

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
INTELIGENTE Y DE EVACUACIÓN EN CASO DE
SISMOS**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta
el bachiller:

Juan Miguel Ugarte Sánchez

ASESOR: Ing. Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, Junio del 2012

RESUMEN

El desarrollo de la tecnología LED en los últimos años ha sido muy importante. Han dejado de verse como dispositivos de iluminación a pequeña escala, o indicadores de encendido/apagado, y ahora se ven en aplicaciones mucho más ambiciosas como paneles publicitarios, pantallas de TV e incluso en sistemas de iluminación. Esto se ve reflejado en el interés de muchas empresas por su utilización, dado a su alto nivel de iluminación, el cual viene acompañado de una alta eficiencia.

Por otro lado; vivimos en un país con una importante actividad sísmica, la cual, sumada a un nivel alto en la informalidad en la construcción de viviendas, representa un riesgo potencial muy alto en caso de un sismo. Es por esto que el principal objetivo durante un hecho como ese, es el lograr la adecuada evacuación de las personas del lugar donde se encuentren.

Sin embargo, un factor muy importante a considerar es que al movimiento telúrico se le pueden sumar fallas en los sistemas eléctricos, comprometiendo la visión de aquellas personas en proceso de evacuación. Es por esto que el sistema debe poder funcionar independiente del suministro, respaldado por una batería. Esto significa un requerimiento general para el diseño: buscar el mínimo consumo de corriente a fin de tener una mayor duración de la batería, lo que significa más tiempo de funcionamiento.

Queda claro, entonces, la importancia de un sistema que permita alertar ante la ocurrencia de un sismo, señalizando adecuadamente las salidas y contando con un sistema de respaldo de energía, pues en estos casos, cualquier ayuda para salvar una vida es prioridad.

La presente tesis plantea el diseño de un sistema de iluminación inteligente y de evacuación para casos de sismo, que, al detectar la ocurrencia de un movimiento telúrico, genere una alarma de acuerdo a la intensidad del mismo y permita indicar de manera adecuada las rutas de escape. Además, debido a la utilización de la tecnología LED y de foto-resistencias se logra un mayor ahorro de energía y una mayor eficiencia, mediante el control de la intensidad de la luz en función a las condiciones de un determinado ambiente. Todo esto, utilizando un sistema de respaldo de energía en caso de falla o caída del suministro eléctrico, y para el cual se usarán tecnologías y componentes de bajo consumo de corriente, que permitirán una mayor duración del tiempo de autonomía del sistema.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE
Y DE EVACUACIÓN EN CASO DE SISMOS
Área : Electrónica # 937
Asesor : Ing. Willy Eduardo Carrera Soria
Alumno : Juan Miguel Ugarte Sánchez
Código : 20074361
Fecha : 29/09/2011



Don
15. Nov. 11

Descripción y Objetivos

El Perú es un país con una importante actividad sísmica, la cual, sumada a la informalidad en la construcción de viviendas, representa un peligro potencial muy alto en caso de un sismo. Es por esto que el principal objetivo durante un hecho como ese, es lograr la adecuada evacuación de las personas del lugar donde se encuentren. Sin embargo, al movimiento telúrico generalmente se suman fallas en los sistemas eléctricos, comprometiendo la visión de aquellas personas en proceso de evacuación. Queda claro, entonces, la importancia de un sistema que permita indicar la ocurrencia de un sismo, así como, de una manera autónoma, señalar adecuadamente las salidas, pues en estos casos, cualquier ayuda para salvar una vida es prioritaria.

La presente tesis plantea el diseño de un sistema de señalización para casos de sismo, que, al detectar la ocurrencia de un movimiento telúrico, genere una alarma de acuerdo al nivel del mismo y permita indicar de manera adecuada las rutas de escape. Además, debido a la utilización de tecnología LED, pueda ser usado como un sistema de iluminación inteligente a fin de lograr un mayor ahorro de energía y con mayor eficiencia, mediante el control de la intensidad de iluminación en función a las condiciones de un determinado ambiente. Todo esto, utilizando un sistema de respaldo en caso de falla o caída del suministro eléctrico.

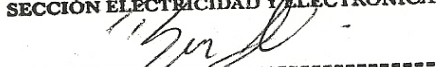
Es así que para la realización de la presente tesis se definen 4 objetivos de diseño fundamentales:

- La alimentación para todo el sistema con un sistema de respaldo ante falla del suministro
- Sistema de sensado de movimientos telúricos y de iluminación en el ambiente
- Sistema de control que maneje los niveles de iluminación y el encendido de la alarma
- Sistema de evacuación en base a iluminación por LEDs y una alarma sonora.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA


ING. WILLY CARRERA SORIA
PROFESOR ASesor

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA


Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE
Y DE EVACUACIÓN EN CASO DE SISMOS

Índice

Introducción

1. Alarma automática para evacuación
2. Tecnologías de iluminación y sensores de movimiento
3. Diseño del sistema
4. Simulación y Análisis de los resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía


Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA



Ing. WILLY CARRERA SORIA
PROFESOR ASOCIADO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA



Dr. Ing. BENJAMIN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

Para mis padres y abuelos
Fuentes de inspiración y guía en el largo camino del constante aprendizaje



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1: Alarma automática para evacuación.....	3
1.1 Sismos.....	3
1.1.1 Tipos.....	3
1.1.2 Intensidades.....	4
1.1.3 Factores de importancia para evaluar riesgos ante sismos.....	4
1.1.4 Importancia de la evacuación durante un sismo.....	5
1.2 Características principales de los sistemas de alarma de evacuación edificios o viviendas.....	5
1.3 Importancia de señalización en las escaleras para la correcta evacuación en caso de sismo.....	6
1.4 Ahorro de energía.....	6
1.4.1 Utilización de dispositivos LED.....	6
1.4.2 Utilización de foto-resistencia para determinar la cantidad necesaria de iluminación.....	7
1.5 Marco problemático.....	7
1.5.1 Problemática.....	7
1.5.2 Declaración del marco problemático general.....	8
Capítulo 2: Tecnologías de iluminación y sensores de movimiento.....	9
2.1 Estado del arte.....	9
2.1.1 Sistemas que avisan mediante alarmas la ocurrencia de sismos.....	9
2.1.2 Sistemas de respaldo contra fallas del suministro eléctrico.....	10
2.1.3 Sistemas de iluminación.....	10
2.1.4 Iluminación inteligente.....	13
2.2 Modelo Teórico.....	14
2.3 Objetivos.....	15
2.3.1 Objetivo principal.....	15
2.3.2 Objetivos específicos.....	15
Capítulo 3: Diseño del sistema.....	16
3.1 Introducción.....	16
3.2 Diagrama de bloques.....	16

3.3	Hardware.....	16
3.3.1	Power LEDs.....	17
3.3.2	Alarma sonora.....	21
3.3.3	Sensores.....	22
3.3.4	Control.....	26
3.3.5	Alimentación.....	28
3.3.6	Adicionales.....	35
3.4	Software.....	37
3.4.1	Diagrama de flujo principal.....	37
3.4.2	Detección de falla de suministro y de horario.....	38
3.4.3	Configuración de sismo.....	38
3.4.4	Encendido de LEDs.....	39
3.4.5	Interrupciones.....	39
Capítulo 4: Simulación y resultados.....		41
4.1	Descripción.....	41
4.2	Simulación del hardware en Proteus v7.7.....	41
4.2.1	Simulación de la alimentación general.....	42
4.2.2	Simulación del circuito de carga.....	42
4.2.3	Simulación del circuito de control y potencia.....	43
4.3	Simulación del software en VMLAB.....	44
CONCLUSIONES.....		48
RECOMENDACIONES.....		49
BIBLIOGRAFÍA.....		50
ANEXOS.....		A
A.1	Circuito esquemático del diseño.....	A
A.2	Listado de precios de los componentes del diseño.....	B
A.3	Tipos de sismos.....	C
A.4	Escalas sísmicas y aceleración de la Tierra.....	G
A.5	Historia sísmica del Perú.....	I
A.6	Disposición de los power LEDs en el ambiente elegido.....	K
A.7	Circuito de determinación de intensidad luminosa.....	N

INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra en una de las zonas de mayor actividad sísmica en la Tierra, por lo cual está altamente expuesto a la ocurrencia de sismos y los daños que éstos conllevan, siendo el más serio, la pérdida de vidas. Esto hace necesario contar con sistemas que ayuden a las personas a sobrevivir a los posibles escenarios que se den, pues la prioridad siempre es el proteger la vida. Asimismo, es importante recalcar que en el contexto de la realidad peruana la informalidad está presente en varios niveles, uno de los cuales es el de la construcción. Esto se ve reflejado en edificaciones que no cumplen con todos los requisitos de seguridad.

Debido a esto, y como se verá más adelante, se puede afirmar que la gran mayoría de edificaciones en el Perú no están hechas como para soportar un sismo fuerte o incluso actividad sísmica constante, a diferencia de otros países que se encuentran en zonas de alto riesgo sísmico, en el que una prioridad de sus edificaciones es estar diseñadas pensando en este peligro, como Chile, México, Japón y Estados Unidos.

Es así que es notoria la necesidad de, no solo una mejora y concientización sobre estos temas, sino también el desarrollo de equipos y sistemas que mejoren las posibilidades de las personas de sobrevivir en un sismo. Es ahí donde un sistema de alerta para evacuación aparece como gran aporte. Y es que, en un sismo, no sólo es el miedo que puedan tener las personas que las pueda confundir, sino que el abastecimiento de energía puede ser interrumpido, cortando el suministro de luz, dejando sin iluminación al interior de edificio, incluyendo las salidas de emergencia.

Por lo mencionado anteriormente, la presente investigación plantea el desarrollo de un sistema de alerta que en caso de sismo, proporcione iluminación para una adecuada señalización hacia las vías de salida, así como un indicador por sonido que haga saber a personas que puedan encontrarse durmiendo de la ocurrencia de un movimiento telúrico. Para lograr esto se requiere un sistema que logre almacenar energía para funcionar sin dependencia del suministro de energía por más de una hora, cumpliendo con las normas establecidas. Es aquí donde está la importancia de la tecnología LED y en general de componentes que requieran un bajo consumo de corriente, pues permiten una mayor duración de la batería de respaldo.

Sin embargo, como se busca lograr un nivel de iluminación adecuado para una evacuación los power LEDs serán la parte del diseño que consuma la mayor parte de corriente (sin implicar que esta sea alta), siendo clave sus características en eficiencia.

En los últimos años, y ya desde antes del año 2000, los avances de la tecnología LED han sido numerosos y significativos. La tecnología en base a semiconductores en estado sólido, que vienen a ser los mencionados LEDs (Light-Emitting Diode) ha logrado aumentar su eficiencia y el tiempo de vida de sus dispositivos, logrando representar una opción bastante viable y a tomar en cuenta en comparación con sus predecesores en temas de iluminación.

Eso en lo que corresponde a la parte de salida del sistema, sin embargo tan importante como ella es la parte de entrada, en la cual se destaca la presencia del sensor que detecte la aceleración de la superficie causada por el sismo y de la indicación en tal caso. Para esto se cuenta con tecnologías de medición como acelerómetros, sensores piezo-eléctricos, entre otros.

En la última década, y al igual que con la tecnología LED, los avances en dispositivos sensores de movimiento también ha sido muy considerable, al punto que hoy la mayoría de equipos que usamos cuentan con estos elementos, como acelerómetros, o sensores piezo-eléctricos. Cada vez se logra una mayor precisión en la medida de estos componentes y su campo de aplicación también sigue aumentando.

Es así que la presente tesis, tiene el objetivo de lograr un sistema en base a un sensor de aceleración, para la detección de sismos, y a power LEDs, capaz no sólo de suplir la iluminación requerida, y con una mejor eficiencia, sino, además, que pueda actuar en caso de sismo como un sistema de señalización hacia rutas de escape, mientras a su vez, se haga sonar una alarma a fin de notificar a las personas que deben evacuar. Este sistema no sólo reducirá el consumo de energía, sino que, mucho más importante aún, ayudará a salvaguardar la vida de las personas en un movimiento telúrico.

CAPÍTULO 1

ALARMA AUTOMÁTICA PARA EVACUACIÓN

Las alarmas han sido usadas siempre en el campo de la seguridad, siendo fundamentales en los campos del hogar, industria y en general en alertar que está ocurriendo cierta actividad que debe ser tomada en consideración. En el presente capítulo se hará un breve análisis del uso de alarmas en sus distintos campos de aplicación haciendo énfasis en la detección de desastres, en este caso sismos; así como la importancia de que éstas se activen de manera automática.

1.1 Sismos

Los equipos de sistemas de detección y de registro de sismos, se centran en el análisis de las ondas generadas por el movimiento telúrico. Sin embargo, son varios los parámetros a tener en cuenta, que son considerados para sistemas de este tipo. En el presente documento se dará una revisión general a los aspectos más importantes a saber sobre sismos; para una revisión más al detalle ver el anexo 3.

1.1.1 Tipos:

Según el tipo de movimiento en la superficie y su sentido de propagación existen 4 tipos (ver figura 1.1), las cuales se dividen en 2 subgrupos más grandes: de cuerpo o de volumen y superficiales: ^[1]

a) De cuerpo:

Viajan en el interior de la capa terrestre. Se dividen en 2 tipos:

a.1) Ondas P: Son las primeras en ser registradas. Su sentido de propagación es longitudinal y los cuerpos perciben el movimiento en ese mismo sentido

a.2) Ondas S: Son las segundas en llegar y las que causan más daño. Generan un movimiento transversal a su propagación en los cuerpos.

b) Superficiales:

Viajan en la superficie de la capa terrestre. También se dividen en 2 tipos:

b.1) Ondas Love: Son de menor velocidad, pero de mayor duración y amplitud. Causan vibraciones circulares en la superficie

b.2) Ondas Rayleigh: Son las más lentas. Generan un movimiento elíptico en el suelo, causando la sensación de pérdida del equilibrio

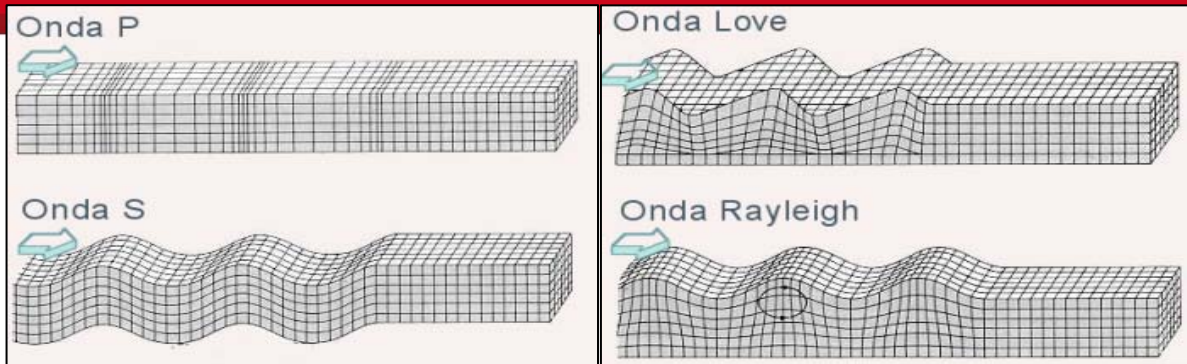


Figura 1.1: Tipos de ondas (Tomado de: [¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.](#))

1.1.2 Escalas:

Las escalas permiten categorizar a los sismos en grados, siendo las más conocidas las de Richter y la de Mercalli modificada. La primera considera la magnitud del sismo y la segunda se basa en la intensidad, y está referida a daños y pérdidas

- a. Richter: La escala de magnitud mide la cantidad de energía que se libera durante el sismo y se registra en a los sismógrafos.
- b. Mercalli: Se basa en medir el daño causado por el sismo, tanto al hombre como a edificaciones y cosas materiales en general. Esta medida es cualitativa.

Ambas escalas se encuentran descritas con más detalle en el anexo 4 y son comparadas con un parámetro muy importante para el desarrollo de la presente tesis, el cual es la PGA (peak ground acceleration), que es una medida de la aceleración del suelo, en este caso, causada por un sismo. La importancia de este parámetro radica en que es en estas medidas en las que se basan los sensores modernos para determinar la ocurrencia de un sismo pues hay valores establecidos por estudios, que distinguen a los sismos de otras fuentes de vibración y aceleración ^[2]. Entonces, éste valor será de gran importancia a la hora de desarrollar la lógica del sistema, así como para establecer el rango que debe captar el sensor. (Para más detalle ver anexo N°4)

1.1.3 Factores de importancia para evaluar riesgos ante sismos:

- El suelo del terreno
- El tipo de edificación
- La edad de las construcciones y su estado en general
- La señalización de rutas de escape y zonas de seguridad

1.1.4 La importancia de la evacuación durante un sismo:

Como es conocido, no se ha logrado aún un sistema o modelo capaz de predecir la ocurrencia, lugar o magnitud de un sismo a futuro, solo logran saber su intensidad y magnitud una vez que ocurre. Es por esto que es sumamente importante estar preparados ante esta eventualidad, siendo prioridad que las personas puedan salir seguras del lugar en el que se encuentren.

Es con esa finalidad que existen normas de seguridad y de evacuación, las cuales contemplan señalización mediante letreros y la designación de zonas seguras; sin embargo, al considerar más variables, entran posibles fallas en los sistemas del edificio, como la falla del sistema eléctrico, ante la cual, y considerando un escenario de noche, sería más difícil la evacuación, pudiendo causar la pérdida de vidas. Es así que un sistema de iluminación que pueda funcionar independientemente del suministro y que incluya una alarma para personas que, por algún motivo, no estén al tanto de la situación, lograría que las éstas puedan ser alertadas a tiempo y puedan evacuar.

1.2 Características principales de los sistema de alarma de evacuación para edificios o viviendas

Los sistemas de alarma para evacuación han representado una gran ayuda en la materia de salvar vidas en ocurrencias de desastres o siniestros. Los hay de varios tipos, siendo el más común la alarma contra incendios, la cual se puede observar en gran número de edificios, ya sea en su forma de palanca (activada manualmente), o de sensores que detecten humo o calor. Así como esta, tenemos otras, como son la de presencia de gases tóxicos, falla en algún área y, la que nos concierne, de detección de actividad sísmica, y en ella nos enfocaremos de aquí en adelante.

Las principales características de los sistemas de alarmas (no solo de sismos, sino en general) son el que cuentan con una sirena que emite una señal de alarma y una luz, de gran intensidad, que anuncian del peligro. Sin embargo, es importante resaltar que si bien todos contribuyen a proteger las vidas, son lo que detectan la ocurrencia de manera automática los más eficientes, pues no requieren que una persona, que está presente en ese momento, tenga que activar el sistema.

Para esto, se basan en sensores y circuitos de control que puedan percibir alguna señal de la naturaleza. En el caso de sismos, dicha señal es la captada por el movimiento generado por la actividad sísmica, la cual luego se procesa y se determina

la presencia o no del sismo. De esta forma, no es necesario que alguien de la alerta, sino que el sistema es capaz de detectar cuándo ocurre un movimiento telúrico

Con esto se define la funcionalidad y características del sistema, pero un aspecto muy importante a definir, es también la ubicación de dichos equipos, pues su función es guiar a las personas hacia las vías de escape. En el siguiente punto se hablará de la ubicación que se considera es vital señalar en estos casos: las escaleras.

1.3 Importancia de señalización en las escaleras para la correcta evacuación en caso de sismo.

En la actualidad, la expansión de las ciudades ya no es sólo horizontal, sino vertical. Entiéndase con esto que cada vez se apuesta más por la construcción de edificaciones con mayor cantidad de pisos. En edificaciones de 2 o 3 pisos se puede contar con escaleras, pero al subir el número de pisos, incrementa la necesidad de la ubicación de ascensores. Sin embargo, ante la eventualidad de un sismo, la única vía de escape para aquellos en pisos superiores son las escaleras, ahí radica la importancia de que éstas estén correctamente señalizadas. Más aún deben estar preparadas ante una eventual falla del suministro eléctrico, que puede darse en esos casos, pues de no ser así, las personas que accedan a las escaleras para la evacuación podrían amontonarse, lo cual, sumado con una mala iluminación, representa un gran peligro y atenta contra sus posibilidades de escape.

Por esto es que se decide ubicar este sistema en la zona de escaleras, para que esta zona pueda estar preparada adecuadamente, contando con un sistema de alarma visual y sonora, así como con la opción de trabajar de manera autónoma.

1.4 Ahorro de energía.

Éste es un tema muy importante en la actualidad pues por un tema de conciencia global se busca reducir el consumo de energía. Asimismo, un menor consumo de energía representa un menor gasto para la empresa/hogar. De la misma forma, el hecho de que el sistema funcione con poco consumo de energía, hace que su sistema de respaldo pueda durar más tiempo. Es así que se llega a la elección de tecnología LED y foto-resistencias, ambas se detallan a continuación:

1.4.1 Utilización de dispositivos LED:

Estos dispositivos son conocidos por consumir menos energía que aquellos convencionales, además de tener mayores intensidades y variedades de color,

motivos por los cuales han abarcado gran parte del mercado, llegando incluso a la industria de cámaras, televisores, entre otros. Es así, que al utilizar estos dispositivos, no sólo se logra un mejor nivel de iluminación y una mayor facilidad de trabajo debido a su tamaño, sino que además se contribuye al ahorro de energía

1.4.2 Utilización de foto-resistencia para determinar la intensidad luminosa:

Con esto se logra que el sistema, gracias a su etapa de control, pueda determinar el nivel necesario con que abastecer al ambiente, en el caso de su funcionalidad como alumbrado; y además el si es necesario usar la alarma visual en caso de sismo, pues, si al momento de detectar el movimiento telúrico se detecta que el ambiente se encuentra adecuadamente iluminado, ya sea por que el suministro eléctrico no haya fallado o porque sea de día y la luz natural esté iluminando el ambiente. En dichos casos, sólo se activaría la alarma sonora, evitando así, el activar las luces, cuando no sería necesario.

1.5 Marco Problemático.

La problemática que se busca solucionar con la presente tesis, comprende temas tanto de la idiosincrasia nacional, como de la ubicación geográfica del país.

Los principales focos de la problemática y las soluciones planteadas con este sistema son presentados y desarrollados a continuación:

1.5.1 Problemática:

a) El Perú es un país de gran actividad sísmica (círculo de fuego del pacífico):

Esto plantea el hecho de que el país estará en constante peligro de presentar actividad sísmica, requiriendo alerta constante y un adecuado sistema de prevención.

En las últimas décadas el Perú ha registrado sismos de gran magnitud, por lo que es importante cualquier medida para contribuir a salvaguardar vidas. (ver anexo N°5)

b) Gran informalidad en las edificaciones:

Lamentablemente en el Perú existe una gran informalidad en la construcción de viviendas e incluso de algunas edificaciones para otros fines. Esto debido a que buscan menores costos; sin embargo, con esto se pone en peligro la vida de las personas que habitarían dicho edificio o vivienda, pues la construcción no contaría con las normas necesarias para garantizar la seguridad de los habitantes ni tendría las disposiciones que la norma indica de deban tener (ubicación de espacios adecuada,

señalizaciones, etc.). Es por esto que ante un eventual sismo, las edificaciones no resistirían mucho tiempo, haciendo vital una rápida evacuación de los habitantes. [3]

c) Falta de conciencia y educación sobre cómo actuar en casos de desastres:

Ante la ocurrencia de un sismo, hay pasos recomendados a seguir de manera que todos puedan realizar una adecuada y exitosa evacuación y se realizan simulacros para entrenar en esos aspectos; sin embargo, al momento que ocurre uno, la mayoría de personas simplemente se olvida de esto y busca salir por cualquier medio. Esto genera un gran desorden al momento de la evacuación, lo aumenta las posibilidades de que ocurren accidentes graves y/o muertes.

d) No se predicen los sismos:

Los sismos, como fenómeno natural que son, aun no son predecibles, esto es, no se sabe a ciencia cierta cuándo puede ocurrir uno, lo cual los hace mucho más peligrosos aún. Esto hace que los esfuerzos deban concentrarse en la previsión, con edificaciones adecuadas y seguras bajo las normas y reglamentos; y en la evacuación de las personas, es decir, hacer que el proceso de evacuar les sea fácil y que sea dinámico, pues cada segundo cuenta.

1.5.2 Declaración del marco problemático general:

En la actualidad, y en la realidad peruana e internacional, un sistema que permita ayudar en la evacuación significa un gran aporte en la materia de salvar vidas. Y mientras más funcionalidades presente el sistema, mayor será su contribución. Es así que la implementación de un sistema con alimentación propia que pueda funcionar de manera independiente en caso de fallas del suministro, así como el hecho de que el sistema no requiera de una activación manual, resultan muy importantes y le dan un valor agregado. Junto a esto se busca que se consuma poca energía de modo que el tiempo de funcionamiento bajo el sistema de respaldo sea mayor y que además se contribuya con la tendencia de “tecnologías verdes”.

Todos estos puntos son relevantes para la elaboración de un sistema con las características requeridas que represente una ayuda significativa para las personas, y son esos mismos puntos los que se buscarán solucionar con la siguiente tesis.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN Y SENSORES DE MOVIMIENTO

2.1. Estado del arte:

Sobre sistemas de iluminación para evacuación en caso de sismo no hay dispositivos en el mercado que combinen todas las funcionalidades presentadas; sin embargo, existen varios dispositivos individuales que cuentan con características similares.

2.1.1 Sistemas que avisan mediante alarmas la ocurrencia de sismos:

Son sistemas en base a acelerómetros, geófonos o sensores piezoeléctricos, que detectan el movimiento causado por las ondas sísmicas y las vibraciones, y activan un circuito el cual emite una alarma sonora, la cual alerta a las personas al interior de la vivienda o edificio que deben salir. Un ejemplo se ve en la figura 2.1.



Figura 2.1: Alarma de sismo (Tomado de www.quakealarm.com)

Su funcionamiento se basa en la capacidad de los dispositivos de relacionar la intensidad del movimiento con la generación de un potencial. En el caso particular de la detección de sismos, su funcionamiento radica en que los sismos, generan un movimiento de la superficie, del cual se usa la velocidad o aceleración para generar una señal eléctrica, la cual depende directamente del movimiento o aceleración ^[4]. Los sensores más comunes (ver figura 2.2) y se explican brevemente a continuación:

a) Acelerómetro piezoeléctrico:

Contienen un cristal, el cual es estresado por la fuerza generada por el movimiento de la superficie, esto genera un potencial eléctrico proporcional a la fuerza aplicada, y como la relación de fuerza y aceleración es lineal (segunda ley de Newton), este voltaje será, también proporcional a la aceleración

b) Geófonos: Tienen una bobina que cuelga de un muelle en el centro de algunos imanes. Cuando el estuche se mueve hacia arriba y hacia abajo la masa magnética se fija e induce pequeñas corrientes en la bobina que se mueve a través del campo magnético. En función a esto miden la velocidad de movimiento.

c) Sensores piezoeléctricos: Cuentan con cristales o dispositivos cerámicos que generan voltajes al ser sometidos a una fuerza, como la aplicada en un movimiento de la superficie en la que se encuentran



Figura 2.2: Distintos sensores usados en el mercado para la detección de movimiento. (Modificado de catálogos de Sensing y OFS.CO)

2.1.2 Sistemas de iluminación en caso de fallas del suministro eléctrico:

Son sistemas basados en baterías y su principio es que al detectar una falla en el sistema de suministro eléctrico, conmutan a una batería, que ha sido cargada por la alimentación mientras esta funcionaba. Es por su este funcionamiento que tienen un tiempo fijo de duración, el cual es determinado por la capacidad de almacenamiento de la batería y del consumo de los componentes. En la figura 2.3 se ve un ejemplo.



Figura2.3. Sistema de respaldo (Tomado de catálogo Teknosolar)

2.1.3 Sistemas de iluminación:

2.1.3.1 Lámparas fluorescentes

Son de vida útil muy larga y no se calientan mucho, favoreciendo al ambiente en que se va a colocar. Sin embargo, el hecho de que sean luces de una relativa baja intensidad, limitan el campo de aplicación de las mismas. Los tipos más comunes son:

compactas (de 8, 11, 15, 20 y 25 W), estándar (de 18, 36, 58 y 70 W), miniatura (de 4, 6, 8 y 13 W), entre otras. Su rendimiento es regularmente de entre 50 a 90 lm/W.

2.1.3.2 Lámparas incandescentes

Estos dispositivos se basan en el paso de la corriente eléctrica por una bobina de alambre colocada en un bulbo de vidrio que contiene algún gas o al vacío. Su rendimiento es bajo ya que la mayor parte de la energía consumida se transforma en calor. Los tipos más comunes son: estándar (de 15, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 200 y 300W), reflectoras (de entre 40 y 150 W), halógenas (de entre 70 W hasta 2000W), entre otras. Su eficiencia luminosa solo de entre 10 a 20 lm/W

2.1.3.3 Lámparas de descarga

Tienen una eficiencia de algo más de 80lm/W. Son de dos tipos:

a) Lámparas de vapor de mercurio:

La emisión de radiaciones luminosas se debe a la excitación de mercurio en tubos de descarga. Sus tipos más comunes son las lámparas de mercurio de alta presión, lámparas de halogenuros metálicos, entre otras.

b) Lámparas de vapor de sodio:

La producción de luz se efectúa como consecuencia de la excitación de átomos de sodio contenidos en el tubo de descarga. Sus tipos más comunes son las lámparas de vapor de sodio de baja presión, lámparas de vapor de sodio de alta, entre otras

Las distintas tecnologías de iluminación se pueden ver en la figura 2.4



Figura 2.4: Distintas tecnologías de iluminación

2.1.3.4 LEDs

Representan un gran avance en la tecnología de la iluminación, debido a que son de menor tamaño, consumen menos energía, tienen buen nivel de intensidad, con una alta eficiencia (más de 90 lm/W), y pueden lograr una gran variedad de colores con combinaciones de las intensidades de sus colores básicos (Rojo, azul y verde), además del blanco. (Lara, 2009) ^[5]

a) Funcionamiento:

Se basa en una propiedad de los semiconductores, por la cual, cuando un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía, la cual se manifiesta en la forma de la pérdida de un fotón. La ocurrencia de este hecho depende directamente del material semiconductor. Sus partes se ven en la figura 2.5.

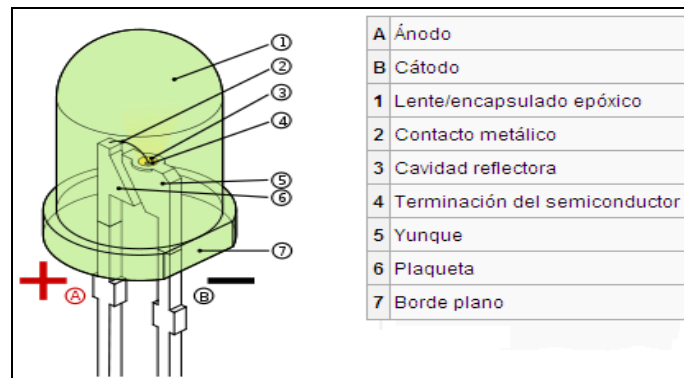


Figura 2.5: Partes del diodo LED (Tomado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Led>)

b) Potencia e iluminación

En sus versiones más comerciales las potencias comunes son en el orden desde los 30 hasta algunas centenas de mW. Sin embargo, su característica más importante no es esa, sino es la eficiencia luminosa, esto es la cantidad lúmenes por watt que brinda el dispositivo. En el caso de los LEDs, su valor es mayor a 90lm/W. Su uso es vasto, debido a la poca corriente que consumen, sin embargo, no se comparan a los niveles de iluminación de las otras tecnologías. Por ellos surgieron los llamados power LEDs.

c) Power LEDs

Son dispositivos capaces de soportar desde pocos mA hasta 5 o 6 A. Con esto queda claro que son de mayor potencia, sin embargo, no tanto como las demás tecnologías, pero su eficiencia es de hasta 140 lm/W, la más alta de todas. Éstos power LEDs son capaces de generar miles de lúmenes, como varias de las otras tecnologías de mayor potencia, pero con una significativa reducción del espacio y corriente utilizados.

d) Ventajas

- Reducen el consumo de energía a aproximadamente 1/10
- No son fuentes de calor como los dispositivos tradicionales de iluminación
- Son fáciles de incorporar a circuitos, pues son de pequeño tamaño
- Permiten el diseño de equipos de iluminación más prácticos y eficientes.

- Tienen un mayor tiempo de vida, de hasta 100000 horas
- Requieren poco mantenimiento

2.1.4 Iluminación Inteligente

Los sistemas inteligentes de iluminación se basan en minimizar el consumo de energía, no usando la iluminación cuando se considere que hay suficiente intensidad de luz en el ambiente, ya sea por efecto de la luz natural o por algún otro factor. Este objetivo se logra gracias a las fotorresistencias (ver figura 2.6), que logran variar su valor de acuerdo al nivel de luz que perciben.

Dichas foto-resistencias, están hechas a base de semiconductores de alta resistencia como el sulfuro de Cadmio, y se basan en el principio que cuando se perciben fotones debido a percepción de luz, éstos son absorbidos por el semiconductor, liberando electrones, cuyo espacio permitirá mejor conducción, disminuyendo la resistencia. Caso contrario, cuando no perciben mucha luz su resistencia aumenta.

Los valores extremos comerciales son, $1\text{M}\Omega$ para cuando hay menor nivel de iluminación y de 100Ω para un ambiente muy iluminado.



Figura 2.6: LDR (Tomado de la hoja de datos del LDR 3190, SUNROM)

Para determinar los niveles adecuados de iluminación se usa el concepto de Lux, que se define como Lumen por área cuadrada, donde lumen es el flujo luminoso, y representa la unidad de potencia luminosa percibida por el ojo humano.

Hay valores ya establecidos de niveles adecuados para distintos ambientes y áreas de trabajo. Con estos valores se puede realizar el circuito de control que mantenga el nivel de iluminación en un determinado ambiente, ahorrando significativamente el consumo de energía, pues no sólo no se gasta innecesariamente, sino que no se realiza el encendido y apagado de los interruptores, lo cual también genera consumo, ya que se determina cuándo encender una luz o cuando no dependiendo si el ambiente ya está correctamente iluminado. Es así que estos sistemas son cada vez más requeridos, pues significan un ahorro importante de capital

Como se ve, los dispositivos existen por separado, y es juntando las características de éstos que se logra un sistema más completo y robusto, que es lo que se buscará con la presente tesis, además de otras características que se verán al detalle más adelante

2.2. Modelo Teórico

Al realizar cualquier tipo de diseño, siempre se debe tener en cuenta el objetivo que el producto busca solucionar y los parámetros a lograr para conseguir dicho propósito. En este caso, se busca un sistema que cumpla con las normas de seguridad (que se detallarán más adelante) establecidas por el ente correspondiente, en este caso el Ministerio de vivienda, y que además cumpla con ciertas especificaciones tales como un bajo consumo de energía, contar con un tamaño práctico para su manejo, entre otros. Todo esto siempre de lado junto con la adecuada funcionalidad del mismo.

Lo primero que se busca es elegir el tipo de iluminación a usar para hacer que el dispositivo cumpla con las expectativas de alumbrado (ver capítulo 3) y de ahorro de energía. Es en base a esto que se opta por el uso de los power LEDs, pues significan un dispositivo de gran eficiencia, ya que logran mantener su nivel de funcionamiento y a la vez reducir la energía consumida, con muy buen nivel de iluminación, de bajo costo y de tamaño práctico para implementar en distintos tipos de dispositivos.

A la par con la importancia de la elección del elemento de iluminación está la elección del sensor que detectará la señal originada por la ocurrencia de un sismo. Para esto se cuenta con una gran variedad de dispositivos que cumplen con los requerimientos, sin embargo se emplearán otros factores para discernir entre esta variedad, como precio, tamaño, sensibilidad, y tipo de señal con la que trabajan; es así que se nota que son los acelerómetros los que se adaptan mejor a lo que busca este sistema (ver capítulo 3), pues son de bajo costo, práctico tamaño y tienen la ventaja de trabajar tanto con salidas analógicas como digitales.

Para la realización de esta tesis se probará la señal que llegue al micro-controlador proveniente del sensor, al ser simulada con una señal como la generada por el sensor elegido. Asimismo, para la funcionalidad de la foto-resistencia y de la función automática, se realizarán pruebas en las que se verifique su adecuado funcionamiento, dadas las condiciones en las que se requiere que trabajen.

Finalmente, para el control de estas señales, se usará un circuito a base de un micro-controlador, y se utilizarán programas adecuados para determinar las funciones y tareas del mismo. Todo lo anterior tiene como finalidad el comprobar el adecuado funcionamiento del sistema, corroborando su labor en cada una de las condiciones en

las que está diseñado para funcionar. Es así que se busca garantizar su efectividad, pues equipos orientados a situaciones como esta deben estar 100% comprobados.

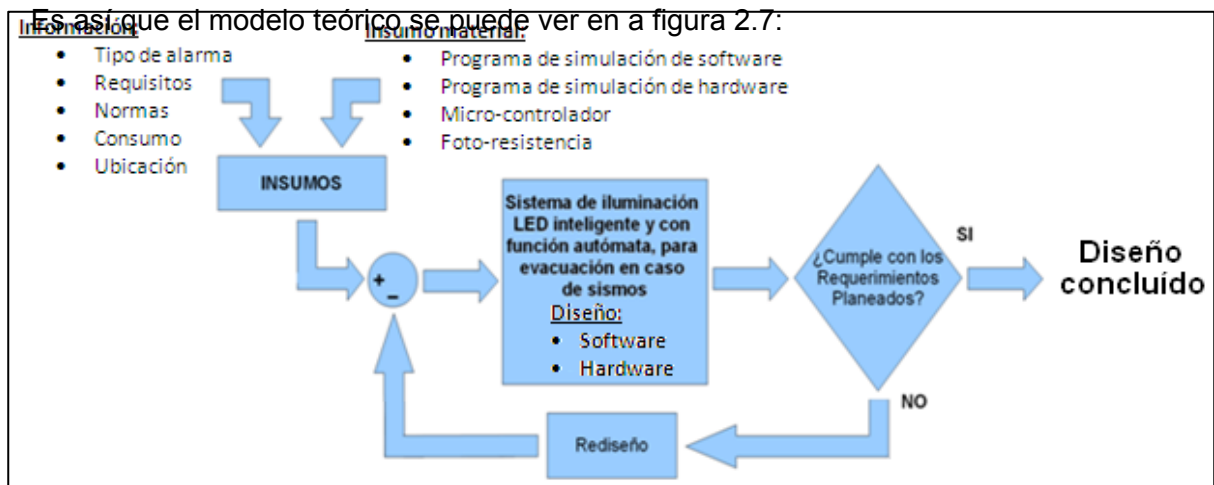


Figura 2.7: Modelo Teórico

2.3. Objetivos

Como la finalidad de la presente tesis es el diseño de un sistema, éste representa el objetivo principal, y los objetivos específicos estarán enfocados a cumplir con los requerimientos de las distintas etapas del sistema planteado.

2.4.1 Objetivo Principal:

Desarrollo de un sistema capaz de detectar actividad sísmica a fin de alertar a las personas con una alarma así como ayudarlas a evacuar, guiándolas hacia las salidas mediante señalización luminosa, pudiendo funcionar de manera automática ante una eventual falla en el suministro eléctrico.

2.4.2 Objetivos específicos:

- Elegir un sensor que pueda detectar la presencia de sismos con un rango mínimo de +/- 0.5g (ver capítulo 3); y un sensor que permita determinar la intensidad de la luz en un ambiente.
- Diseñar un circuito de acondicionamiento para las señales provenientes de los sensores, para que puedan ser procesadas por el micro-controlador.
- Diseñar un sistema de control, a base de un micro-controlador, que permita analizar los valores obtenidos y en base a ellos controlar el circuito de potencia.
- Diseñar un sistema de alarma sonora y luminosa que tengan un circuito de excitación que reciba la señal del sistema de control y active su funcionamiento cuando la lógica planteada así lo indique.

- Diseñar un sistema de alimentación para a los distintos bloques del conjunto, que cuente con un dispositivo que le permita alimentar al sistema con una batería, con su propio cargador, si se detecta alguna falla del suministro.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan los circuitos y la lógica de control del sistema de detección de sismos, a base de un acelerómetro, y de las alarmas (sonora y visual), a base de un piezo-sounder y power LEDs. Para cada uno de los circuitos se indican las alternativas de solución analizadas, así como los criterios usados para la discriminación de los mismos y la posterior elección final de la solución a tomar.

3.2 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques del sistema se ve en la figura 3.1 y denota claramente los bloques específicos del conjunto

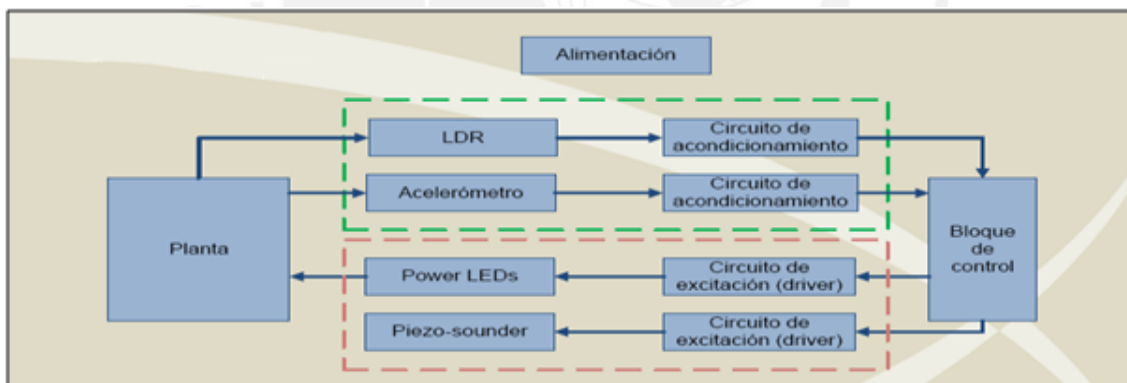


Figura3.1: Diagrama de bloques del sistema

Este diagrama de bloques se puede separar en dos partes:

- Hardware: Se contempla los circuitos de cada bloque del sistema
- Software: Se considera la lógica de control implementada en el micro-controlador.

3.3 HARDWARE

Como se puede ver en la figura 3.1, el diagrama consta de 4 grandes bloques, cada uno representa un objetivo específico a cumplir (al diseñar sus circuitos) para lograr el objetivo principal de la tesis.

A continuación se describirán las opciones de solución evaluadas para cada una de los bloques, así como los criterios de discriminación usados, llegando a la elección final de los componentes.

3.3.1 Power LEDs

Los power LEDs se caracterizan por ofrecer una mayor eficiencia en lm/W , esto es, que pueden ofrecer un mayor nivel de iluminación con una menor potencia consumida. Es así que estos LEDs tienen corriente de conducción desde los miliamperios hasta valores de 2 o 3 amperios, y un voltaje de conducción entre ánodo y cátodo (V_f =forward voltaje) de entre 2.5 y 10 voltios.

Para el presente diseño, se deben cumplir con una serie de requerimientos como se verá en los puntos a) y b), siendo uno de ellos el que consuma poca energía pues el circuito está pensado para poder, en casos de emergencia, ser alimentado por una batería, es así que la alta eficiencia luminosa (lm/W) de los power LEDs, como se vio en el capítulo 2, los presenta como la mejor opción. Además, se tomarán los demás requerimientos como criterios para discernir entre los diferentes modelos del mercado.

Sumado a esto está el circuito de accionamiento de los power LEDs, el cual recibirá la señal de control del micro-controlador y la adaptará de forma que la alimentación le llegue a la fuente de corriente continua que alimentará a los power LEDs. Es así que tanto los power LEDs como su correspondiente circuito excitador tienen sus requerimientos, los cuales se verán a continuación:

a) Power LEDs:

- Llegar a un nivel de iluminación como los equipos modernos ($500 - 1000 \text{ lm}$)^[6] y una iluminación en la zona inicial del tramo de evacuación de 10 luxes y no menos de 1 lux en cualquier punto medido de dicho tramo^[7]
- Que su corriente no sea muy alta, pues el sistema, en su funcionamiento con batería, debe tener una autonomía de por lo menos 1 hora (norma A.130)^[7]
- Que el V_f total pueda ser suministrado por una fuente de 9V, considerando los voltajes de dropout y de referencia de los elementos del circuito excitador.

Con lo cual se llegó a los siguientes modelos, que se comparan en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Tabla comparativa de modelos de power LEDs

Parámetro	Cree Xlamp XM-L		Cree Xlamp XP-G
Vf / Corriente de conducción	3.1V/1.4A	3.03V/1.25A	3.4V/1.3A
Lumens	500	467	417
Número a usar	2	2	2
Vf total / I total	6.2V/1.4A	6.06V/1.25A	6.8V/1.3A
Lumens totales	1000	934	834

Elaboración propia

De la tabla 3.1, se puede ver que la opción más viable es la de usar los de la serie XM (ver figura 3.2), pues requieren una corriente de 1.25A para brindar más de 900 lms y con un Vf de 6.06V. Es importante pues, dado que $1\text{lux} = 1\text{lm}/\text{m}^2$, y para el área de las escaleras del V, y 934 lm, se dan 41.18 lx para el tramo inicial y 8.51 lx para el área (escalón) más lejana, cumpliendo con el requisito. Para mejor detalle, ver el anexo N°6

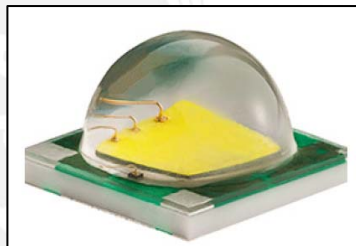


Figura 3.2: Cree XLAMP XM-L (Tomado de la hoja de datos, CREE)

b) Circuito excitador:

- Poder suministrar la corriente que requieran los power LEDs
- Tener una respuesta rápida de conmutación, para la señal proveniente de micro-controlador

Para la fuente de corriente, se pueden usar varios dispositivos, como transistores con voltajes fijados por zeners, donde la I_c sería la I_{carga} , o también circuitos integrados, diseñados para estas aplicaciones. Por una simplicidad de diseño y por ser circuitos enfocados a estas aplicaciones se opta por usar los integrados de la familia LM. Estos mantienen un voltaje fijo (generalmente 1.25V) entre su pin Vo y el pin ADJ, de tal forma que al colocar una resistencia entre ellos se genera una corriente constante, la

cual irá a la carga. Para ello se toma en cuenta que la corriente I_{ADJ} es despreciable por ser del orden de los microamperios. Esto se ve más claro en la figura 3.3.

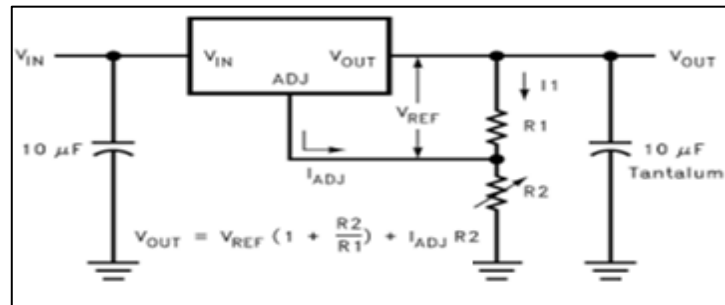


Figura 3.3: Circuito del LM (Modificado de la hoja de datos del LM1085, National Semiconductor)

Los cálculos para los parámetros del LM son los siguientes:

$$V_{out\ mínimo} = V_{ref} + V_f\ total \tag{ec. 3.1}$$

$$I_{in\ mínima} = I_{out} + I_{ADJ} + I_q \tag{ec. 3.2}$$

$$V_{in\ mínimo} = V_{out\ mínimo} + V_{dropout} \tag{ec. 3.3}$$

De la ecuación 3.1 y la 3.3 se puede notar que hay 2 voltajes que se deben sumar al de los power LEDs para saber cual es valor que debe tener como mínimo el LM a la entrada. Con la ecuación 3.2 se determina la corriente que debe poder soportar el LM así como la que se va a consumir. De estas fórmulas, y reemplazando, a) los valores definidos por los LEDs: $V_{f\ total} = 6.06V$, $I_{LEDs} = 1.25A$ tenemos, b) los valores típicos de la familia LM: $V_{ref} = 1.25V$, I_{ADJ} de orden de los μA (despreciable) e $I_q \approx 10mA$, c) el dato de la alimentación: $V_{in} = 9V$; tenemos:

$$V_{out\ mínimo} = 1.25V + 6.06V = 7.31V \tag{ec. 3.4}$$

$$I_{in\ mínima} = 1.25A + 0.01A = 1.26A \tag{ec. 3.5}$$

$$V_{dropout} \leq 9V - 7.31 = 1.69V \tag{ec. 3.6}$$

Con esto se encontró el LM1085, cuyas características se ven en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Parámetros del LM1085

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$(V_{in}-V_{out})\ máximo$	29V	$V_{dropout}\ @\ 1.25A$	1.05V

V_{out}	1.2V – 15V	I_{ADJ} máxima	120 μ A
$I_{límite\ mínima}$	3.2 ^a	I_q máxima	10mA

Elaboración propia

Entonces, como la corriente que se requiere en los LEDs es de 1.25A, se tiene:

$$R = \frac{V_{ref}}{1.25A} \tag{ec. 3.7}$$

$$P_R(W) = I^2 * R = 1.25^2 * R = 1.56 * R \tag{ec. 3.8}$$

De la ecuación 3.8 se obtiene que $R = 1\Omega$, con lo que de la ecuación 3.9 se tiene que la potencia en la resistencia será de 1.56W, entonces se usará una de 3W (seguridad). Con eso se tiene la fuente de corriente, pero el circuito del excitador consiste, además, de una etapa de transistores en corte y saturación los cuales tienen como finalidad el conmutar cuando la señal de PWM del micro-controlador esté en alta, habilitando la alimentación al LM y encendiendo los LEDs.

Para esto se cuenta con 2 transistores, el 2N3904, elegido por ser uno de los más comunes del mercado, así como por el hecho de ya haber trabajado con él; y el FMMT717, elegido por su capacidad de soportar mayores corrientes de base (hasta 500mA) y de colector (hasta 2.5A), pues éste es el que proporcionará la corriente a la entrada del LM, pero principalmente por su bajo voltaje $V_{CE\ SAT}$, pues éste influye, reduciendo un poco el nivel de 9V que viene de la alimentación, haciendo crítico el valor de $V_{dropout}$. Entonces, a la ecuación 3.6, se agrega este $V_{CE\ SAT}$:

$$V_{dropout} \leq (9V - V_{CE\ SAT}) \tag{ec. 3.9}$$

De la hoja de datos del FMMT717 se obtiene que a 1.25A y con $I_C/I_E = 50$, el $V_{CE\ SAT}$ es 200mV, con lo que queda que el $V_{dropout}$ debe ser menor a 1.49V, y como el del LM1085 cumple con este requisito se confirma su elección. Así, el circuito esquemático se ve en la figura 3.4, y a continuación se justifican los valores.

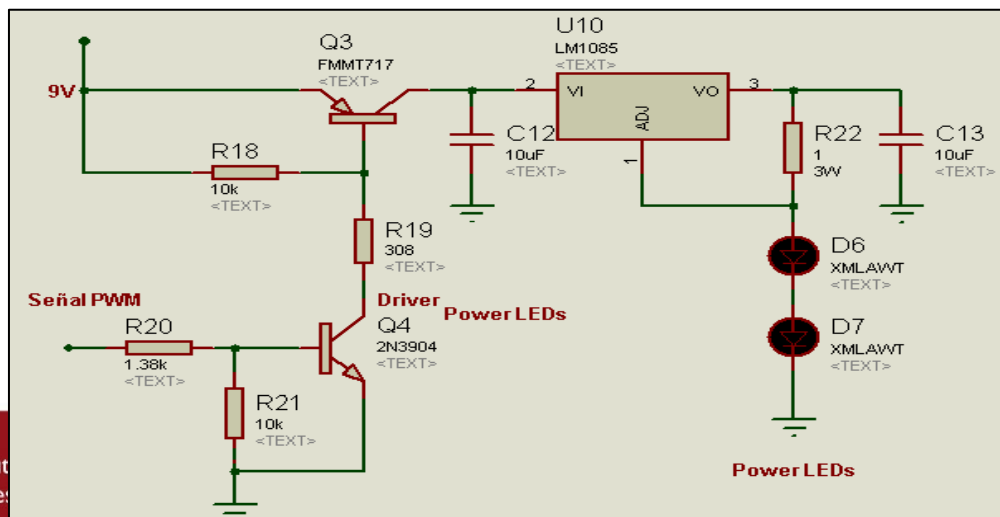


Figura 3.4: Circuito de los power LEDs

Los valores de las resistencias del circuito excitador se deben a que se busca trabajar en corte y saturación, entonces:

$$I_{B\text{ FMMT717}} = \frac{I_C}{50} = I_{C\text{ 2N3904}} - I_{R10K} \quad (\text{ec.3.10})$$

Donde, I_{R10K} es la corriente de la resistencia de 10K usada para asegurar el corte y saturación del FMMT717, que, al ser la caída en el diodo de 1V, es 0.1mA. Entonces $I_{C\text{ 2N3904}} = 25.3\text{mA}$. Para el 2N3904 se tiene que $V_{CE\text{ SAT}} = 0.2\text{V}$ y $V_{BE\text{ SAT}} = 0.7\text{V}$ e $\frac{I_C}{I_B} = 10$, con esto se obtienen las ecuaciones para su saturación:

$$R_{\text{colector}} = \frac{8\text{V} - 0.2\text{V}}{25.3\text{mA}} = 308.3\Omega \approx 308\Omega \quad (\text{ec.3.11})$$

$$R_{\text{base}} = \frac{4.2\text{V} - 0.7\text{V}}{2.53\text{mA}} = 1.383\text{k}\Omega \approx 1.38\text{k}\Omega \quad (\text{ec.3.12})$$

3.3.2 Alarma sonora

La alarma sonora será activada por el micro-controlador cuando se detecte la ocurrencia de un sismo. Éste enviará una señal hacia el circuito de alarma. Esta etapa consta de pocos componentes, pero se busca cumplir con los siguientes requisitos:

- Lograr una intensidad sonora que sea fácilmente perceptible
- Que la alarma no consuma mucha corriente (función autómata)
- Tener una alimentación de 5V, 9V o 12V
- Definir 2 intensidades de tono para diferenciar las intensidades de sismo (leve o fuerte)

En base a eso, en la tabla 3.3 se consideran las siguientes alternativas:

Tabla 3.3: Comparación de distintas alternativas de sirena

Parámetro	Buzzer	Speaker	Piezo-eléctrico
-----------	--------	---------	-----------------

$V_{nominal}$	12 V	12 V	9V
$I_{consumida}$	20mA – 40mA	30mA – 50mA	5mA – 15mA
Intensidad	85 dB – 90 dB	90 dB – 105 dB	80db – 95 dB

Elaboración propia

De lo que se ve, el más eficiente es el piezo-eléctrico, pues se ha encontrado uno que a su voltaje nominal de 9V consume 5mA, de la marca Bestar. Además al trabajar a 9V, se alimenta directamente del regulador, ya que en caso de ser alimentada por la batería habría el problema de que ésta va reduciendo su voltaje en el tiempo.

Entonces el circuito queda como se ve en la figura 3.5:

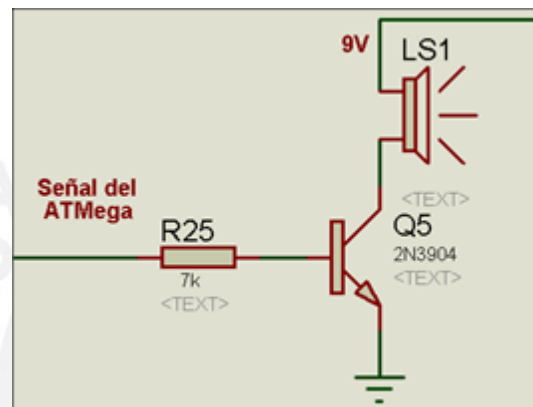


Figura 3.5: Circuito de alarma sonora

En donde R25 es la resistencia adecuada para que la I_b sature al transistor. Como la corriente en la sirena es de 5mA, en la base debe 0.5mA, entonces:

$$R_{base} = \frac{V_{high} - V_{BE SAT}}{I_b} = \frac{4.2V - 0.7V}{0.5mA} = 7k\Omega \tag{ec.3.13}$$

3.3.3 Sensores

En la etapa de los sensores se cuenta con dos circuitos, cada uno de ellos se encargará de la conversión de dos parámetros físicos distintos: la etapa del detector de ocurrencia de sismos cuenta con un sensor que convierte la aceleración de la superficie, causada por un movimiento telúrico, en señal eléctrica; y la etapa del detector de nivel intensidad luminosa cuenta con un sensor que permite convertir dicho nivel en una señal eléctrica. Teniendo en cuenta esto, es importante resaltar que si bien ambos circuitos funcionan por separado, los dos llevan sus salidas al microprocesador para que éste evalúe las señales usando su lógica programada. Entonces

los circuitos que se verán a continuación fijarán los requerimientos del microprocesador y eventualmente servirán como criterios de selección.

Como se mencionó son 2 circuitos de sensores, éstos se describen a continuación:

a) Sensor para la detección de ocurrencia de sismos

Este sensor debe poder medir el movimiento o la aceleración causada en la superficie por un sismo. Además, debe evaluarse si la señal necesita ser adaptada antes de ir al micro-controlador. Entonces, se tienen los siguientes requerimientos para este circuito:

- Captar el movimiento o aceleración de la superficie, generado por un sismo
- Medir niveles de rangos mínimo a 0.5g aceleración y en un mínimo de 2 ejes
- Considerar su tipo de salida
- Debe quedar claro que no se busca calcular la magnitud del sismo, sino alertar ante la presencia de uno que genere un valor de aceleración establecido.

Se presentan varias alternativas de solución en la tabla 3.4:

Tabla 3.4: Distintos sensores de movimiento/aceleración

Parámetro	ADXL213	ADXL203	Geophone	Sensor Piezoeléctrico
Ejes	2 ejes	2 ejes	3 ejes	2 o 3 ejes
Rango	+/- 1.2g	+/- 1.7g	Hasta 254 mm/s	+/- 2g
VCC	5 V	5 V	12 V	10 V – 24 V
Salida	Digital	Analógica	Analógica	Analógica
Precio	US\$19.75	US\$20.75	US\$20.00	US\$49.00

Elaboración propia

Se puede ver que el geophone tiene su rango expresado en otras unidades (velocidad); no obstante su mayor ventaja es que está específicamente hecho para aplicaciones de estudio o medición de sismos; sin embargo, como se mencionó antes, el objetivo de la presente tesis no es medir la magnitud del sismo como un sismógrafo, sino emitir una alarma de evacuación cuando se trate de uno de intensidad considerable (calculable en base a la aceleración del suelo que produzca) basándose en que las ondas P y S pueden ser detectadas a penas se esté iniciando el sismo.

Por otro lado, si bien, tanto el geophone como el sensor piezo-eléctrico miden en los 3 ejes, esto no es un requisito, pues con detectar el movimiento/aceleración en 2 ejes es suficiente para determinar adecuadamente la presencia de un sismo. Además ambos pueden descartarse por su alto V_{CC} y el piezo-eléctrico también por su precio.

Otro factor importante es que en el mercado actual, los sensores que más se usan para estas aplicaciones con sensores de movimiento, aceleración, cálculo de posición, etc., son los acelerómetros. Un ejemplo de su gran desarrollo es el boom de los llamados juegos de movimiento en los cuales se detecta el movimiento del jugador. Esta tecnología está basada en acelerómetros.

Finalmente hay un parámetro que diferencia a uno del resto y que se usará como criterio principal para la elección del sensor, y es que el ADXL213 tiene salida digital (ver figura 3.6), en forma de PWM, con un ciclo de trabajo en función a la aceleración. Con esto la señal que emita puede ser enviada directamente al micro-controlador.

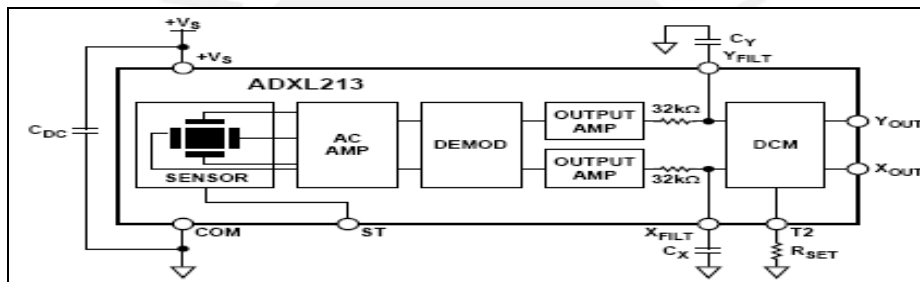


Figura 3.6: Diagrama del ADXL213 (Tomado de la hoja de datos del ADXL213, Analog Devices)

En el pin T2 se conecta la resistencia que define la frecuencia de la onda PWM generada. Se toma el valor recomendado por el fabricante, el cual es $125k\Omega$, que da una frecuencia de 1kHz. De la misma forma el fabricante recomienda colocar un condensador de 0.1 μF entre los pines COM y Vs. Con eso se busca desacoplar el acelerómetro del ruido en la fuente de alimentación. El pin ST (auto-prueba o self-test) puede ser dejado al aire o conectado a COM. En este diseño se le considera al aire.

Finalmente, los capacitores C_x y C_y determinan el ancho de banda para un filtro pasa bajos, el cual no solo limitará la frecuencia sino que servirá como antialiasing y para reducción de ruido. La tabla 3.5 es proporcionada por el fabricante y sirve para determinar el valor de los capacitores según el ancho de banda requerido.

Tabla 3.5: Selección de los capacitores filtro

Bandwidth (Hz)	Capacitor (μF)
1	4.7
10	0.47
50	0.10
100	0.05
200	0.027
500	0.01

(Tomado de la hoja de datos del ADXL213, Analog Devices)

Las frecuencias de las ondas de sismo no son muy grandes, puesto que éstos viajan a grandes velocidades. Los valores típicos de las frecuencias son de entre 0.1Hz y 10Hz para sismos perceptibles (mayores a 2 grados en la escala de Richter) [8]. Es así que filtrando frecuencias mayores se pueden descartar movimientos producidos, por ejemplo por maquinaria pesada, que se encuentran en valores más altos (más de 1kHz). Es así que para tener un rango amplio de frecuencias y comparando respuestas en frecuencia de varias aplicaciones [9] [10] se opta por 200Hz, con lo que los capacitores serian de $0.027 \mu F = 27nF$. Con estos valores, se tendría un ruido (de hoja de datos) menor a 3mg, el cual es aceptable. El circuito se ve en la figura 3.7.

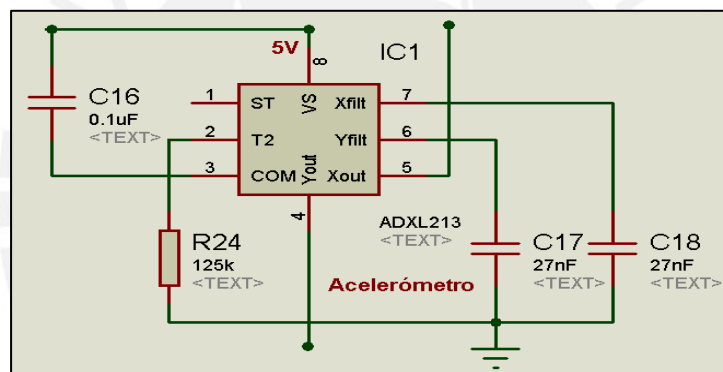


Figura 3.7: Circuito del acelerómetro

b) Sensor para la medición de la intensidad de la luz:

Para la detección del nivel, la tecnología más común y accesible es la de los LDR, que son resistencias que varían su valor de acuerdo al nivel de luz que perciben en el ambiente. Este circuito requiere una adaptación de la señal para enviarla al micro-procesador. Sin embargo, se va a considerar como un requisito más del mismo el tener un canal de conversión AD para la señal del LDR.

Para el diseño de este circuito se requiere que los valores que entregue el LDR al ADC no sean muy pequeños para que no haya posibles traslapes, esto es, que para varios valores les asigne el mismo resultado. El circuito típico es usando un divisor de voltaje, con una resistencia a VCC, y el LDR a tierra, siendo la señal en el punto entre la resistencia y el LDR la que va al ADC. Entonces para cumplir el requerimiento

mencionado se busca que el valor de la resistencia fija sea tal que para los rangos más frecuentes del LDR, los valores varíen en buen margen. Entonces teniendo la fórmula del divisor de voltaje y adaptándola al circuito planteado:

$$V_{\text{divisor}} = \frac{VCC \cdot R_{LDR}}{R_{fija} + R_{LDR}} \quad (\text{ec.3.14})$$

En la ecuación 3.14 se puede ver que lo que se debe hacer es que el valor de la resistencia fija sea mayor a los valores que dará el LDR en los casos más frecuentes (condiciones en las que va a estar), puesto que la resolución del ADC es de 10 bits y si el valor de la R_{fija} es muy cercano al que se dará en el ambiente, la variación de voltajes será muy alta comparada con el valor de 1LSB. Es así que se guiará usando la hoja de datos del LDR (ver figura 3.8).

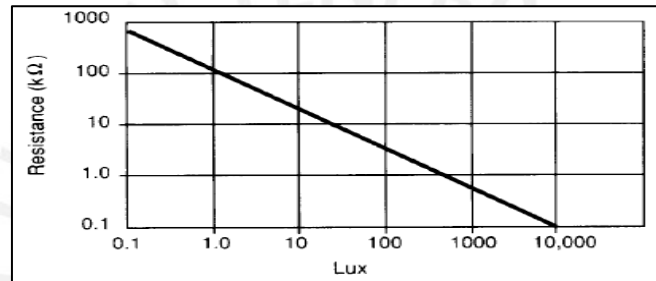


Figura 3.8: Gráfica Resistencia vs Lux del LDR (Tomado de la hoja de datos del LDR, SUNROM Technologies)

Los valores más comunes que se encuentran en un ambiente como el que se plantea (escaleras con entrada de luz) son de más de 100 luxes, por lo que una R_{fija} de 10kΩ será la adecuada. Entonces el circuito quedaría como se ve en la figura 3.9:

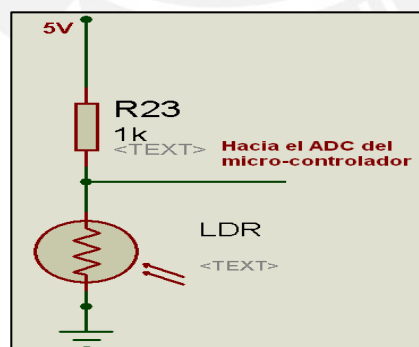


Figura 3.9: Circuito del LDR

3.3.4 Control

La etapa de control es la que va a recibir la señal proveniente de los sensores y en base a ellos, usará su lógica programada para enviar las señales de control correspondientes a los circuitos de potencia.

La elección del micro-controlador es importante, pues dependiendo de sus características se tendrán las limitaciones de la lógica, y con ello del control.

Como se ha ido observando durante el diseño de las otras etapas, el micro-controlador ha ido aumentando sus requerimientos, de modo que lo hasta ahora justificado siga teniendo validez. Es así que los requisitos del micro-controlador son:

- Capacidad de monitorear los sensores y controlar la alarma
- Tener por lo menos un canal para salida de PWM para el manejo de LEDs
- Contar con un canal de ADC para el LDR
- Capacidad para manejar la conmutación de 2 señales PWM, provenientes del acelerómetro

De la experiencia adquirida a lo largo de la carrera se piensa en dos micro-controladores: El ATmega y el PIC. Ambos cuentan con una larga serie de modelos, sin embargo no se busca una complejidad eligiendo el que tenga más funciones sino uno que cumpla los requisitos mencionados. En la tabla 3.6 se comparan los modelos:

Tabla 3.6: Comparación de las alternativas de microprocesadores

Parámetro	ATMega8	PIC18F4550
ADC	6-8 canales ADC 10 bits	13 canales ADC 10 bits
Salida PWM	3 canales PWM	4 canales PWM
PWM del acelerómetro	2 canales de interrupciones	3 canales de interrupción externa
Alimentación	4.5V – 5V	4.2V – 5.5V
Precio	US\$ 3.55	US\$ 6.68

Elaboración propia

Como se ve, ambas soluciones cumplen con los requisitos y su precio no es muy elevado (aunque se ve que el precio del PIC es casi el doble que el del ATmega); sin embargo, se va a favorecer la elección del ATmega8 debido a la experiencia de trabajo con el mismo, pues ya se conocen sus modos, sus configuraciones, características y juego de instrucciones. Además de contar con más códigos base, que facilitarían el diseño de la lógica e implementación código principal.

Con el micro-controlador elegido se definen ahora las conexiones:

- La salida del LDR irá al pin PC0, para trabajar con el ADC0
- Las salidas del acelerómetro irán a los pines PD2 y PD3 para usar las interrupciones externas
- La señal para los power LEDs será en PB1, para usar el timer1
- La señal que indica si el suministro funciona normalmente (del 7805) irá a PD4
- Se elige el pin PD7 para la señal que irá a la alarma sonora
- Finalmente consideraciones del fabricante para desacoplo, reducción de ruido y estabilidad se considera: un condensador de 100nF entre V_{REF} y tierra, una bobina de 10mH entre 5V y V_{CC} , y un condensador de 100nF entre V_{CC} y tierra.

Entonces el circuito quedaría como en la figura 3.10:

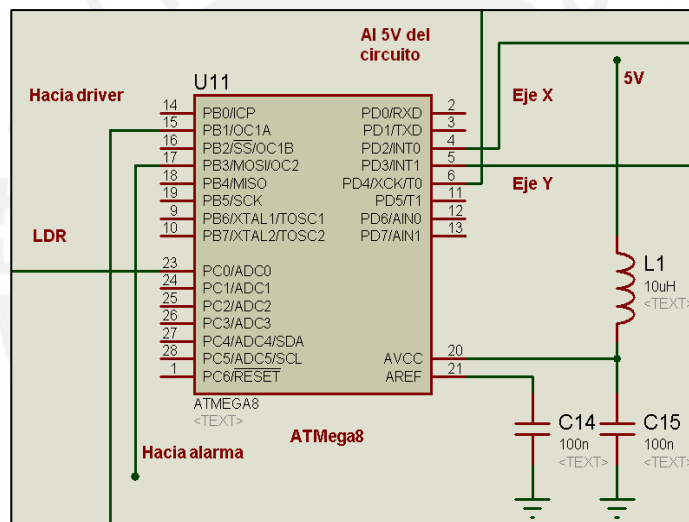


Figura 3.10: Circuito del ATmega8

3.3.5 Alimentación:

Los sistemas de alimentación con respaldo cuentan con una batería, la cual entra a suministrar energía al detectar una falla o caída en el suministro principal. Dicha conmutación se puede realizar con dispositivos como relés o semiconductores en corte y saturación. Luego se usan reguladores de voltaje, para obtener los valores que se requieren en las demás etapas. El diagrama de bloques se ve en la figura 3.11:

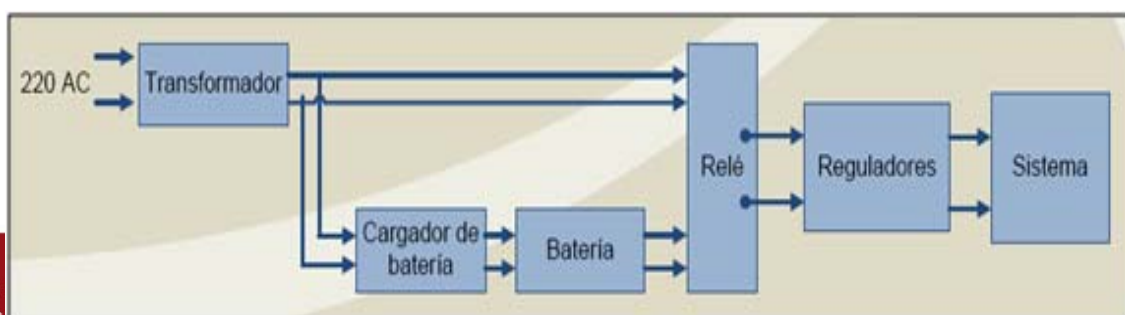


Figura 3.11: Diagrama del bloque de alimentación

Con el diagrama de bloques, es fácil determinar los elementos necesarios:

a) La batería:

La batería debe cumplir una serie de requisitos de modo que pueda alimentar al sistema y cumplir con los reglamentos establecidos por la norma peruana. Estos requisitos se resumen en la siguiente lista:

- Voltaje nominal: 12V
- Cumplir con la norma para sistemas de emergencia de tener autonomía por un tiempo mínimo de 1 hora ^[7], y en ese tiempo, mantener el nivel indicado

Las corrientes del sistema se presentan en la tabla 3.7:

Tabla 3.7: Listado de las corrientes que suministrará la batería

Etapa de potencia		Etapa de indicadores	
LEDS	1260.12	Comparador 1	0.055
Piezo-sounder	5	Divisor de voltaje 1	0.5
Etapa de control		Comparador 2	0.055
ATMega	7	Divisor de voltaje 2	1
Etapa de sensado		TOTAL:	1280.73
Máxima del arreglo LDR	5	(Todas las corrientes expresadas en mA)	
ADXL213	7		

Elaboración propia

Entonces, se considera 1.3A como corriente que la batería debe ser capaz de suministrar en el tiempo que se indique. En base a esto y a los demás criterios, se encontró 2 posibles soluciones, que se ven en la tabla 3.8:

Tabla 3.8: Comparación de alternativas de baterías comerciales

Parámetro	BP 3-12	Panasonic R123R4
Valores nominales	12 V / 3 @ 150mA	12V / 3.4 @ 170mA
Duración @1.3A (V_{final} 10.8V)	105 minutos	105 minutos
I carga	Hasta 0.9A	Hasta 0.51A

Precio

US\$. 21.98

US\$. 40.39

Elaboración propia

Entonces se escoge la BP3-12, que cumple con todos los requisitos y tiene un menor precio. Es importante mencionar que el voltaje final de 10.8, esto servirá como parámetro para los reguladores de la parte de alimentación.

b) Cargador de Batería:

La batería se va consumiendo cuando alimenta al circuito y también presenta un voltaje de auto-descarga, es por esto que es importante que el circuito contenga un cargador que mantenga a la batería en los niveles adecuados y que además no desgaste a la batería cargándola en todo momento, sino que solo le suministre carga cuando su nivel se encuentre por debajo de un voltaje de referencia y que al llegar ahí se desconecte de la misma. Los requerimientos del circuito son los siguientes:

- Suministrar una corriente de carga adecuada según el fabricante
- Realizar el trabajo con un voltaje de carga como indica el fabricante
- Funcionar en el rango en el cual se cargan las baterías de su voltaje nominal
- Tener sus propios reguladores de voltaje para que el circuito no consuma corriente de la batería y solo funcione con el suministro eléctrico

Los primeros requerimientos se ven en la hoja de datos del fabricante. La corriente de carga máxima es de 0.9A, por lo que se considerará una carga lenta, que generalmente es a aproximadamente 1/3 de la corriente de carga máxima, por eso se considerará 300mA. El voltaje de carga para 12V debe estar entre 13.6V y 13.8V, por lo que se toma 13.7V. Asimismo, para la carga debe realizarse entre 10.5V y 13.5V. Una vez planteado esto se elige una fuente de corriente que nos permita controlar tanto la corriente como el voltaje de carga, y esta se ve en la figura 3.13.

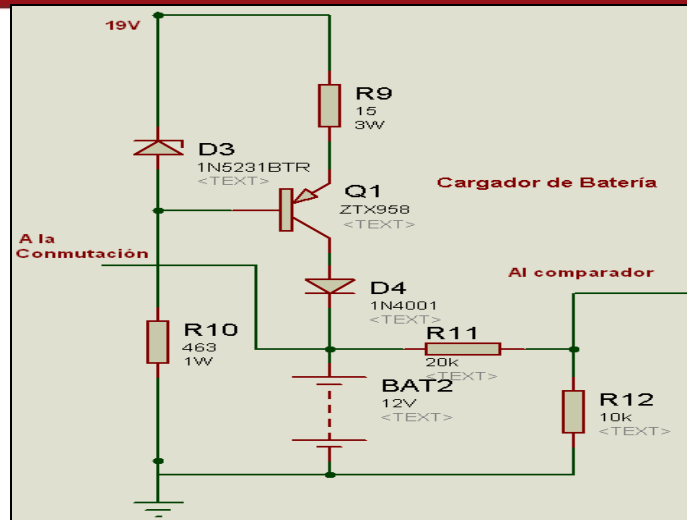


Figura 3.13 Circuito cargador

Este circuito se basa en que al recibir voltaje en transistor conduce y corriente conduce, cargando a la batería. Para esto se debe saturar adecuadamente el transistor. Usando un $\beta_{sat} = 10$, se tiene que la corriente de la base va a ser de 30mA. Ahora se debe definir los voltajes, para tener 13.7V en la batería, y considerando que se colocó un diodo de protección de polaridad a la batería, cuya caída de voltaje es de 0.7V, se tiene que el voltaje antes del diodo debe ser de 14.4V.

Por otro lado, el voltaje del zener va a definir los voltajes para las ecuaciones que determinan las corrientes de base y colector. Si es muy grande, la resistencia R10 tendrá que ser muy pequeña, y si es muy pequeño, la R9 será muy pequeña. Por esto se escoge un voltaje medio, de 5.1V. Entonces se tiene:

$$R_{base} = \frac{V_{suministro} - 5.1V}{30mA} \tag{ec.3.15}$$

$$R_{carga} = \frac{5.1V - V_{BE SAT}}{300mA} \tag{ec.3.16}$$

$$V_{suministro} = 14.4V + V_{CE SAT} + (5.1V - V_{BE SAT}) \tag{ec.3.17}$$

Como se ve, la elección del transistor es muy importante, y su criterio va a ser que soporte la corriente de colector de 300mA, y que tenga bajos voltajes de saturación. Es así que se usa el ZTX958, que soporta hasta 500mA y que tiene $V_{CESAT}@300mA = 0.2$ y $V_{BE SAT}@300mA = 0.7$. Con esto tenemos que $R_{carga} = 14.66\Omega \approx 15\Omega$ y que el $V_{suministro} = 19V$, con lo que la $R_{base} = 463.33\Omega \approx 463\Omega$.

De la ecuación de potencia en función de la corriente y la resistencia se halla que la potencia de la R_{carga} es de 1.3W, por lo que se usará de 3W, y la potencia de la R_{base} es 0.41W, por lo que se usará de 1W.

Finalmente R11 y R12 sirven como divisor de voltaje, pues esa salida va al comparador que determina si se da o no la carga. Se divide entre 3 para poder usar 5V como referencia y tener un rango de 0V a 15V (escalando).

$$V_{\text{salida}} = \frac{V_{in} \cdot R12}{R11 + R21} = \frac{1}{3} \tag{ec.3.17}$$

Entonces queda que R11 es el doble de R12, y se toman valores altos de resistencia para disminuir la corriente, pues está en contacto con la batería y la puede descargar un poco. Por eso se toma R12 = 10kΩ y entonces R11 = 20kΩ .

Ahora que se tiene el cargador se debe diseñar el circuito que controle que la carga (ver figura 3.14) solo se realice en los intervalos definidos, tomando en cuenta que para efectos de esta comparación, el voltaje de la batería está dividido entre 3.

Para esta etapa se usarán comparadores, en configuración de comparador de ventana, para funcionar en el rango de 3.5V (correspondiente a 10.5V) a 4.5V (correspondiente a 13.5V), activando un relé que al cerrarse cierra el circuito, comunicando la salida de la alimentación general al circuito cargador.

Se busca que el relé reciba una corriente de 20mA y 5V, y esto dependerá del transistor, el cual está conectado a la salida del comparador de ventana y cuya resistencia de pull-up determinará la I_b. Se considera un voltaje de 5.2 al relé para que, considerando los 0.2 de VCE SAT, tenga 5V entre sus terminales. Con un β = 10 :

$$R_{\text{base}} = \frac{5V - V_{BE \text{ SAT máximo}}}{2mA} = \frac{5V - 0.85V}{2mA} = 2.075k\Omega \approx 2.08k\Omega \tag{ec.3.19}$$

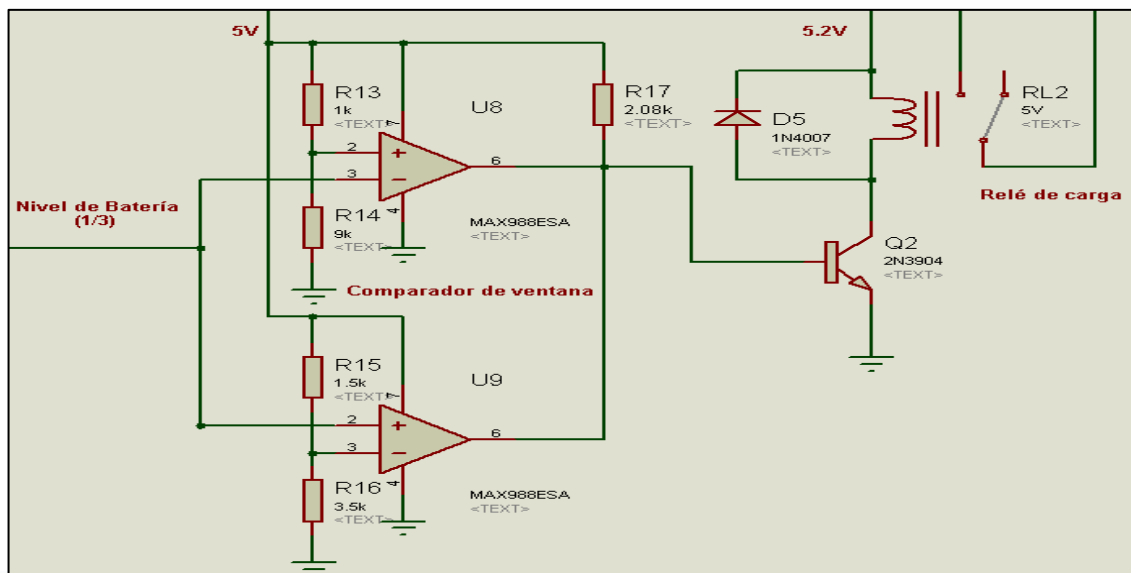


Figura 3.14: Circuito de control de carga

Para determinar las resistencias de divisores de voltaje:

$$V_{comp} = \frac{5V * R14}{R13 + R14} = 4.5V \tag{ec.3.20}$$

$$V_{comp} = \frac{5V * R16}{R15 + R16} = 3.5V \tag{ec.3.21}$$

Entonces $R14 = 9k\Omega$, $R13 = 1k\Omega$, $R16 = 3.5k\Omega$ y $R15 = 1.5k\Omega$

Finalmente, como se menciono antes, el circuito debe contar con sus referencias de voltaje, las cuales han sido definidas en 5V y 5.2V. Se usa un regulador a 9V para alimentar a los que van dar 5V y 5.2V pues de lo contrario, se estarían alimentando a estos con 19V, y la diferencia entre V_{in} y V_{out} , sería mucha.

Como para los 5.2V se usa regulador de salida ajustable, se realizan los cálculos para que a la salida se dé el voltaje requerido.

$$V_{out} = 1.25 * \left(1 + \frac{R8}{R7}\right) = 5.2V \tag{ec.3.22}$$

De donde la relación entre R8 y R7 es de 3.16, entonces $R7 = 1k\Omega$ y $R8 = 3.16k\Omega$

De esta forma, el circuito de reguladores se ve en la figura 3.15.

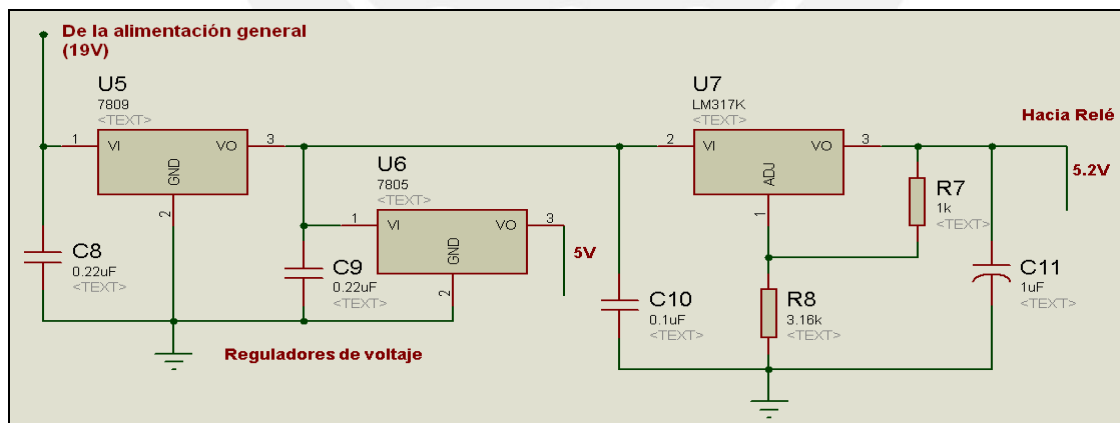


Figura 3.15: Reguladores del circuito cargador de batería

c) Alimentación general

Ahora que ya se conocen todos los requisitos del sistema se procede a diseñar la alimentación general, que incluye la etapa de transformación y rectificación.

- Proveer de 19V al circuito cargador de batería
- Proveer la corriente necesaria para el sistema
- Proveer voltajes de 5V y 9V a los circuitos de control y potencia
- Transformar y rectificar el voltaje proveniente del suministro

Entonces, el circuito debe transformar y rectificar el voltaje del suministro y usar un regulador para brindar los 19V a su salida, ya que con esos mismos 19V se puede realizar el circuito que regule los voltajes a 5V y 9V para el sistema. De la misma manera se debe considerar la corriente que se debe suministrar, para esto se considera que ésta es la suma de la corriente ya calculada para la batería con la que consume el cargador de batería, la cual es de 300mA para la carga, 1mA por cada voltaje de comparación, 0.7mA por cada comparador, 10mA para el relé que controla la carga, 1mA para la corriente de base del transistor del relé y 10mA de la corriente de operación del regulador. Todo esto da un aproximado de 1.6A, por lo que éste es lo mínimo a suministrar, entonces, se dará hasta 2A para cubrir a todo el sistema, con un margen adecuado. El circuito es como se muestra en la figura 3.16.

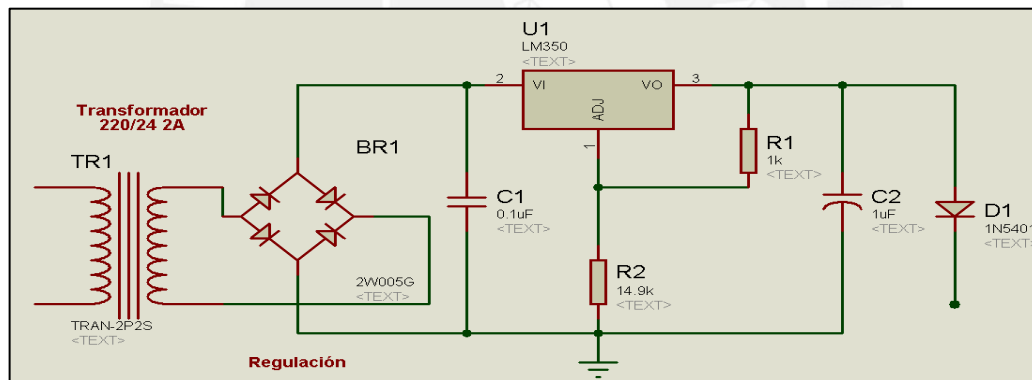


Figura 3.16: Circuito de alimentación principal

El regulador usado es el LM350 debido a que se requiere corrientes altas de hasta 1.6A y considerando hasta 2A, y este integrado soporta hasta 3A.

Los condensadores elegidos son siguiendo el circuito recomendado por el fabricante. Se considera el diodo D1 como seguridad; éste debe soportar los 2Am por lo cual se usa el 1N5401, que soporta hasta 3A. Ahora, al considerar a este diodo se tiene que considerar su voltaje de conducción, que para 1.6A es de 0.8V. Entonces el voltaje a la salida del regulador debe ser de 19.8V, por lo que se calculan las resistencias

$$V_{out} = 1.25 * \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) = 19.8V \tag{ec.3.23}$$

Entonces se tiene que la relación entre R2 y R1 es de 14.84, por lo que se toma $R1 = 1k\Omega$ y $R2 = 14.84k\Omega \approx 14.9k\Omega$.

Finalmente, el puente de diodos debe soportar los 2A que se suministrará, por lo cual se elige el puente rectificador 2W005G, que va a la salida del transformador de 2A y 24V. Este valor fue elegido, considerando el voltaje de dropout del regulador de aproximadamente 2.5V, por eso un valor mayor que los 19.8V en 4.2V es adecuado.

Respecto a la conmutación entre la batería y la alimentación se busca tener una simplicidad de circuito y ya que el tiempo de conmutación no es primordial en estos casos (ya que el cambio no necesariamente tiene que ser lo más rápido posible), se opta por un relé. Este, va a controlar la conmutación entre los 12 voltios provenientes del suministro o de la batería. Para esto, sus terminales se ubican en la alimentación general, de manera que el relé pueda, eficazmente, saber si el suministro está en funcionamiento normal o tiene fallas. Para elegir el relé se tomó en cuenta su voltaje de conmutación, el cual es de 12V, de esta manera si es que el circuito está recibiendo alimentación de suministro, habrá 19V entre las terminales del relé, conmutándolo, caso contrario, el relé no lo hará, conectando la batería al circuito. Ya sea por el relé o por la batería el circuito luego alimenta a reguladores de 9V y 5V, los cuales son LDO (low-dropout voltaje). Deben ser LDOs pues, en el caso que la alimentación el nivel más bajo contemplado es de 10.8V, así que este debe ser voltaje suficiente para alimentar el regulador a 9V. Entonces, el voltaje de dropout debe ser menor a 1.8V. Es así que se determina usar el LDO PQ15RW21 que tiene un voltaje de dropout de 0.5. Un relé (D2) se coloca para protección. El circuito se puede ver en la figura 3.17.

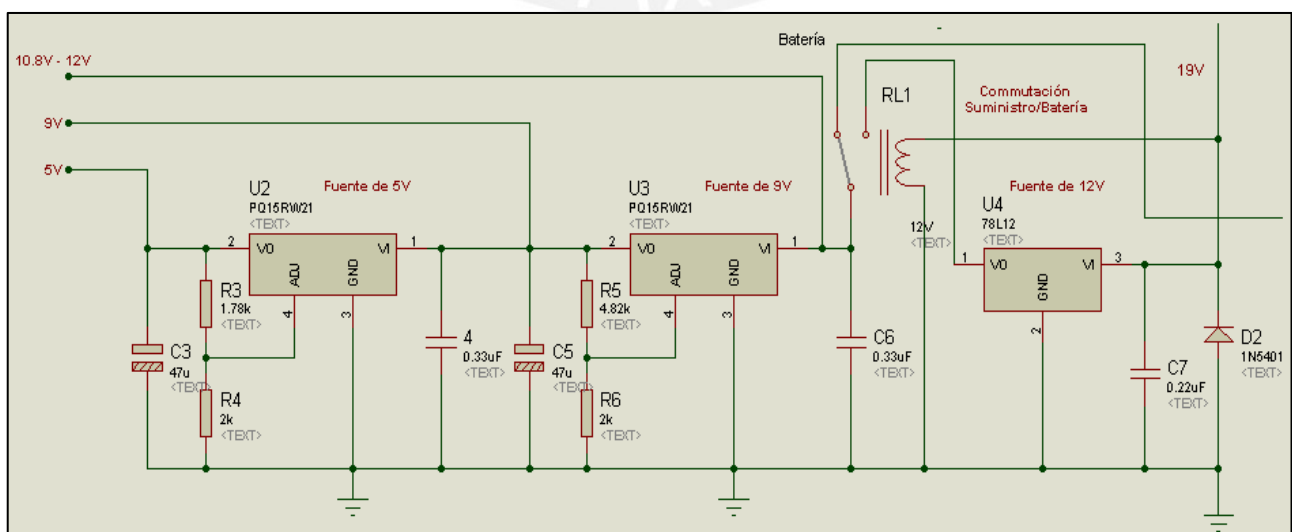


Figura 3.17: Conexión del relé

3.3.6 Adicionales

Los adicionales se dividen en 2 grupos: disipadores e indicadores

a) Disipadores:

Son utilizados para la disipación de calor de un componente, generada por la energía con la que éste trabaja. Los componentes que requieren disipadores son los reguladores, entonces, se usa la fórmula para el cálculo del disipador:

$$V_{(IN-OUT)} * I_{suministrada} = \frac{T_{máxima} - T_{amb}}{R_{jv} + R_{cd} + R_{da}} \quad (ec.3.24)$$

Donde R_{da} es la resistencia térmica del disipador y los demás son parámetros que se hallan para cada componente. Para uniformizar el circuito, se recomienda el uso de un mismo disipador, ya que todos los integrados son de la familia LM. Entonces se hace el cálculo del caso más crítico, de modo que se cubra el requerimiento de todos:

$$4.2V * 1.6A = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{1.2^{\circ}\frac{C}{W} + 1.4^{\circ}\frac{C}{W} + R_{da}} \quad (ec.3.25)$$

Entonces queda que R_{da} crítico es de $12.28^{\circ}C/W$. Con este valor, se podrá disipar esta potencia y cualquiera que sea menor.

(Nota: El LM que da 5.2V no requiere disipador, pues su potencia consumida es baja)

b) Indicadores:

Los indicadores son circuitos comparadores que usan el mismo valor que va al comparador de ventana ($V_{bat/3}$) e indican si la batería está en un nivel bajo (menor a 3.7V) y si la batería está por debajo del rango permitido por el cargador (menor a 3.5V) Las resistencias para los LEDs son de 330, para una corriente de 15mA. Esto se ve a continuación, en la figura 3.18.

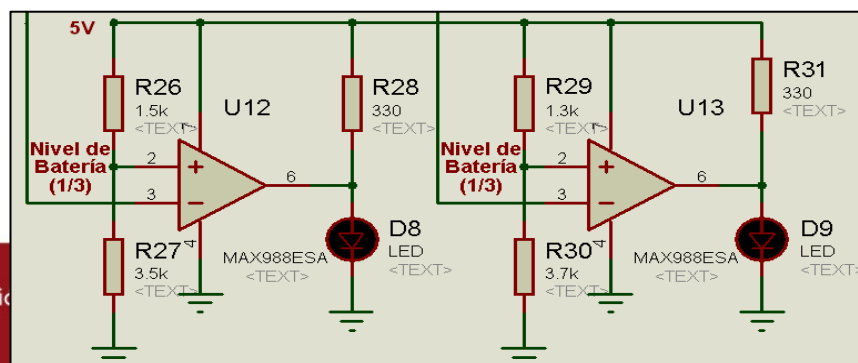


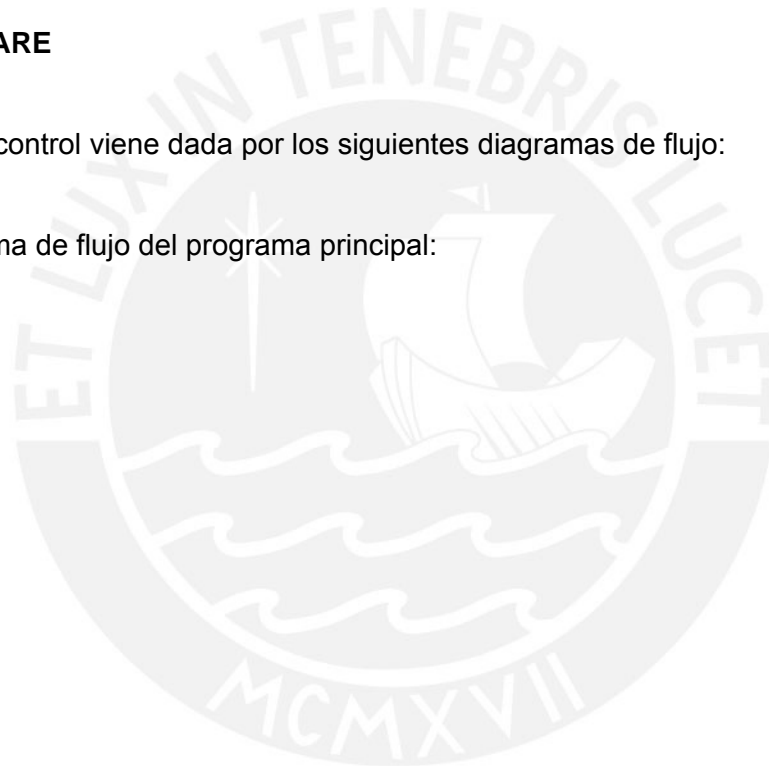
Figura 3.18: Circuitos indicadores

Finalmente, queda indicar que el circuito esquemático completo se encuentra en el anexo 1. Asimismo, también se adjunta el listado de componentes su precio tentativo en el anexo 2.

3.4 SOFTWARE

La lógica de control viene dada por los siguientes diagramas de flujo:

3.4.1 Diagrama de flujo del programa principal:



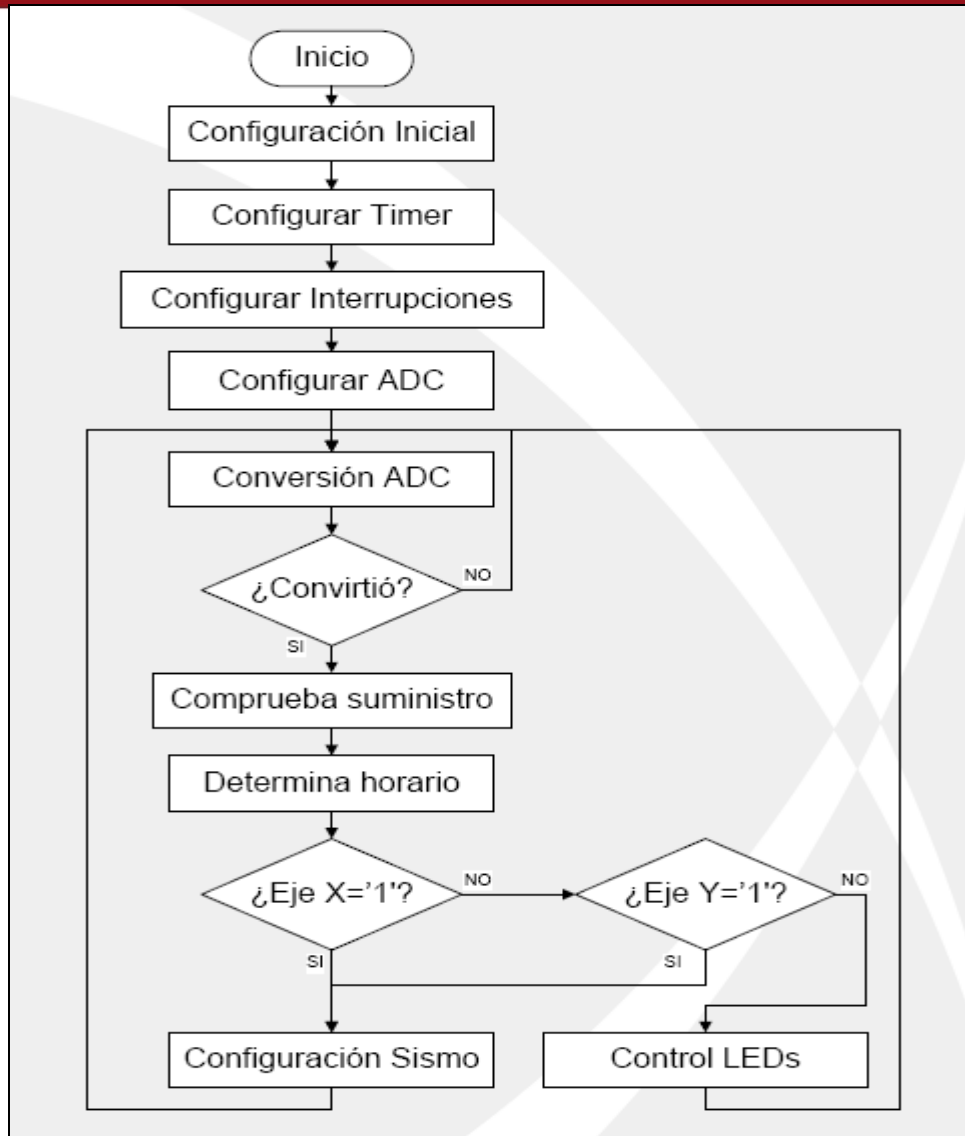


Figura 3.19: Diagrama de flujo del programa principal

En la figura 3.19 se ve como se inicializan los modos y valores con los que se van a trabajar. El programa convierte el valor del LDR en un número entre 0 y 255, luego comprueba el estado del suministro y el horario (día y noche). Luego se determina si en las interrupciones se ha detectado un sismo y dependiendo de eso se va a la rutina de control del caso, que toma la decisión en función a los valores que se han determinado intensidad luminosa y estado del suministro.

3.4.2 Detección de falla del suministro y de horario (día/noche):

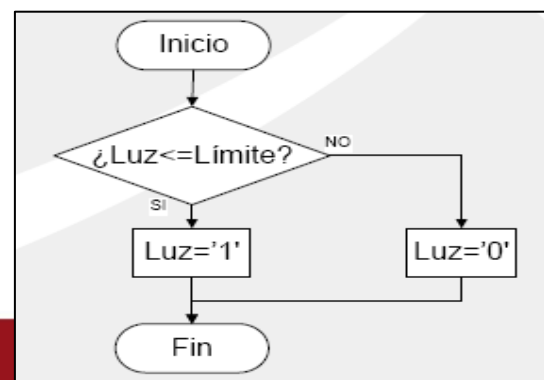
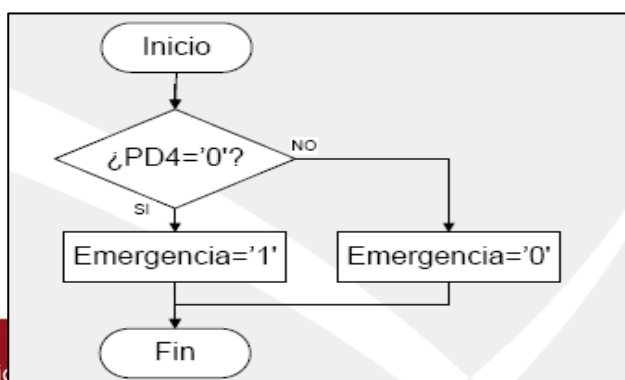


Figura 3.20: Subrutina que alerta de falla del suministro

Figura 3.21: Subrutina que indica si el nivel de luz es bajo o normal

La subrutina de detección de falla (ver figura 3.20) tiene su pin conectado a la salida del 7805 del cargador, si este da un nivel bajo, quiere decir que el suministro ha fallado. Por otro lado la detección de horario (ver figura 3.21) se basa en la determinación de dos condiciones: la llamada día que corresponde a un ambiente bien iluminado y noche que corresponde a un bajo nivel de iluminación del ambiente.

3.4.3 Configuración de sismo:

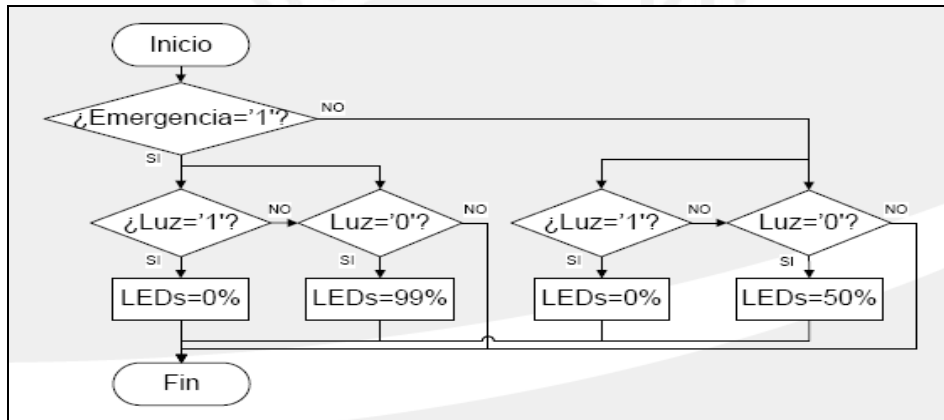


Figura 3.22: Subrutina que controla los LEDs en caso de sismo

El valor en porcentaje corresponde al DC de la onda PWM (ver figura 3.22) que se enviará al circuito de excitación de los power LEDs se basa en corrientes promedio:

$$I_{promedio} = \frac{I_{nominal} * T_{alta}}{T_{total}} = I_{nominal} * DC \tag{ec.3.26}$$

Entonces la intensidad de luz promedio que el ojo humano va a percibir depende de ese valor de DC. Si bien es cierto que esto implica una conmutación on/off de los power LEDs, el ojo humano no lo notaría pues éste solo detecta ese cambio a una frecuencia de 30Hz y se está trabajando con una señal de 125kHz. ^[11]

3.4.4 Encendido de LEDs (en el caso que no haya sismo):

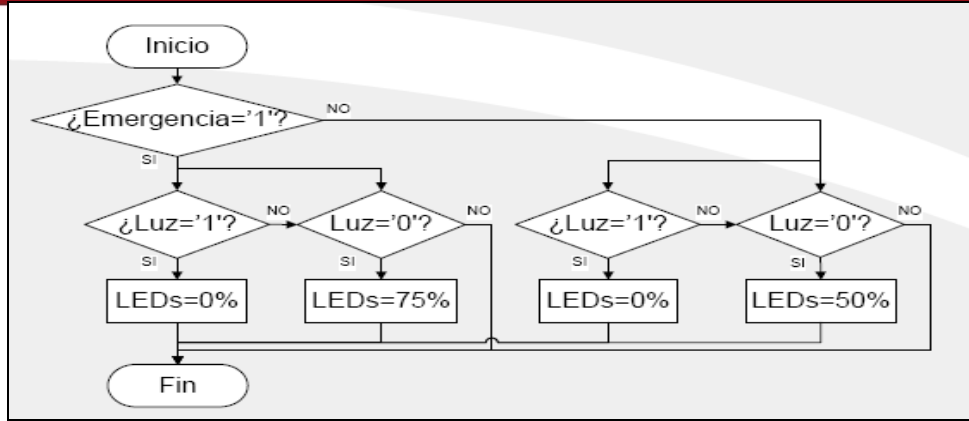


Figura 3.23: Subrutina que controla los LEDs en caso que no haya sismo

En la figura 3.23 se ve prácticamente la misma lógica que la subrutina anterior; sin embargo los valores de DC varían, pues la condición es que no se detecta sismo.

3.4.5. Interrupciones:

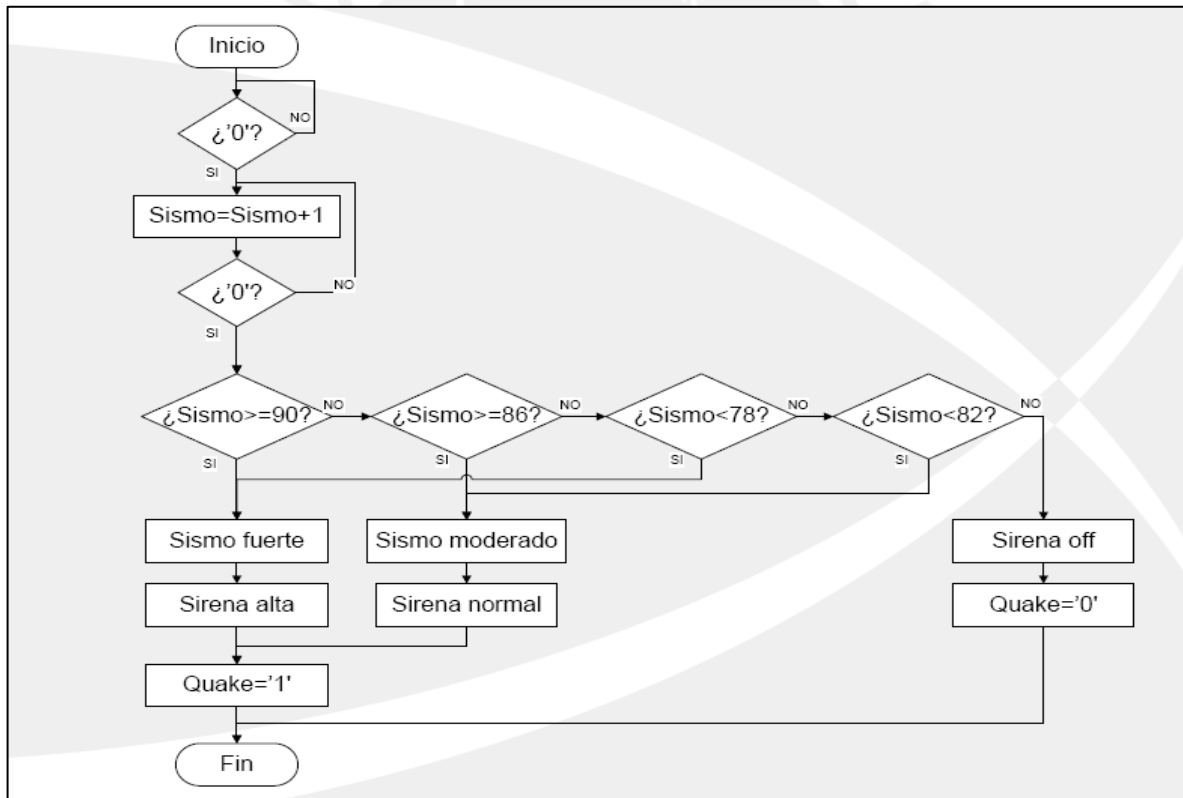


Figura 3.24: Diagrama de las interrupciones (la misma lógica para ambas)

La interrupción (ver figura 3.24) espera el flanco de subida de la señal para realizar el conteo, y lo hace incrementando un contador mientras la señal permanezca en alta. Este valor es luego comparado con los obtenidos de las experiencias y simulaciones, y que se ven en la figura. Esos valores son explicados en la tabla 3.9 y en base a la fórmula del ADXL213.

$$A(g) = \left(\frac{T_{\text{alta}}}{T_{\text{total}}} - 0.5 \right) / 30\%$$

(ec.3.27)

Tabla 3.9: Determinación de condición de sismo

Aceleración del suelo	DC (PWM)	Valor contador	Categoría
+/- 0.05g	48.5% / 51.5%	81 / 86	Moderado
+/- 0.13g	46.1% / 53.9%	77 / 90	Fuerte

Elaboración propia

Los valores de 0.05g y 0.13g son tomados basados en el estudio de varias equivalencias entre valores de aceleración del suelo y las diferentes escalas (Richter y Mercalli), así como los resultados registrados por sismos de gran y mediana magnitud. Con un valor de 0,05g ya se considera un sismo (aproximadamente escala 5 de Mercalli) y para 0.13g es uno más considerable (aproximadamente escala 6 de Mercalli) ^[12]. Para mayor detalle ver el anexo N°4

Finalmente, una vez determinado si el sismo es fuerte o moderado se procede a activar la sirena al nivel que corresponda (uso del timer2 para generar 2 distintas frecuencias según sea el caso y así controlar la intensidad al piezo-sounder). En base a la hoja de datos del piezo-sounder elegido (ver hojas de datos adjuntas), se define que sirena alta significa una señal de 2.5kHz, que implica 95dB, y sirena normal significa una señal de 4kHz, que implica 85dB. En el caso de no darse sismo, se apaga la sirena.

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Descripción

La simulación del conjunto se ha dividido en 2 partes: la parte del hardware, la cual se hará en el programa ISIS Proteus v7.7; y la parte del software, la cual se hará con el programa VMLAB. Cada simulación tiene sus consideraciones a tomar en cuenta, éstas así como el criterio de la elección del software de simulación, se ven en los subcapítulos a continuación:

4.2 Simulación del hardware en ISIS Proteus v7.7

El gran inconveniente de varios programas de simulación de software es la falta de librerías de componentes. En la experiencia se ha visto que el ISIS Proteus v7.7 cuenta con una gran variedad de dispositivos, permitiendo una fiel simulación de lo que sería el circuito en físico. No obstante, algunos componentes no están presentes. Éstos pueden ser creados para la elaboración del esquemático, pero que no funcionarían así en la simulación. Para esto se usó un componente que cumpla con la misma función y que si esté presente en las librería. Así mismo algunos elementos presentan fallas de simulación, por lo que se opta reemplazarlos. En la tabla 4.1 se ven los casos que se presentaron.

Tabla 4.1: Relación de componentes no usados en la simulación

Parámetro	Motivo	Reemplazado por
ZTX958 (Transistor)	No está presente	2N3904
PQ15RW21 (LDO)	No está presente	7805/7809
LM350	No está presente	LM317
Transformador	Problemas de simulación	Fuente de 24V

Elaboración propia

Debe mencionarse que para la simulación de control, se usa una compuerta NOT pues el simulador tiene lógica negada.

Finalmente, como el circuito completo cuenta con demasiados componentes y el software no tiene la capacidad necesaria, se hace una simulación por partes:

4.2.1 Simulación de la alimentación general:

En la simulación se ve como se genera el voltaje deseado para alimentar tanto al circuito cargador como a los elementos de control y potencia. Asimismo, se ve el

funcionamiento del relé. El archivo de la simulación se adjunta al presente documento, pero en la figura 4.1 se puede ver los resultados:

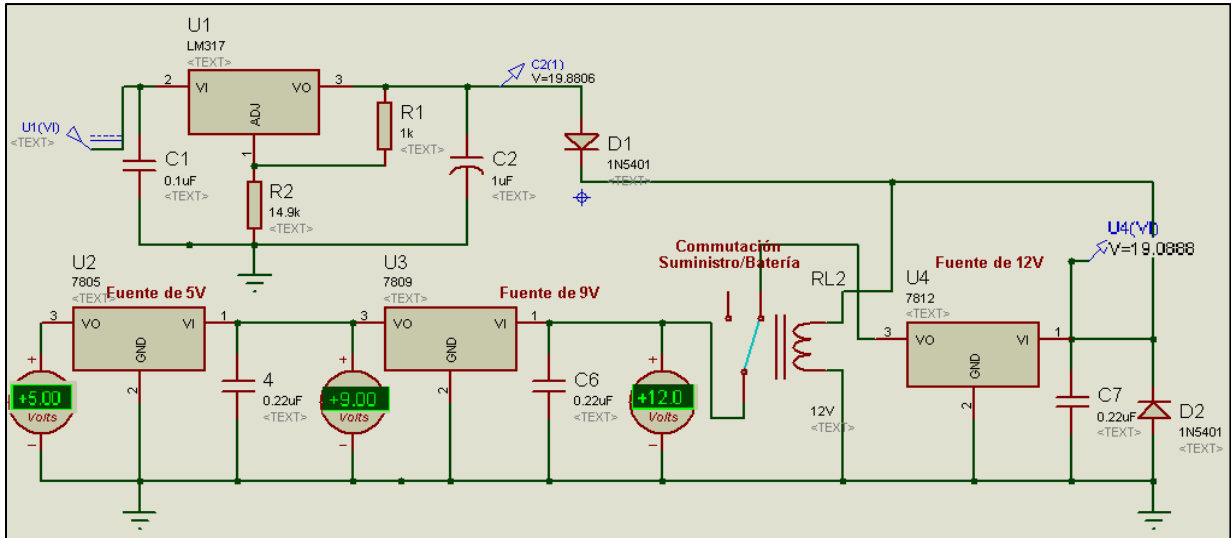


Figura 4.1: Resultado de la simulación de la etapa de alimentación

4.2.2 Simulación del circuito cargador de batería:

El archivo de la simulación se adjunta a este documento, pero en las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se muestran los estados del circuito, precisamente mostrando el estado del relé y de los indicadores. Para evitar el número excesivo de iteraciones para el simulador se usan fuentes de voltaje para los comparadores en lugar de los divisores de voltaje del circuito original, pero esto no afecta el desempeño del circuito.

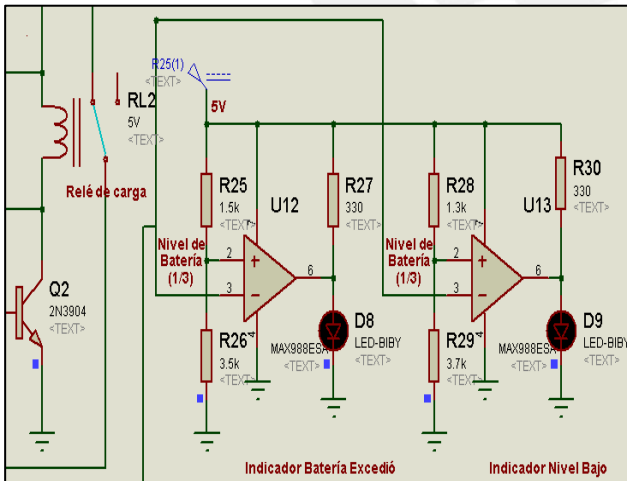


Figura 4.2: Batería a 12V

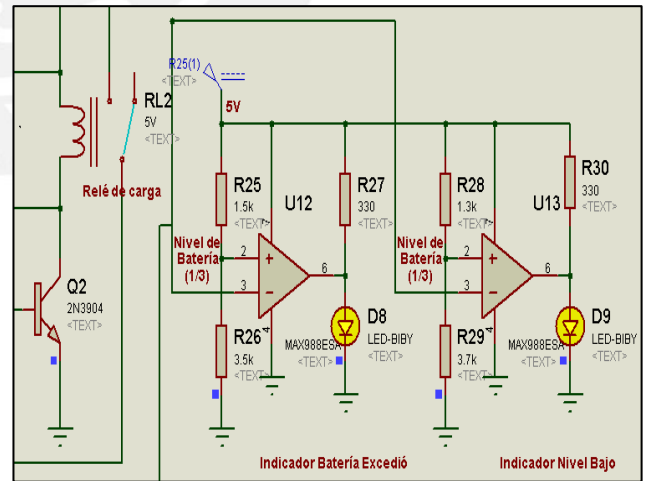


Figura 4.3: Batería a 9V

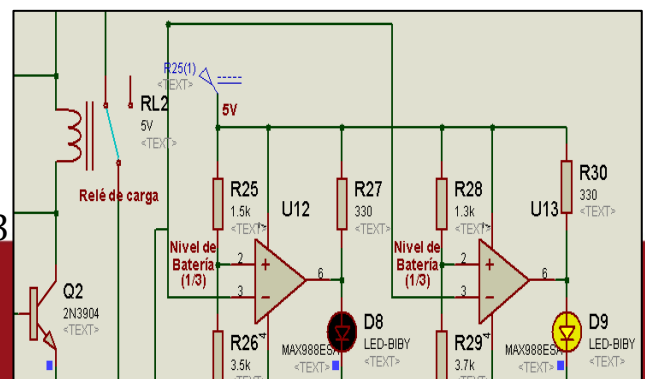
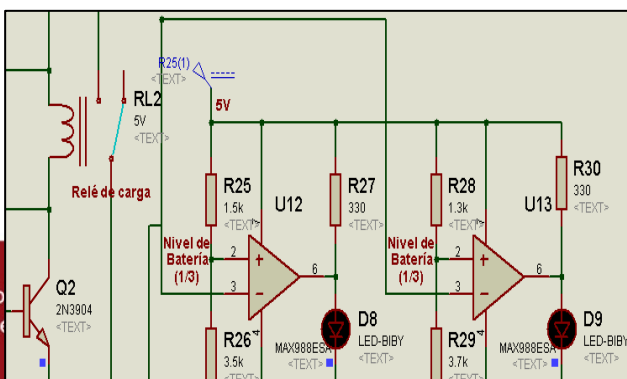


Figura 4.4: Batería a 15V**Figura 4.5: Batería a 10.6V**

El circuito muestra su funcionamiento adecuado, el cual es el de activar la carga cuando el voltaje de la batería está en el rango de 10.5V a 13.5V. En las figuras se ve como el relé solo conmuta en el caso en que la batería está en el rango, para los demás casos está en estado de no carga. Sobre los indicadores, se ve cómo funcionan ambos cuando el nivel es muy bajo (9V) y como sólo funciona el de nivel bajo cuando el nivel aún no ha rebajado el nivel del rango (10.6V)

4.2.3 Simulación del circuito de control y potencia

El programa ISIS Proteus v7.7 permite la simulación incluyendo micro-procesadores, por lo que se puede simular el conjunto. Dicha simulación se encuentra entre los archivos adjuntos a este documento. Ahí se simula correctamente el sistema, comprobando la lógica del programa y el funcionamiento. Las únicas consideraciones son que el voltaje usado para el circuito excitador es de 12V y no se 9V, pues al no haber el LM350 se usó el LM317 que tiene mayor voltaje de dropout y se requería un mayor V_{IN} , que a las salidas del ATmega8 se coloca una compuerta NOT pues la simulación está con lógica negada y que las señales del ADXL213, al no estar ese componente, son simuladas por generadores de onda, a la frecuencia de salida del mismo. Sin embargo, dado que se trata de una simulación más interactiva se prefiere realizar las pruebas con el software de simulación del código (siguiente punto). Asimismo, se debe tomar en cuenta el circuito que se utilizó para determinar el parámetro de intensidad de la luz (ver anexo 7).

4.3 Simulación del software en VMLAB

El programa VMLAB fue escogido debido a su gran facilidad de uso de las herramientas de simulación, además de permitir una muy confiable simulación del

código implementado. El código se encuentra entre los documento adjuntos al presente y cuenta con comentarios que faciliten su comprensión.

Se presentarán imágenes del SCOPE, en el cual se muestran las siguientes señales:

- El pin PD2, de interrupción externa 0, que es la entrada del eje X del ADXL213
- El pin PD3, de interrupción externa 0, que es la entrada del eje Y del ADXL213
- El pin PD4, de la salida del 7805 del cargador, como indicador de funcionamiento del sistema
- El pin PB1, salida del timer1, que va al circuito de excitación de los power LEDs
- El pin PB3, salida del timer2, que va al control del piezo-sounder

Se tiene 3 parámetros principales, nivel de iluminación, presencia de sismo y suministro, por lo cual, se dan 8 distintas combinaciones de casos. Éstos, y los correspondientes resultados según la lógica establecida se ven en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Distintos casos y resultados esperados acorde a la lógica de control

Caso	Iluminación	Sismo	Suministro	DC PWM	Piezo-sounder	Ver Figura:
I	Baja	NO	Falla	75%	OFF	4.7
II	Baja	NO	OK	50%	OFF	4.8
III	Baja	SI	Falla	99%	ON	4.9
IV	Baja	SI	OK	50%	ON	4.10
V	Alta	NO	Falla	0%	OFF	4.11
VI	Alta	NO	OK	0%	OFF	4.12
VII	Alta	SI	Falla	0%	ON	4.13
VIII	Alta	SI	OK	0%	ON	4.14

Elaboración propia

Debe aclararse que para la alarma sonora, hay dos casos, dependiendo de la intensidad del sismo. Si es determinado como fuerte la frecuencia para el piezo-sounder es la que genera la intensidad sonora máxima (95dB@2.5kHz); en cambio si es leve, la frecuencia es otra en la cual la intensidad es menor (85dB@4kHz).

Sobre la simulación, el control del valor del LDR y el que proviene del 7805 son simulados por sliders (1 y 2 respectivamente). Un valor alto del slider1, representa

menos intensidad luminosa y el slider2 es el valor que recibe el pin PD4. Por último, las señales del acelerómetro son simuladas desde el .prj del archivo, donde se puede determinar su frecuencia y su DC. El control panel se ve en la figura 4.6.

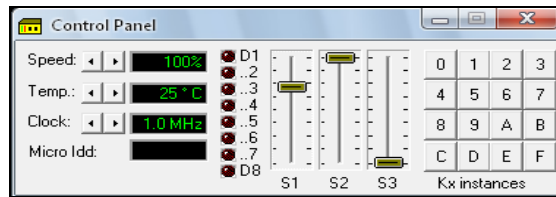


Figura 4.6: Control Panel del VMLAB

Ahora se presentan los resultados de los casos:

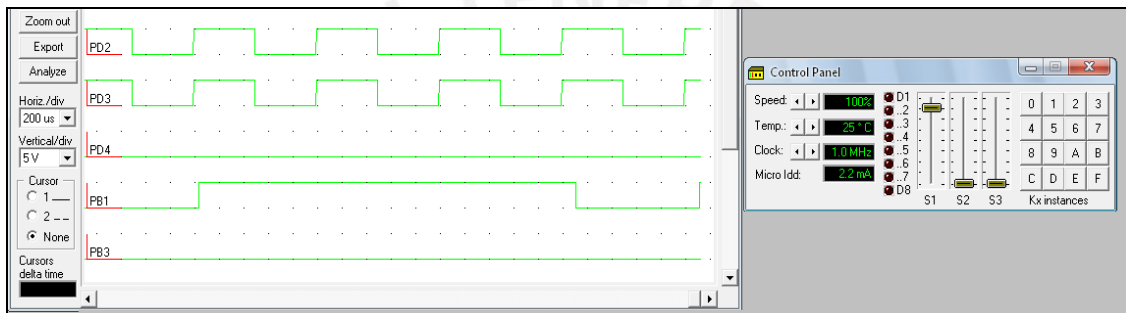


Figura 4.7: Simulación caso I (PWM de los LEDs a 75% y sonido OFF)

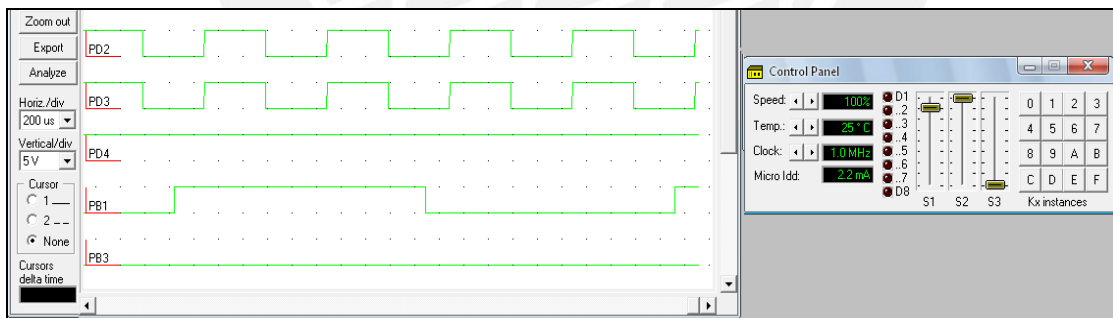


Figura 4.8: Simulación del caso II (PWM de los LEDs a 50% y sonido OFF)

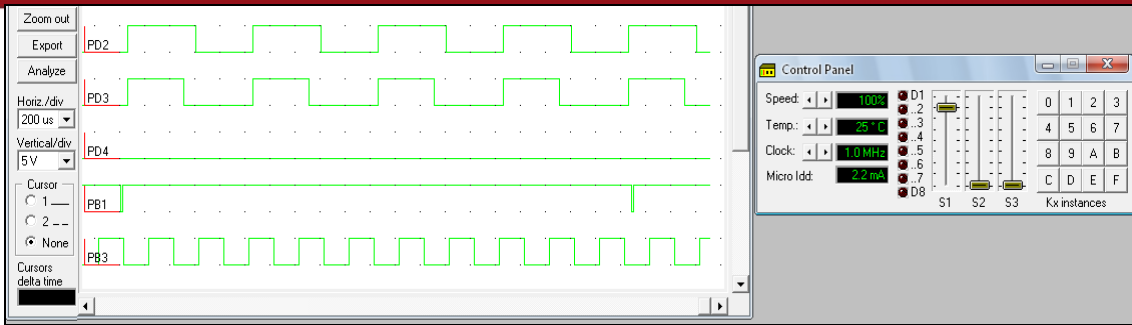


Figura 4.9: Simulación caso III (PWM de los LEDs a 99% y sonido ON)

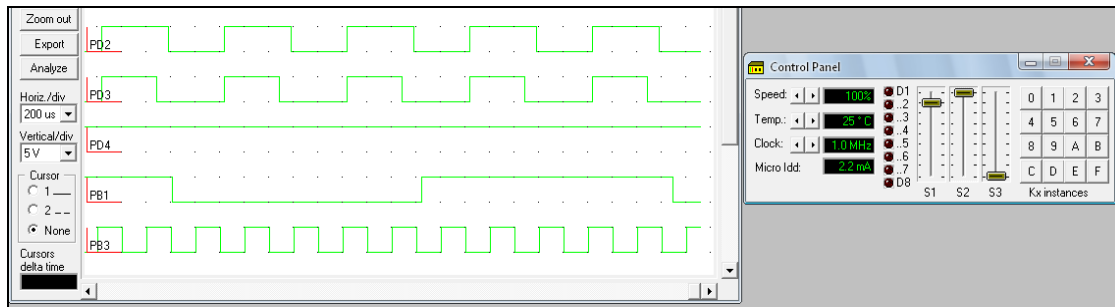


Figura 4.10: Simulación del caso IV (PWM de los LEDs a 50% y sonido ON)

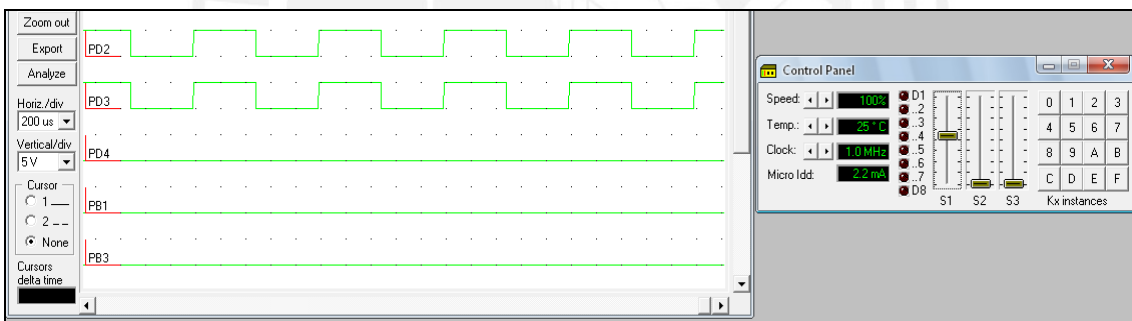


Figura 4.11: Simulación del caso V (PWM de los LEDs a 0% y sonido OFF)

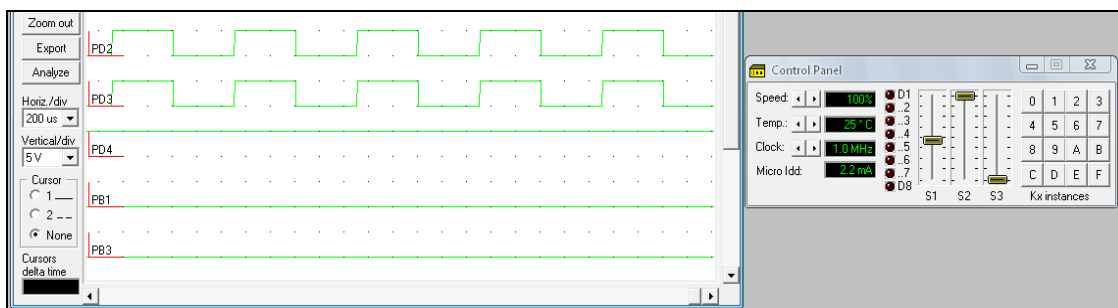


Figura 4.12: Simulación caso VI (PWM de los LEDs a 0% y sonido OFF)

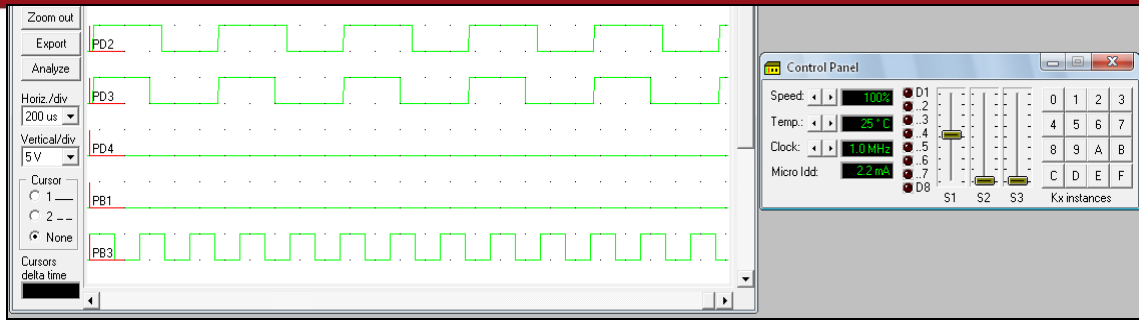


Figura 4.13: Simulación caso VII (PWM de los LEDs a 0% y sonido ON)

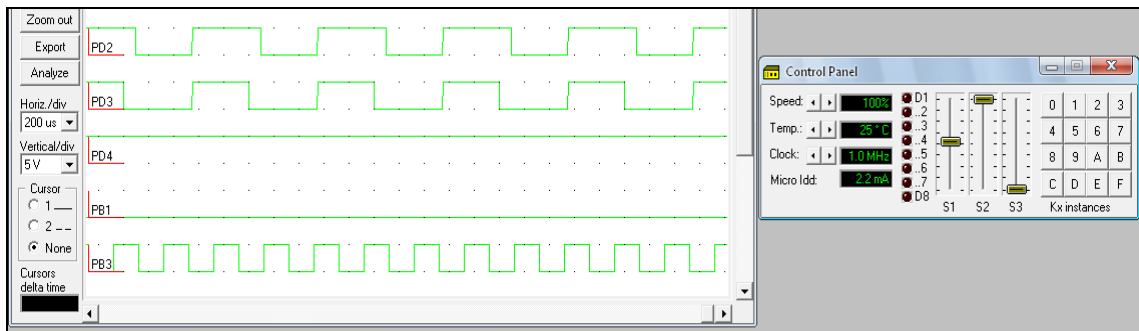


Figura 4.14: Simulación caso VIII (PWM de los LEDs a 0% y sonido ON)

Sin embargo para el caso de sismo leve existe la configuración del piezo-sounder a 4kHz. Esto se ve en la figura 4.15

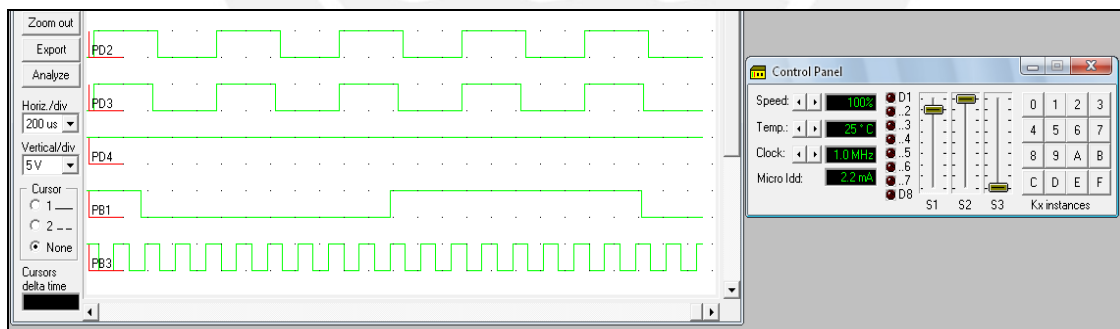


Figura 4.15: Simulación caso IV, pero con un sismo leve (variación de la frecuencia en PB3, que va al piezo-sounder)

CONCLUSIONES

Luego de finalizar el diseño y simulaciones del sistema planteado, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se logró elegir los sensores adecuados, que permitan un correcto funcionamiento, cumpliendo con sus requerimientos: un acelerómetro con un rango mayor al mínimo requerido (+/- 0.5g) y con salida digital; y un LDR que permite captar adecuadamente la intensidad luminosa (ver capítulo 3).
- Se diseñó el circuito de los sensores, asegurándose de que la señal pueda ser recibida por el micro-controlador. En el caso del LDR se usó el mismo ADC del ATmega8 para realizar la adaptación.
- Se logró implementar el código en lenguaje ensamblador, que tiene la lógica que debe seguir el micro-controlador. Sus simulaciones, tanto como código solo (VMLAB) como programado en un ATmega8 (ISIS Proteus) demostraron su funcionamiento. (Ver capítulo 4 y código presente en el CD adjunto)
- Se completó el diseño del circuito de los power LEDs, incluyendo su circuito de excitación que recibe la señal de control del ATmega8, y que cumple con los estándares de niveles de iluminación de emergencia de más de 800 lúmenes y con una duración de más de 1 hora (ver capítulo 3)
- Se realizó el circuito de la alarma sonora, la cual funciona a 2 distintas intensidades, según la intensidad del sismo (ver capítulo 3)
- Se logró diseñar un sistema de alimentación que provea de los voltajes necesarios a las distintas etapas del circuito y que permite la conmutación entre el uso de alimentación general y el de una batería. (ver capítulos 3 y 4)
- Se realizó el diseño de un cargador de batería que determine el nivel de la misma, e inicie la carga si el valor estaba en el rango establecido. De ser así la carga se daría a la corriente y voltaje necesarios para la batería escogida. Asimismo se propuso la adición de 2 indicadores que alertarán de un nivel bajo de la batería o si es que ésta ha salido del rango de carga. (ver capítulos 3 y 4)
- El sistema cumple con la norma A.130, teniendo una duración de autonomía mayor a la mínima (1 hora) y manteniendo los niveles de luxes (10 lx al inicio de la ruta y no menor a 1lx en cualquier punto del tramo). (ver anexo N°6)
- Finalmente, al haberse logrados los objetivos específicos planteados, se puede concluir que se logró cumplir el objetivo principal, que es el diseño completo del sistema.

RECOMENDACIONES

- Como el sistema está destinado a un ambiente determinado, también lo está su lógica de control. De querer ubicarlo en una zona distinta, usar el circuito de prueba indicado en el anexo N°7, para determinar la el nivel de iluminación de dicho ambiente. Esto variará el valor de la comparación en el código del programa (ver programa presente en el CD adjunto).
- De querer un tiempo de funcionamiento autónomo mayor se consideran 2 alternativas bajo las cuales el sistema no tendría inconvenientes:
 - a) Reemplazar la batería por una de mayor capacidad. Para esto revisar en el circuito de carga la corriente que se suministra, ya que esta debe ir de acuerdo a las indicaciones del fabricante de la misma.
 - b) Disminuir la corriente entregada a los power LEDs, aumentando el valor de la resistencia de 3W. Tomar en cuenta que esto causará que el flujo luminoso generado por los power LEDs sea menor.

Tomar en cuenta que los lúmenes que el sistema brinda son mayores a los requeridos por los estándares del mercado, para que, dependiendo también del ambiente, una disminución por algún factor u ocurrencia pueda ser aceptable.

- Considerar un disparador Schmidt a la salida del LDR en lugar de usar el ADC del ATmega8, indicando que si el valor supera un límite (baja intensidad de luz), mande una señal de '1' y que se mantenga hasta que la señal pase por debajo de un nivel que significaría un nivel de luz ya aceptable.
- Se puede lograr un mayor enfoque de los lúmenes con el uso de un reflector, esto reduciría el ángulo de visión, haciendo que al aumentar la distancia, el área de la superficie a iluminar no aumente significativamente (ver anexo N°6).
- Como parte de un proceso de concientización, se puede modificar los valores umbrales de alerta en el programa del micro-procesador, de manera que se alerte desde valores de aceleración menores, que equivalen a intensidades menores de sismos, fomentando una cultura de evacuación no solo en grandes terremotos.
- Asimismo se considera la utilización del dispositivo para realizar simulacros de sismo "inopinados"; es decir, aleatorios y sin previo aviso. La sirena y la iluminación provocarían la reacción necesaria para ir entrenando a las personas (en sus viviendas, colegios, centros de trabajo, etc.) a acostumbrarse a reaccionar positiva y ordenadamente, de manera regular y sistemática.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BRAILE, L
2004 “Wave Properties” [En línea] [Consultado: 19/05/2011]
<www.tjhsst.edu/~jlafever/wanimate/Wave_Properties2.html>
- [2] RICHTER, C.F.
1958 “Elementary seismology”. W. H. Freeman and Co. Londres
- [3] El Comercio
2010 “El 70% de edificaciones en Lima se hace en la informalidad y no resistirían un terremoto como el de Chile” [En línea] [Consultado: 19/04/2011] <<http://elcomercio.pe/lima/448389/noticia-70-edificaciones-lima-se-hace-informalidad-no-resistirian-terremoto-como-chile>>
- [4] SINCLAIR, Ian
2001 “Sensors and transducers: A guide for technicians”. 3rd Edition. Newnes
- [5] LARA, Carlos
2009 “Diseño de un sistema de iluminación para espacios publicitarios pequeños usando LEDs de potencia RGB”. PUCP. Lima
- [6] Energicentro
2009 “Luces de emergencia” [En línea] [Consultado: 14/9/2011]
<<http://energicentro.blogspot.com/2009/09/luces-de-emergencia-que-distancia-se.html>>
- [7] Ministerio de Vivienda
2006 “Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú – Norma A.130”
- [8] HAVSKOV, Jens y ALGUACIL, Gerardo
2004 “Instrumentation in earthquake seismology” Volume 1. Springer. Holanda
- [9] GEOSIG
2009 “Seismic sensors and signals”. [Presentación de Power Point]. Suiza
- [10] PASCAL, Adam
2009 “Using Micro-ElectroMechanical Systems (MEMS) accelerometers for earthquake monitoring”. ES&S. Australia
- [11] KAUFMAN, Paul y ALM, Albert
2003 “Fisiología del Ojo: Aplicación clínica”. Elsevier. España
- [12] WALD, David; QUITORIANO, Vincent; HEATON, Thomas y KANAMORI, Hiroo
1999 “Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California”. USA