



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



“Rediseño y construcción del simulador de accidentes eléctricos”

O. Romero, L. Centeno, M. Yapur
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral,
Guayaquil, Ecuador
oromero@espol.edu.ec, lcenteno@espol.edu.ec, myapur@espol.edu.ec

Resumen

En este artículo se muestra el simulador de accidentes eléctricos en hospitales, el cual surge de la necesidad de enseñar, como una descarga eléctrica producida por una corriente de falla a tierra puede causar graves consecuencias en la salud de las personas. De esta manera se demuestra que estos peligros son latentes y que pueden ser evitados teniendo y respetando procedimientos de seguridad adecuados. El proyecto consiste en rediseñar el simulador de accidentes eléctricos que existe actualmente, el cual se encuentra obsoleto debido a que los dispositivos eléctricos y los componentes electrónicos empleados en dicho simulador se encuentran en mal estado.

Palabras Claves: *Corriente de falla, descarga eléctrica.*

Abstract

This article shows simulations of electrical accidents in hospitals, which arises from the need to teach how an electric shock produced by a ground fault current affects and causes different type of consequences for patients. In this way we prove that these dangers are latent and can be avoided by creating and implementing security processes in order to prevent these kinds of events. The project is to redesign the electrical accident simulator that currently exists, which is obsolete because it finds that the electrical devices and electronic components used in the simulator are actually in poor condition.

Key Words: *Hick's Law, HUMAN REACTION TIME, 16F876A Microcontroller.*

1. Introducción

No causa sorpresa revisar estadísticas y conocer que el número de accidentes eléctricos ha ido en aumento debido a la proliferación de equipos eléctricos y electrónicos para la industria y el hogar. Esto no sería trascendente si no se tomase en cuenta el gran desarrollo que ha experimentado la instrumentación electrónica para la práctica médica en los últimos años.

Dar a conocer las normas de seguridad que se deben tener presentes en ambientes hospitalarios es el objetivo principal de esta tesis; para ello, se

implementará un rediseño del simulador de accidentes eléctricos con la finalidad de ayudar a entender que cuando una falla ocurre ó, la seguridad no es la adecuada ó, el equipo no es utilizado en forma apropiada, éste se convierte en un peligro potencial tanto para el paciente como para el médico y el personal paramédico.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Efectos de la corriente

Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo pueden ocasionar desde lesiones físicas secundarias (golpes, caídas, etc.), hasta la muerte por fibrilación ventricular. Una persona se electriza cuando la corriente eléctrica circula por su cuerpo, es decir, cuando la persona forma parte del circuito eléctrico, pudiendo, al menos, distinguir dos puntos de contacto: uno de entrada y otro de salida de la corriente. La electrocución se produce cuando dicha persona fallece debido al paso de la corriente por su cuerpo.

La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento. Por tetanización entendemos el movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la energía eléctrica. La asfixia se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio.

Otros factores fisiopatológicos tales como contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, parada temporal del corazón, etc. pueden producirse sin fibrilación ventricular. Para las quemaduras se han establecido unas curvas (**Figura 1**) que indican las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente que circula por un área determinada (mA/mm^2) y el tiempo de exposición a esa corriente. Se distinguen las siguientes zonas:

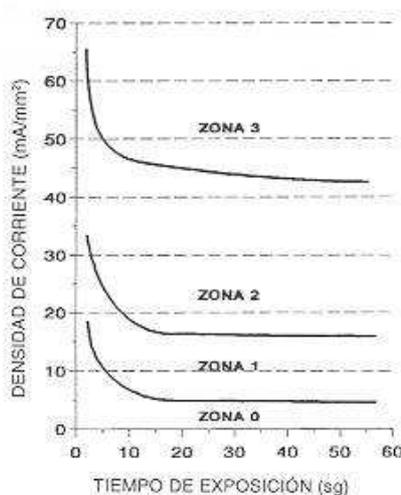


Figura 1. Gráfico que muestra las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente.

Se distinguen las siguientes zonas: **Zona 0:** habitualmente no hay alteración de la piel, salvo que el tiempo de exposición sea de varios segundos, en cuyo caso, la piel en contacto con el electrodo puede tomar un color grisáceo con superficie rugosa. **Zona 1:** se produce un enrojecimiento de la piel con una hinchazón en los bordes donde estaba situado el electrodo. **Zona 2:** se provoca una coloración parda de la piel que estaba situada bajo el electrodo. Si la duración es de varias decenas de segundos se produce una clara hinchazón alrededor del electrodo. **Zona 3:** se puede provocar una carbonización de la piel.

2.2 Descarga eléctrica

Se denomina descarga eléctrica en un objeto cuando la corriente eléctrica usa como medio de transmisión a este mismo. En el caso que este objeto resulta ser el cuerpo humano, decimos entonces que la persona a sufrido una descarga eléctrica. La electricidad daña los tejidos al transformarse en energía térmica. El daño tisular no ocurre únicamente en el lugar de contacto con la piel, sino que puede abarcar a tejidos u órganos subyacentes a la zona de entrada o de salida de la corriente.

2.3 Resistencia que ofrece el cuerpo humano al paso de la corriente eléctrica

Entre los factores determinantes tenemos la edad, el sexo, las tasas de alcohol en sangre, el estado de la superficie de contacto (humedad, suciedad, etc.), la presión de contacto, etc.

El valor máximo de resistencia se establece en 3000 Ohmios y el mínimo en 500 Ohmios. La piel seca tiene una gran resistencia, del orden de 4.000 Ohmios para la corriente alterna. En el caso de piel húmeda se reducen los niveles de resistencia hasta 1500 Ohmios, con lo que sólo con 100 V la intensidad que atraviesa el organismo puede producir la muerte. La sudoración también es un factor que puede disminuir la resistencia de la piel.

La resistencia en el interior del organismo es, en general, 1000 veces menor que la de la piel, siendo menor para la corriente alterna. En el interior del organismo la resistencia disminuye en proporción directa a la cantidad de agua que presentan los distintos tejidos; así, de mayor a menor resistencia tenemos los huesos, el tendón, la grasa, la piel, los músculos, la sangre y los nervios. La corriente siempre seguirá el recorrido que ofrezca una menor

resistencia, este recorrido depende de donde estén aplicados los dos puntos de tensión (se forma un puente en el cuerpo humano) o la forma en que se realiza la descarga (cuando el cuerpo está haciendo contacto con un punto de tierra).

2.4 Densidad de corriente eléctrica

El término corriente eléctrica, o simplemente corriente, se emplea para describir el flujo de carga que pasa por alguna región. La mayor parte de las aplicaciones prácticas de la electricidad tiene que ver con corrientes eléctricas. Una gran variedad de aparatos domésticos funcionan con corriente eléctrica alterna. En estas situaciones comunes, el flujo de carga fluye por un conductor; por ejemplo, un alambre de cobre. Es posible también que existan corrientes fuera de un conductor. Por ejemplo, un haz de electrones en el tubo de imagen de un televisor constituye una corriente.

La unidad de corriente del Sistema Internacional es el Amperio (A). Esto significa que 1 Amperio de corriente es equivalente a 1Culombio de carga que pasa por el área de la superficie en 1 segundo. Si se considera un conductor de área transversal A que conduce una corriente I. La densidad de corriente J en el conductor se define como la corriente por unidad de área.

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$

La densidad de corriente (J) tiene unidades del Sistema Internacional A/m². La expresión es válida sólo si la densidad de corriente es uniforme y la superficie del área de la sección transversal A es perpendicular a la dirección de la corriente.

3. Construcción del Equipo

Con la finalidad de mejorar el proceso de enseñanza de riesgos y accidentes eléctricos en ambientes hospitalarios, se realizó un rediseño del simulador ya existente.

Se ha implementado un circuito monitor con pantalla LCD, el cual muestra las lecturas de corriente que circulan a través del corazón. De igual manera, un amperímetro analógico es utilizado para sensar y

mostrar la corriente. Los equipos simuladores de accidentes eléctricos tienen el mismo diseño del simulador anterior.

3.1 Componentes del simulador

Básicamente el simulador anterior consiste de una caja de dimensiones conocidas, cuyo panel central está ocupado por la silueta de un “paciente”, el cual tiene contactos localizados sobre ambos brazos y sobre la pierna derecha; estos contactos se conectan a una red de 6 resistores de 1.2KΩ y 2 potenciómetros de 100Ω cada uno. Estos resistores tienen un arreglo tipo puente cuyos dos terminales de salida se conectan a una resistencia de 100 Ω que simula al corazón.

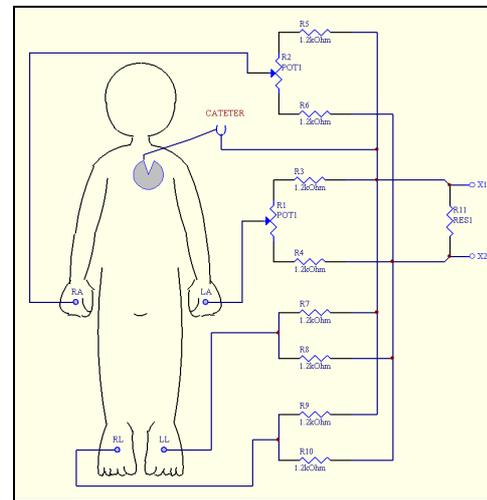


Figura 2. Gráfico que representa la distribución de corrientes y resistencias en el cuerpo del simulador.

3.1.1 Monitor de presión

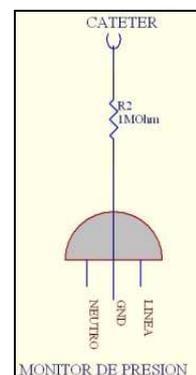


Figura 3. Diagrama del circuito monitor de presión

Este dispositivo simula un monitor de presión. Se encuentra conectado al “catéter cardiaco” y a la tierra del paciente a través de un resistor de $1M\Omega$, el cual simula la resistencia del líquido que hay en el catéter. Removiendo el puente, como lo muestra la Figura 3.4; la tierra puede ser abierta y, por tanto, podrá ser usado cuando un moderno transductor de presión sea conectado.

3.1.2 Monitor de EKG

La frecuencia cardíaca es la velocidad del pulso, es decir los latidos por minuto. Se puede obtener de forma manual y aislada (mediante estetoscopio), o de forma continua mediante un monitor con EKG, el cual dará un dato numérico y una curva con las ondas P, complejo QRS y T.

El simulador anterior tiene conectadas las derivaciones del paciente (RL, RA, LA) directamente con la tierra del paciente (a través de la derivación RL) o a través de un resistor de $1M\Omega$. El efecto de un monitor moderno, con derivaciones aisladas al paciente, puede ser demostrado removiendo el puente, el cual abre la terminal de tierra.

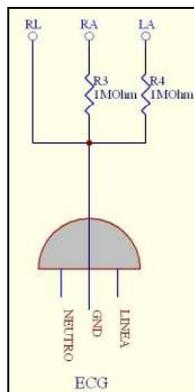


Figura 4. Diagrama del circuito monitor EKG

3.1.3 Lámpara

Los capacitores de $0.001 \mu f$ simulan una lámpara conectada a un cable de dos conductores; estos capacitores representan el escape de corriente capacitiva de alrededor de 45 mA; esta corriente se produce en cualquiera de los dos conductores cuando una persona toca la carcasa de la lámpara y ésta no se encuentra aterrizada.

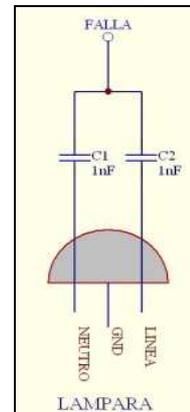


Figura 5. Diagrama del circuito eléctrico de la lámpara

3.1.4 Enceradora

En esta simulación se va a representar una enceradora o cualquier equipo de limpieza que consume una gran potencia y, que sufre un desperfecto, por medio de una resistencia de 100Ω y $100W$. El desperfecto está entre el alambre vivo y la carcasa del equipo, el cual está normalmente aterrizado a través del alambre de tierra del cable de línea.

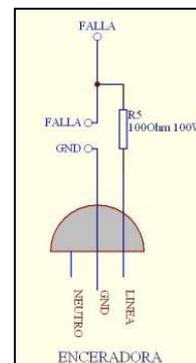


Figura 6. Diagrama del circuito eléctrico de la enceradora

3.1.5 Cama eléctrica

El cable de conexión que representa a la cama eléctrica consta de dos conductores: la tierra y la línea viva. El capacitor de $0.0002\mu f$ conectado en una de las líneas se lo utiliza para simular una fuga de corriente de alrededor de 90 microamperios cuando el puente está conectado.

La cama eléctrica está conectada a tierra y, por la construcción de tubería metálica de la cama, el paciente también lo está. Removiendo el puente (se abre la tierra) la corriente de fuga circulará a través del paciente.

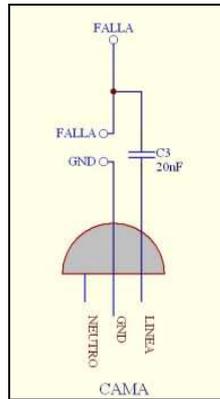


Figura 7. Diagrama del circuito de la cama eléctrica

4. Funcionamiento del simulador

En esta sección se procederá a evaluar los tres casos para los cuales el simulador de accidentes eléctricos en ambientes hospitalarios fue diseñado. Estos casos son los siguientes:

4.1 Caso I

Para el caso uno, se necesita el simulador de la lámpara, el simulador de la cama y el arreglo de resistencias. Realizando el procedimiento de simulación, se espera que una corriente de 0.3mA circule a través del corazón (entre los pines X1 y X2), el cual es simulado por una resistencia de 100Ω.

La cama se encuentra conectada a una varilla de bronce, la cual cubre el contorno de la misma, de esta manera, se simula la cama de un hospital, las cuales en su mayoría son metálicas y poseen un motor eléctrico, el cual al ser accionado mediante un control, permite cambiar la posición del paciente.

El arreglo de la cama contiene dos terminales denominados de falla (que es el ramal donde se produce la falla) y de tierra. Para el caso 1, se conectan estos terminales entre sí por medio de un cable banana-banana, de esta manera se aterriza la cama, evitando que cualquier corriente de falla circule por ésta.

La varilla de la cama se conecta al terminal RL (pierna derecha) del arreglo de resistencias, que se encuentra en el interior de la muñeca y, el terminal de la lámpara se conecta al terminal LA (brazo izquierdo) del arreglo de resistencias.

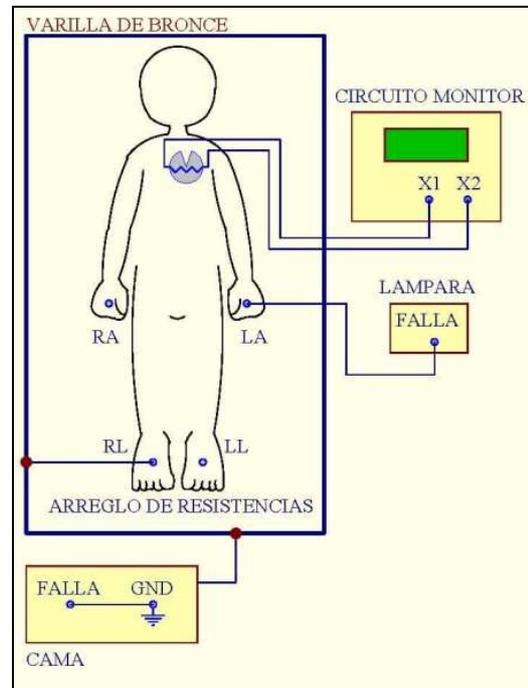


Figura 8. Diagrama de conexiones entre los módulos, caso I

La lámpara está compuesta por dos capacitores de 470nf en serie, los cuales se alimentan de una fuente 115Vac. Como se observa en la Figura 8, el circuito simula una falla en la carcasa de la misma, debido a que la lámpara no se encuentra a tierra, al producirse la falla, una corriente de fuga circulará hacia el cuerpo del paciente provocando un posible **macroshock**.

4.2 Caso II

Para el segundo caso, se simula una falla en el motor eléctrico de la cama; adicional a esto, el paciente tiene conectado el monitor de presión por medio de un catéter.

Debido a que el motor eléctrico de la cama presenta una fuga de corriente en su armadura, y en este caso la cama no se encuentra aterrizada, esta corriente fluye a través del cuerpo del paciente, cerrando el circuito con el monitor de presión, produciendo un posible microshock.

El monitor de presión se simula con una resistencia de $1M\Omega$ conectado a tierra. La corriente que circula a través del corazón en este caso será de $50\mu A$ entre los pines X1 y X2.

Para esta prueba, se remueve el conector banana-banana que une los terminales de falla con tierra en el arreglo de la cama; con esto se aísla la cama de la tierra y se obtiene una corriente de falla que circula a través de la varilla de la cama. Al igual que en el caso 1, el arreglo de resistencias se conecta a la varilla por medio del terminal RL (pierna derecha). Se adiciona el monitor de presión conectando el terminal del mismo al catéter, el cual proviene del terminal X1 conectado al arreglo de resistencias que se encuentra ubicado dentro de la muñeca.

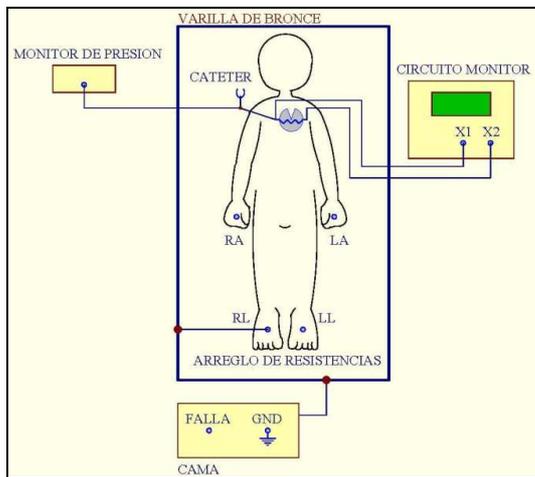


Figura 9. Diagrama de conexiones entre los módulos, caso II.

4.3 Caso III

En esta prueba intervienen varios equipos médicos, básicamente consiste en simular el paso de una pequeña corriente a través del cuerpo del paciente, esto sucede cuando una falla se produce en un tomacorriente cercano a los equipos de monitoreo, como el EKG y el monitor de presión.

Cuando se tienen 2 tomacorrientes en diferentes circuitos, ambos conectados al mismo panel de distribución, se produce una caída de tensión debido a la resistencia interna de los conductores. La resistencia del conductor entre el panel de distribución y los tomacorrientes del circuito TC2 es simulada por una resistencia de 10Ω debido a una considerable

distancia entre éstos. R11 representa la caída de tensión entre el panel de distribución y los tomacorrientes del circuito TC2; en el tomacorriente TC1 se energiza el EKG, mientras que en TC2 se energiza el monitor de presión y la encerradora.

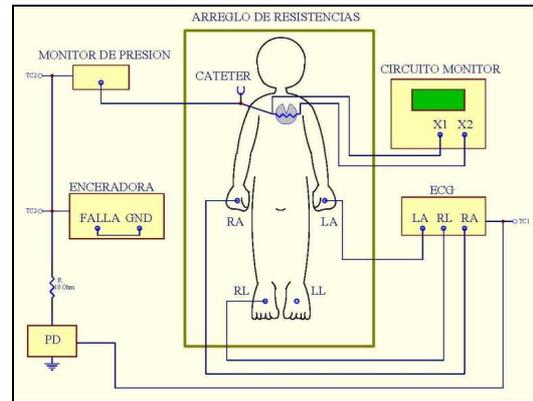


Figura 10. Diagrama de conexiones entre los módulos, caso III.

Se conecta el monitor de presión al catéter, y el EKG se deben conectar sus tres terminales al arreglo de resistencias LA, RL y RA. La encerradora se simula con un arreglo de resistencias de 100Ω , el cual contiene dos terminales denominados falla y tierra. Al conectarse entre sí, se produce la falla en la encerradora, la cual genera una corriente de $1.15A$ hacia la tierra del panel de distribución, mientras que una mínima corriente de $1\mu A$ retorna al paciente a través del monitor de presión cerrando el circuito por medio del EKG.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. Al realizar diferentes visitas a hospitales de la ciudad de Guayaquil, se puede observar el incumplimiento de las normas y reglas que se deben seguir, para procurar evitar cualquier tipo de accidente eléctrico, tal como se indica en el contenido del trabajo. El error más común en los hospitales, es el de no tener circuitos independientes para cada equipo eléctrico utilizado en la vecindad del paciente, así como no tener tomacorrientes polarizados.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



2. El proyecto tiene como objetivo fundamental mostrar los peligros latentes que existen en los hospitales, al tener equipos que no poseen una correcta conexión a tierra. Ésta es una de las principales causas de accidentes eléctricos en estos establecimientos, ya que al tener equipos médicos aterrizados no solo garantiza el buen funcionamiento de un equipo, sino que también provee a los pacientes y a las personas que manipulan los equipos un alto grado de protección ante posibles fallas eléctricas. Con éste propósito se han desarrollado tres casos, el primero consiste en mostrar el peligro de tener junto a la cama eléctrica, equipos sin tierra, el segundo muestra el peligro de no tener aterrizada la cama eléctrica y, el caso tres muestra el peligro de tener lazos de tierra.
6. El proyecto demuestra que corrientes pequeñas pueden causar grandes lesiones cuando no se toman en cuenta las normas eléctricas para ambientes hospitalarios, ya que en la mayoría de los casos se encuentran conectados equipos médicos tanto en la vecindad del paciente como en el cuerpo del mismo.

5.2 Recomendaciones

3. En el caso 1, se puede observar claramente el peligro de tener junto a la cama eléctrica equipos sin una correcta conexión a tierra. Debido a que cualquier parte del cuerpo de un paciente puede tener contacto con la parte metálica de la cama eléctrica, y a la vez tener contacto con cualquier equipo eléctrico sin una conexión a tierra, al momento de producirse la falla en este caso en la lámpara, una corriente de fuga circularía a través del paciente provocando un macroschock.
4. En el segundo caso, se representa el peligro de no tener aterrizada la cama eléctrica. Al momento de hacer contacto con la cama, y tener conectado un monitor de presión, se produce una falla en el motor eléctrico de la cama; esta corriente circulará a través del corazón del paciente descargándose hacia el monitor de presión que se encuentra aterrizado, provocando un microschock.
5. Al conectarse diferentes equipos eléctricos al mismo circuito en la vecindad del paciente, como se muestra en el caso 3, se produce una falla en la encerradora, la cual genera una corriente de fuga hacia la tierra del panel de distribución, mientras que una mínima corriente en el orden de los microamperios retorna al paciente a través del monitor de presión cerrando el circuito por medio del EKG. Esta corriente provoca un microschock en el paciente, lo que nos demuestra el peligro de tener lazos de tierra en un mismo circuito.
1. Todo equipo eléctrico que se encuentra en un hospital debe tener un sistema de puesta a tierra para evitar cualquier tipo de accidente, especialmente en áreas donde el paciente se encuentra expuesto a mayores riesgos, como lo son la unidad de cuidados intensivos, quirófanos, salas de emergencias, etc.
2. Cada equipo eléctrico debe tener su propio circuito de alimentación independiente, es decir, debe estar conformado por un breaker, los conductores, y el tomacorriente. La finalidad de este procedimiento es evitar un lazo de tierra, de manera que en caso de existir una falla en cualquier equipo eléctrico, ésta sea enviada a tierra, evitando que la corriente de falla circule por el cuerpo del paciente.
3. Varias empresas fabricantes de tomacorrientes venden equipos de protección de falla a tierra, son los llamados GFCI (Ground Fault Circuit Interrupters), no son muy conocidos en el medio, pero debería existir una ley que obligue a los Hospitales la instalación de estos tomacorrientes. El funcionamiento es muy simple, monitorean que la corriente que sale de la línea, sea la misma que retorna a través del neutro, en



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



caso de existir cualquier anomalía, el dispositivo hace que el tomacorriente se dispare brindando seguridad al paciente cuando ocurre una falla de corriente.

6. Agradecimientos

A Dios, por regalarme una familia ejemplar, mi madre ejemplo de tenacidad y coraje, mi hermana ejemplo de superación y éxito y mi padre una demostración de sacrificio y lealtad a sus principios. Agradezco además a una persona que nos guió y nos brindó todo el apoyo necesario durante la realización del proyecto, el Ing. Miguel Yapur Director de Tesis.

Oswaldo.

6. Referencias Bibliográficas

[1] Ing. Gabarda Pérez Luis, “**Corriente eléctrica: Efectos al atravesar el organismo humano**”, web: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_400.pdf

[2] Ing. Alamos Hernández Juan, “**Descripción General de un Sistema de Distribución**”, web: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electronica_y_electronica/sistemadistribucionenergiaelectrica/default.asp

[3] Ing. Yapur Miguel, “**Instrumentación Clínica**”. Apuntes de la materia del Tópico de graduación de Electrónica Médica.

[4] Ing. Ezquerro Gonzalo, “**Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación de Hospitales y Centros de Atención Primaria**”, web: <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/elcategoria.1030/id.42/reImenu.53>