen.co.uk/Workshop/LED_Sensing.html

Dietz, P., Yerazunis, W., & Leigh, D. (Julio de 2003). *Very Low-Cost Sensing and*

Communication Using Bidirectional LEDs. Obtenido de MITSUBISHI ELECTRIC

RESEARCH LABORATORIES: <http://www.merl.com/publications/docs/TR2003-35.pdf>

Han, J. (2006). *Multi-Touch Sensing through LED Matrix Displays*. Obtenido de

<http://cs.nyu.edu/~jhan/ledtouch/index.html>

Hudson, S. E. (2004). *Using Light Emitting Diode Arrays as Touch-Sensitive Input and Output*

Devices. Obtenido de Human-Computer Interaction Institute Carnegie Mellon University.

Licea Tapia, N., Soto, S., Cortés, R., & Díaz Kim, L. O. (12 de Agosto de 2009). *"Led Touch" -*

LED touchscreen-based instrument. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=_CCndD10OSM

Luna, M., Marshall, S., Navarro, E., Peuker, B., Quan, M., & Utschig, N. (25 de January de

2010). *Smart Playground*. Obtenido de [https://smartplayground.wordpress.com/the-](https://smartplayground.wordpress.com/the-product/)

[product/](https://smartplayground.wordpress.com/the-product/)

Mims, F. M. (1973). *LED Circuits and Projects*. Obtenido de Howard W. Sams and Co., Inc.:

<http://makezine.com/projects/make-36-boards/how-to-use-leds-to-detect-light/>

Zaxariadis, M., & Ellinas, J. (s.f.). *Single-touch and multi-touch LED Screen*. Obtenido de

Department of Electronic Computer Systems, Technological Educational Institute of

Piraeus: <http://mprolab.teipir.gr/profiles/jellin/papers/C15-ZaxariadisM-EllinasJ.pdf>

Apéndice

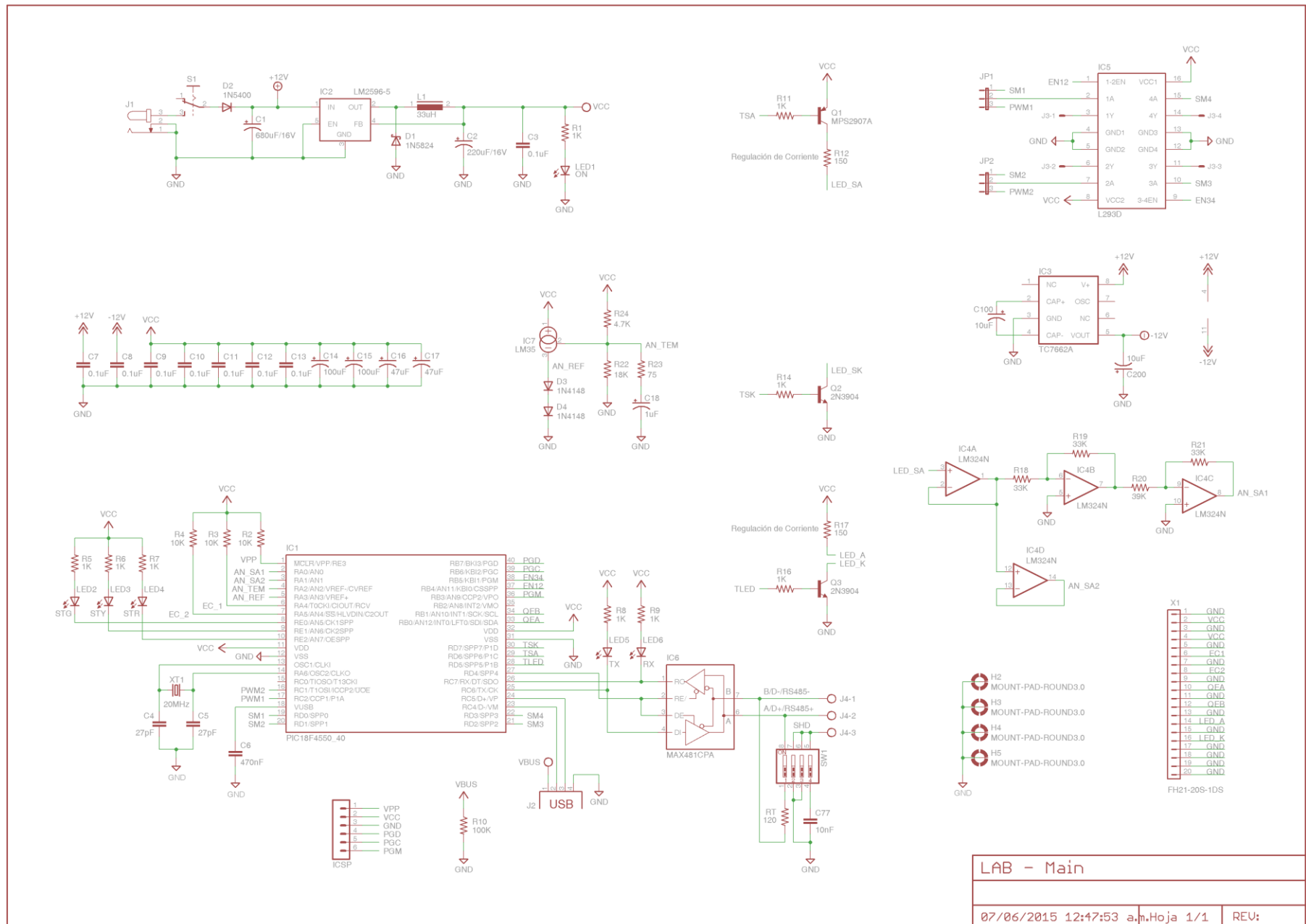
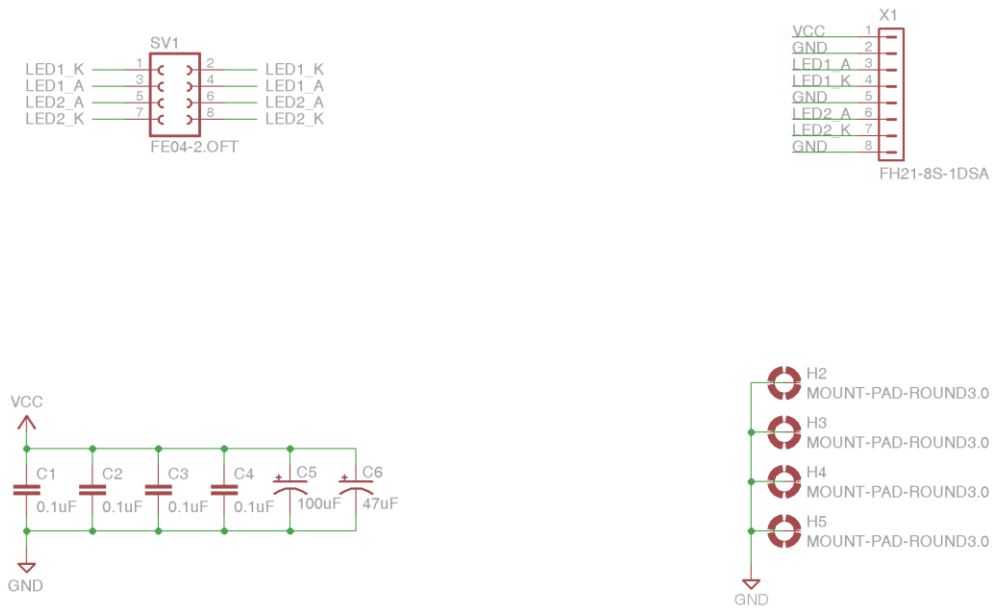
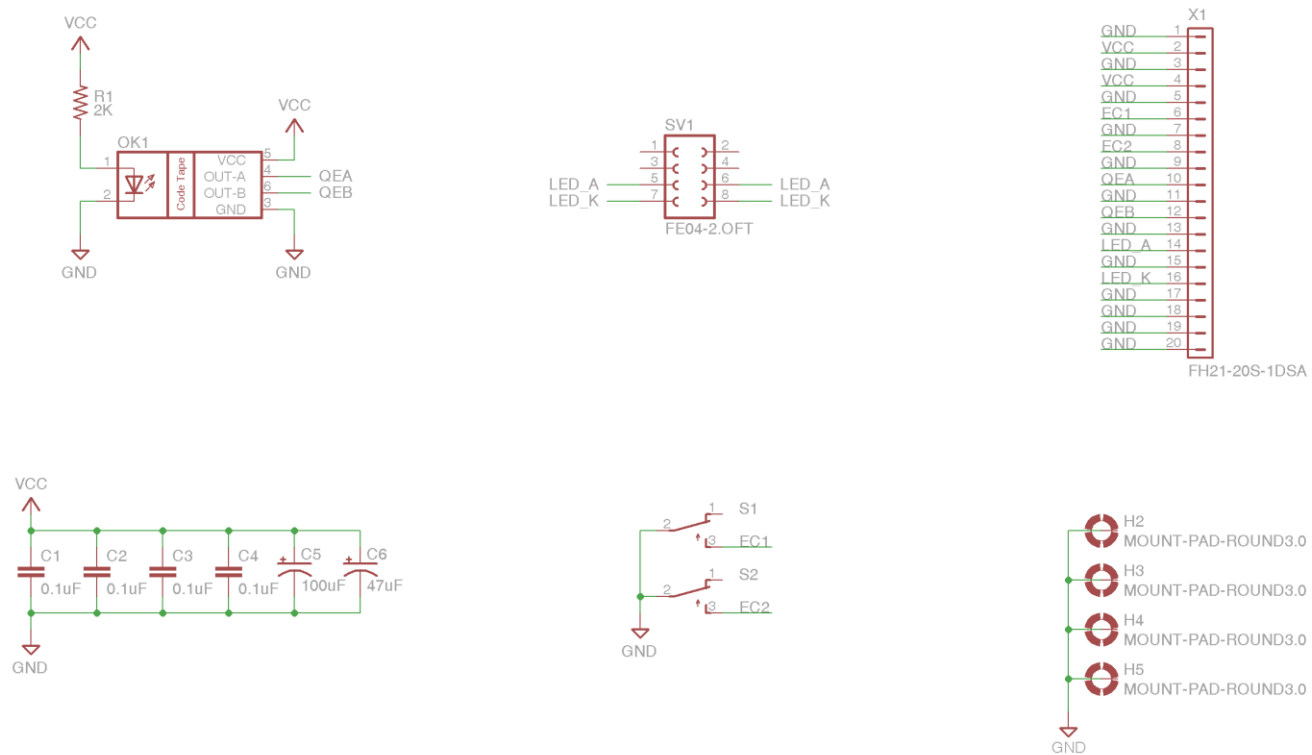


Figura 23. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta Principal



LAB - Sensor		
15/08/2015 07:21:27 p.m.	Hoja 1/1	REV:

Figura 24. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Sensor



LAB - Emitter		
15/08/2015 07:11:52 p.m.	Hoja 1/1	REV:

Figura 25. Esquemático del Prototipo de Laboratorio – Tarjeta del Emisor