

# PLAN DE TRABAJO DE GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA

Modalidad Investigación:

***Diseño e implementación de una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre.***

Autores

ANDRÉS EDUARDO SUAREZ PRADA  
JUAN CARLOS SIERRA MENDEZ  
LUZBIN RAUL BAUTISTA VALDEZ

Director

ING. JORGE EDUARDO QUINTERO MUÑOZ

Codirector

Ph.D. DANIEL ALFONSO SIERRA BUENO



**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2017**

Bucaramanga, 31 de julio de 2017

Profesores

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E<sup>3</sup>T)

Universidad Industrial de Santander

Presente

Referencia: Presentación del Plan de Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación: “Diseño e implementación de una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre”

Estimados profesores,

Considerando los Artículos 3o., 8o. y 11o. del Capítulo IX del Título V del Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado nos permitimos presentar a su consideración el plan de trabajo de grado en la modalidad de investigación “diseño e implementación de una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre” preparado por los estudiantes de ingeniería electrónica Andrés Eduardo Suarez Prada, Código 2090483, Juan Carlos Sierra Méndez, Código 2092030 y Luzbin Raúl Bautista Valdes, Código 2081531. Este documento cuenta con nuestro visto bueno por lo que respetuosamente solicitamos su evaluación y la programación de la defensa oral del mismo.

Cordial saludo,

---

ING. JORGE EDUARDO QUINTERO MUÑOZ  
Director del Trabajo  
Escuela de Ingenierías Eléctrica,  
Electrónica y de Telecomunicaciones

---

PhD. DANIEL ALFONSO SIERRA BUENO  
Codirector del Trabajo  
Escuela de Ingenierías Eléctrica,  
Electrónica y de Telecomunicaciones

---

ANDRÉS EDUARDO SUAREZ PRADA  
Estudiante de Ingeniería Electrónica

---

JUAN CARLOS SIERRA MÉNDEZ  
Estudiante de Ingeniería Electrónica

---

LUZBIN RAÚL BAUTISTA VALDES  
Estudiante de Ingeniería Electrónica

ANEXO: Original del Documento del Plan de Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación “Diseño e implementación de una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre”

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
<hr/> Andrés Eduardo Suarez Prada <i>Estudiante de Ingeniería Electrónica</i> Código UIS: 2090483	<hr/> Ing. Jorge Eduardo Quintero Muñoz <i>Director del Trabajo de Grado</i>	<i>Comité de Trabajos de Grado E<sup>3</sup>T</i>  Acta No. _____ del _____ de 2016 Código del Trabajo: _____
<hr/> Luzbin Raul Bautista Valdes <i>Estudiante de Ingeniería Electrónica</i> Código UIS: 2081531	<hr/> PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno <i>Codirector del Trabajo de Grado</i>	<hr/> <i>Evaluador designado por el Comité de Trabajos de Grado E<sup>3</sup>T</i>
<hr/> Juan Carlos Sierra Méndez <i>Estudiante de Ingeniería Electrónica</i> Código UIS: 2092030		

**Universidad Industrial de Santander (UIS)**

**Documento Confidencial**

Ni la totalidad ni parte de este documento puede reproducirse, almacenarse o transmitirse por algún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación magnética o electrónica o cualquier medio de almacenamiento de información y sistemas de recuperación, sin permiso escrito de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Este es un documento interno de la UIS. Al recibirlo no podrá pasarlo a persona alguna excepto las que se le indique en la lista de distribución autorizada por la UIS. Cualquier persona externa a la UIS que utilice la información en este documento asume la responsabilidad por su empleo.

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

1. Especificaciones del Proyecto .....	6
1.1 Título de la Investigación.....	6
1.2 Director de la Investigación .....	6
1.3 Codirector de la Investigación .....	6
1.4 Autores de la Investigación .....	6
1.5 Entidades Interesadas en la Investigación .....	6
1.6 Costo de la Investigación .....	6
2. Descripción del Proyecto .....	7
2.1 Planteamiento del Problema .....	7
2.2 Objetivos del Proyecto .....	7
2.2.1 Objetivo General.....	7
2.2.2 Objetivos Específicos .....	7
2.2.3 Justificación del Proyecto .....	8
3. Metodología Propuesta.....	9
3.1 Metodología de trabajo.....	9
3.2 Plan de trabajo .....	9
3.2.1 Etapa de fundamentación teórica y documentación .....	9
3.2.2 Etapa de simulación y diseño .....	9
3.2.3 Etapa de construcción e implementación .....	10
3.2.4 Etapa de producción de documentación.....	10
4. Alcance Del Proyecto.....	11
5. Validación Del Proyecto.....	12
5.1 Validación del mínimo sangrado. ....	12
5.2 Validación del control de potencia.....	13
5.3 Validación de seguridad eléctrica.....	13
6. Diagrama De Bloques De Unidad Electroquirúrgica .....	14
6.1 Módulo Mínimo Sangrado .....	15
6.2 Módulo Bioimpedanciometro .....	15

6.3	Modulo Generador de Señal .....	16
7.	Cronograma.....	17
8.	Presupuesto De Proyecto .....	19
9.	Bibliografía.....	21

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productos de exportación en Colombia.....	8
Tabla 2. Tabla de Impedancia en Tejidos .....	13
Tabla 3. Cronograma de actividades.....	17
Tabla 4. Costo de recurso humano. ....	19
Tabla 5. Costo de equipos y software. ....	19
Tabla 6. Costo de componentes electrónicos.....	19
Tabla 7. Costo total del proyecto.....	20

## **1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

### **1.1 Título de la Investigación**

Diseño e implementación de una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre.

### **1.2 Director de la Investigación**

Ing. Jorge Eduardo Quintero Muñoz

Profesor Cátedra Asociado de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

### **1.3 Codirector de la Investigación**

PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno.

Profesor Titular de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

### **1.4 Autores de la Investigación**

Andrés Eduardo Suarez Prada

Juan Carlos Sierra Mendez

Luzbin Raúl Bautista Valdes

Estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones UIS.

### **1.5 Entidades Interesadas en la Investigación**

- Universidad Industrial de Santander (UIS).
- Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T).
- Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS).

### **1.6 Costo de la Investigación**

El proyecto tiene un costo total de aproximadamente \$75 243 000.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1 Planteamiento del Problema**

La cirugía es un procedimiento invasivo contemplado dentro de la medicina como un método cuya misión es curar mediante incisiones que permiten operar directamente la parte afectada del cuerpo. Dicho procedimiento ha evolucionado con el paso de los años y los implementos usados para tal fin se han desarrollado, no solo para permitir recuperar la funcionalidad del órgano o tejido involucrado sino también para disminuir el riesgo implícito en las complicaciones propias que conlleva una incisión, como la infección germinal por contaminación o la pérdida descontrolada de sangre, sea causada por la intervención en proceso, o alguna afección del sistema circulatorio (hipertensión, anemia, diabetes, etc.). [1]

Este último tópico plantea entonces la necesidad de diseñar un elemento que permita un grado de corte eficiente del mismo modo que se minimiza el factor de pérdida sanguínea del paciente, es allí donde juega un papel importante el corte que es realizado por medio de corrientes eléctricas, pues además del seccionamiento del tejido, el mismo instrumento permite la cauterización del área circundante.

### **2.2 Objetivos del Proyecto**

#### **2.2.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar una unidad electroquirúrgica enfocada en la reducción del volumen de pérdida de sangre.

#### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Garantizar que la unidad electroquirúrgica desarrollada tenga la opción de cortar únicamente en la fase diástole de la onda de presión arterial.
- Diseñar la unidad electroquirúrgica con un sistema de control automático de potencia, para un rango de bioimpedancia del paciente definido.
- Asegurar que la unidad electroquirúrgica desarrollada cumpla con las normas básicas de seguridad eléctrica IEC.



### 2.2.3 Justificación del Proyecto

La pérdida de sangre excesiva en una cirugía conlleva a posibles complicaciones, una de estas puede ser un shock hipovolémico, la cual es una afección de emergencia en la cual el corazón es incapaz de bombear suficiente sangre al cuerpo. Este tipo de afección puede hacer que muchos órganos dejen de funcionar. [2]

Por esta razón se busca desarrollar un equipo el cual minimice la pérdida de sangre en los procedimientos quirúrgicos.

Adicional con este proyecto pretendemos generar impacto social y económico. Sabiendo que a la fecha Colombia es un país que tiene poco desarrollo en el área de electrónica y su economía se basa principalmente en el petróleo y sus derivados. Según estadísticas de la CVN (Centro Virtual de Negocios) tan sólo el 2% de las exportaciones de nuestro país pertenece a equipo eléctrico, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Productos de exportación en Colombia.**

PRODUCTO	VALOR FOB USD MM	PARTICIPACIÓN
Petróleo y sus derivados	\$5.070	44%
Café, té, yerba mate y especias	\$808	7%
Flores	\$620	5%
Perlas, piedras preciosas y semipreciosas, metales preciosos, bisutería; monedas	\$520	5%
Frutas	\$485	4%
Plásticos y sus manufacturas	\$375	3%
Azúcares y artículos de confitería	\$260	2%
Vehículos automóviles	\$199	2%
Equipo eléctrico	\$188	2%
Otros	\$3.016	26%
Total general	\$11.541	100%

[3]

Lo cual deja en evidencia que Colombia tiene la necesidad de importar la gran mayoría de equipos electrónicos. El caso de los equipos de electrocirugía no es la excepción, por lo cual la mayoría, por no decir que la totalidad de estos equipos son procedentes del exterior. Importar estos equipos acarrea grandes costos debido a los impuestos arancelarios y se presentan dificultades después de su compra por el tema de mantenimiento y/o reparaciones.

El hecho de producir equipos electromédicos como nuestro electrobisturí, que es diseñado 100% en Colombia da una opción de fácil acceso de estas tecnologías, a buen precio y equipos de alta confiabilidad a los cirujanos o entidades que lo

requieran. Además, abre una puerta a la oportunidad de empleo y promueve el desarrollo del país como posible fabricante y no como consumidor de esta tecnología.

### **3. METODOLOGÍA PROPUESTA**

#### **3.1 Metodología de trabajo**

Se ha optado por imitar una práctica de desarrollo ágil de proyectos como lo es “scrum” que es usado usualmente en proyectos de desarrollo de software, adicional se tratará de mantener un flujo de trabajo constante y alcanzar un ritmo sostenible usando técnicas de trabajo como Kanban (sistema de tarjetas). Aunque no se va a seguir fielmente todos los aspectos de estas dos metodologías se tratará de sacar el mayor provecho de ellas.

Para realizar el cronograma, visualizar las tareas pendientes en desarrollo, los tiempos de trabajo, gastos, etc., se usará el software de gestión de proyectos llamado “Microsoft Project” con el cual se tendrán fechas estimadas, se podrá visualizar de forma rápida la ruta crítica del proyecto y se obtendrá una fecha tentativa final que se pretende no esté lejos de la fecha real de terminación del proyecto.

#### **3.2 Plan de trabajo**

El proyecto se desarrollará de acuerdo a las etapas planteadas a continuación, se tratará de seguir este orden y ser lo más fiel posible en los tiempos propuestos para cada tarea en el cronograma de actividades:

##### **3.2.1 Etapa de fundamentación teórica y documentación**

Esta etapa es el punto de partida para la realización del proyecto, se pretende realizar una investigación en busca de las tecnologías que se están usando actualmente para los equipos de electrocirugía. Se eligen diferentes fuentes de información confiables y a la vanguardia con el fin de obtener una base de datos sólida y lograr encaminar el proyecto hacia una segunda fase. Teniendo el tema claro se procederá a tomar decisiones como la elección de un software adecuado y la elaboración de las especificaciones de requisitos del dispositivo. También se podrá realizar una planificación y estimación detallada de los recursos y tiempos necesarios para la ejecución del proyecto.

##### **3.2.2 Etapa de simulación y diseño**

Esta fase es quizás la más importante y de mayor duración en el desarrollo del proyecto ya que involucra el desarrollo de modelos, simulación y diseño de un grupo

de módulos en los que se divide el electrobisturí y posterior a ello, la integración de todos los módulos con el fin de obtener un diseño preliminar del dispositivo, realizar pruebas de laboratorio para verificar resultados de las simulaciones, depuración de los errores o problemas que presente el modelo funcional, antes de iniciar el diseño del circuito impreso para el prototipo, de manera que se rija bajo la normatividad que deben cumplir los equipos médicos. Esta etapa también involucra el diseño de piezas como lo son el chasis del aparato y los paneles o perillas, elementos con los que el usuario podrá interactuar con el dispositivo.

### **3.2.3 Etapa de construcción e implementación**

Después de haber hecho un minucioso diseño y realizado pruebas en la etapa inmediatamente anterior, se pasa a la etapa de la fabricación y ensamble de los elementos, se realizarán pruebas para validar el correcto funcionamiento del dispositivo. En caso de presentarse inconvenientes en esta etapa se tendrá que proceder a corregir y posiblemente realizar nuevamente algunas tareas de la etapa anterior, por lo cual también podrá abarcar un tiempo considerable. Gracias a la metodología planteada se podrán realizar pequeños cambios en los requerimientos funcionales o no funcionales del dispositivo, en esta etapa en caso de que sea necesario.

### **3.2.4 Etapa de producción de documentación**

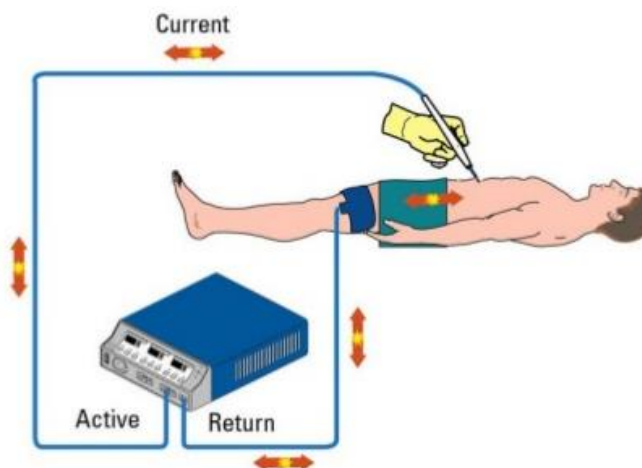
En esta última fase se realizará la documentación, como lo es el libro para del proyecto de grado y adicional se realizarán los manuales de uso y mantenimiento del equipo. La documentación para este tipo de dispositivos es sumamente importante porque de esta depende su buen uso y evita posibles daños, problemas o accidentes que puedan poner en riesgo la integridad física del paciente o el cirujano.

#### 4. Alcance Del Proyecto

Podemos describir la planta o sistema circuital del proyecto como la cohesión entre el generador de ondas electroquirúrgica, la punta o electrodo activo, denominado electrobisturí, y el electrodo pasivo o de retorno, los cuales en conjunto conforman la unidad electroquirúrgica.

Para el proyecto se hará entrega funcional únicamente del generador de ondas electroquirúrgica, el cual descrito más a fondo contiene los módulos de mínimo sangrado, control automático de potencia y generación de señales, cumpliendo con los parámetros preestablecidos en los objetivos y confrontando los resultados de la manera en que se plantea en la sección de validación del proyecto.

Los electrodos (tanto el electrobisturí como el electrodo de retorno) no serán parte de los entregables del proyecto, esto debido a que la construcción de estos generaría un costo en tiempo y dinero superior al que se obtiene al comprar dichos elementos ya hechos en el mercado actual. Además, la versatilidad y compatibilidad de dichos elementos con el dispositivo creado y los demás dispositivos de electrocirugía actuales, permite que posteriores investigaciones generen mejores resultados basados en una gama de pruebas más amplia y eficaz.



**Figura 1. Electrocirugía Monopolar**

Tomado de Smith & Smith. Operative Techniques in Otolaryngology- head and neck surgery, Vol. 11, Num. 1, Marzo 2000, pp 66-70

Además, la unidad electroquirúrgica tendrá como único control accesible la potencia aplicada a la salida, por lo cual el resto de características presentes en nuestro sistema serán parámetros constantes y definidos con anterioridad por el equipo de trabajo. Todas estas pautas estarán presentes en un documento anexo al finalizar el trabajo.

## **5. Validación Del Proyecto**

Dados los objetivos específicos planteados para el proyecto se proponen una serie de actividades con las cuales se pretende certificar el correcto funcionamiento del dispositivo y el éxito en las metas pautadas desde un principio.

Es pertinente mencionar que las pruebas necesarias para comprobar la hipótesis acerca del mínimo sangrado no se llevaran a cabo en esta tesis de grado, por lo cual la validación de este proyecto, verificara el correcto funcionamiento del dispositivo cuyos lineamientos fueron planteados por medio de los objetivos previamente descritos.

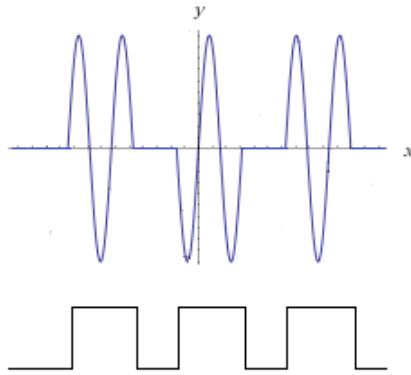
Dicho esto, toda prueba a realizar se hará con tejido animal (de preferencia cerdo, debido a la similitud con el tejido humano) y/o usando impedancias que simulen un comportamiento similar al esperado en una intervención quirúrgica.

Se plantea además la posibilidad de la continuación de esta investigación, en el campo de la medicina propiamente dicho, en donde sí se pondrá a prueba por medidas tangibles y estadística descriptiva el desempeño del dispositivo.

Para certificar el correcto funcionamiento de la unidad electroquirúrgica se tendrán en cuenta los siguientes parámetros y pautas a seguir, en donde los objetivos plantean una problemática o situación a cumplir y el método estipulado en esta sección viene siendo el criterio usado para validar o cuantificar los resultados obtenidos.

### **5.1 Validación del mínimo sangrado.**

El punto crítico del electrobisturí como fue lo planteado en los objetivos, es la característica de reducción en el volumen de sangre perdida por el paciente en el proceso de cirugía, en donde al no poderse realizar pruebas de corte y coagulación, se procederá a hacer una comparación de las ondas moduladas del dispositivo con la señal binaria obtenida del ECG para la presión sanguínea.



**Figura 1. Comparación de Graficas de Señal Aplicada y Señal Binaria de Referencia de Presión Sanguínea.**

## 5.2 Validación del control de potencia.

En principio la manera de validar el control automático para el sistema del electrobisturí, se probará a través de la variación controlada de impedancias, de acuerdo a una tabla de valores de bioimpedancia en tejidos, avalada, y que permita un resultado medible para las funciones del aparato (corte, coagulación, y minimización de sangrado).

**Tabla 2. Tabla de Impedancia en Tejidos**

<b>Muestra</b>	<b>Resistividad [<math>\Omega/\text{cm}</math>]</b>
Sangre	150
Plasma	63
Fluido de la espina cerebral	65
Pulmón	1275
Riñón	370
Cerebro	580
Grasa	2500

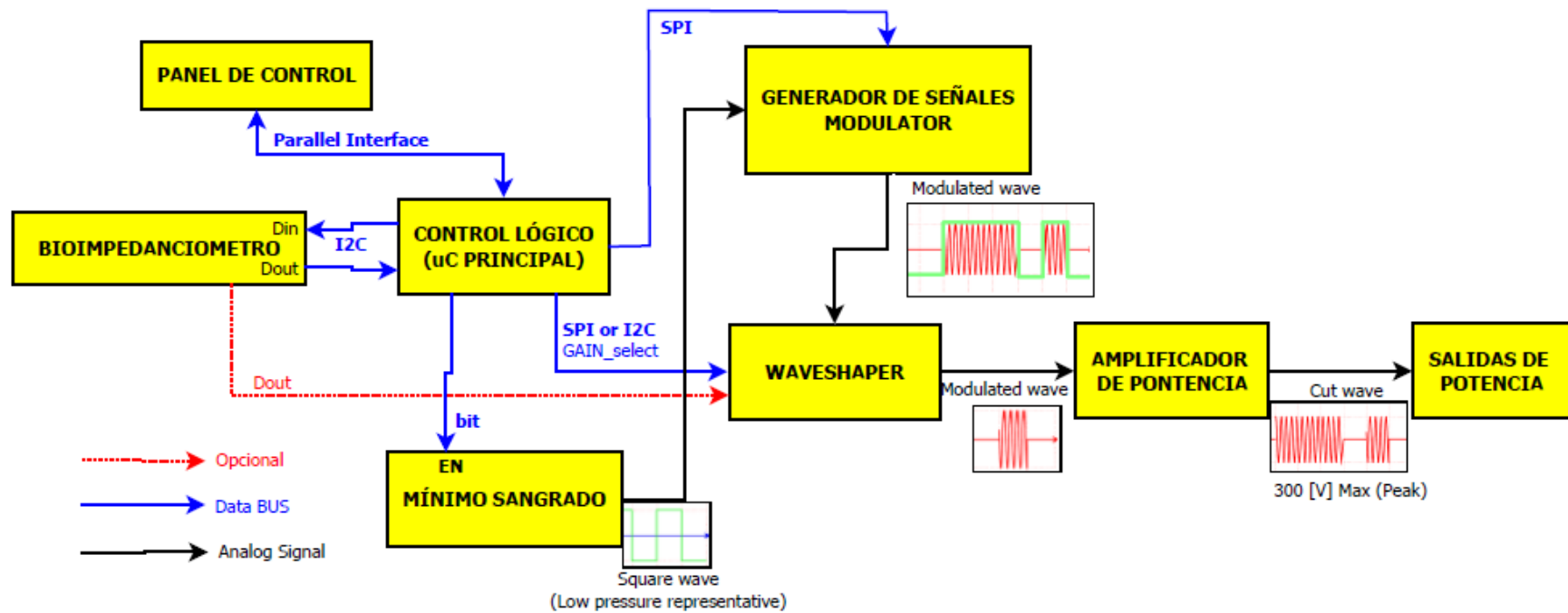
Con ello comprobaremos que al cambiar la carga el sistema se retroalimentará de manera automática y mantendrá un comportamiento aproximadamente constante en relación a la cantidad de potencia necesaria y aplicada sobre el tejido en cuestión. [4]

## 5.3 Validación de seguridad eléctrica.

Para finalizar las pruebas de seguridad se harán en mayor medida para establecer que no solo los circuitos serán funcionales, sino que no implicaran un riesgo para el paciente, por ellos se llevaran a cabo pruebas de puesta a tierra y corriente de fuga en mayor medida para los circuitos en contacto directo con el paciente. [5] [6]

## 6. Diagrama De Bloques De Unidad Electroquirúrgica

### BLOCK DIAGRAM MAIN



## **6.1 Módulo Mínimo Sangrado**

Este módulo está diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales eléctricas emitidas por el corazón, con la ayuda del circuito integrado AD8232 que permite obtener una señal clara de los intervalos PR y QT fácilmente. [7]

La señal es adquirida a través de las tres derivaciones en ECG, RA (brazo derecho), LA (brazo izquierdo) y RL (pierna derecha), en presencia de condiciones ruidosas como las creadas por el movimiento o la colocación remota de los electrodos.

Podemos asociar la señal ECG con los dos estados del corazón, la contracción (sístole) y la relajación (diástole) de las diferentes cavidades cardíacas. Este último es analizado para corte ideal de mínimo sangrado puesto que hay menos flujo de sangre por las ventrículos y aurículas. Con la ayuda de un ADC del PIC16F688, nos permitirá sincronizar nuestra señal cardiaca con el estado de relajación del corazón, y así comprobar nuestra hipótesis de reducción del volumen de pérdida de sangre.

## **6.2 Módulo Bioimpedanciometro**

Por otro lado, se encuentra el bloque de impedanciometría, basado en un único integrado y un sistema microcontrolado encargado de sensar la oposición de los tejidos al paso de la corriente y de este modo poder maximizar la eficiencia de la unidad electroquirúrgica. Este módulo en particular es activado por señales digitales procesadas por medio del ATMEGA328, que fue el microcontrolador elegido, utilizando I<sup>2</sup>C un tipo de comunicación serial específica, que se vale de una línea de datos y otra de señal de reloj para la transmisión y recepción de información. [8]

Como salida de este bloque se pueden determinar dos tipos de señales, las salidas de retroalimentación, y las salidas generales de este circuito.

Para las salidas de retroalimentación se encuentran las señales de excitación, es decir las de sensado de impedancia, de naturaleza analógica, que se deben a la diferencia de potencial y por ende una pequeña corriente en una frecuencia alta, en los electrodos dispuestos para tal fin, esta señal además vuelve a ingresar al sistema para realizar un análisis y conversión AC/DC para su posterior procesamiento.

Como salidas generales del bloque están los datos recopilados por el ATMEGA328, es decir, la magnitud y fase de la impedancia sensada, que serán nuestro punto de partida en el control de potencia, necesario para realizar un corte o coagulación exitoso sin carbonizar el tejido circundante o por el contrario no causar ningún efecto sobre este. [9]



### **6.3 Modulo Generador de Señal**

Este módulo es parte fundamental del control que se realiza sobre la realimentación del sistema, y es además el encargado de indicarle al módulo de potencia o de salida las características de la señal aplicada sobre el paciente.

Como es bien sabido en el campo de la electrocirugía, la onda de corte es distinta a la onda de coagulación y esto se debe a que no solo cambia el tiempo en alto o encendido de la señal (denominado como ciclo útil de la onda en un periodo establecido de tiempo), sino que también existe una variación en la amplitud de esta misma, por esto y además el anexo de los módulos de ECG y Bioimpedanciometría, la característica de la onda y su manejo debe realizar de manera meticulosa y con el mayor grado de exactitud, lo cual implica el uso de sistemas microcontrolado además de las etapas analógicas usadas en este circuito.

Las etapas en su mayoría se encargan de la amplificación por medio de la modificación de la ganancia y de la modulación de la señal, utilizando no solo el dato de impedancia, requerido para establecer un valor de amplitud dado el tipo de efecto sobre el tejido (corte, coagulación o mixto), sino también la modulación para reducción del sangrado a partir de la señal binaria (en alto como actuador y en bajo como efecto de la presión sanguínea alta y por lo tanto de apagado) obtenida del módulo ECG. [10]

## 7. Cronograma

Tabla 3. Cronograma de actividades.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
<b>Proyecto De Grado Electrobisturí</b>	<b>171 días</b>	<b>mar 11/04/17</b>	<b>jue 28/09/17</b>	<b>49%</b>
<b>Fundamentación y documentación</b>	<b>24 días</b>	<b>mar 11/04/17</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>100%</b>
<b>Recopilación de documentos y logística para el proyecto</b>	<b>5 días</b>	<b>mar 11/04/17</b>	<b>sáb 15/04/17</b>	<b>100%</b>
Revisión del estado del arte en Colombia y el mundo.	5 días	mar 11/04/17	sáb 15/04/17	100%
Construcción de base de datos de documentos como: publicaciones, proyectos de grado, etc.	5 días	mar 11/04/17	sáb 15/04/17	100%
Consulta de normas y especificaciones que deben cumplir los equipos médicos.	5 días	mar 11/04/17	sáb 15/04/17	100%
Consulta de distribuidores y fabricantes de electrónica.	5 días	mar 11/04/17	sáb 15/04/17	100%
<b>Elección y adquisición de herramientas informáticas necesarias para el desarrollo del proyecto</b>	<b>8 días</b>	<b>sáb 15/04/17</b>	<b>dom 23/04/17</b>	<b>100%</b>
Elección de software para la planeación y gestión del proyecto	8 días	sáb 15/04/17	dom 23/04/17	100%
Elección de software para la simulación de circuitos analógicos	8 días	sáb 15/04/17	dom 23/04/17	100%
Elección de software para la simulación de circuitos digitales	8 días	sáb 15/04/17	dom 23/04/17	100%
Elección de software para el desarrollo de circuitos impresos	8 días	sáb 15/04/17	dom 23/04/17	100%
Elección de plataforma para coordinar el trabajo del equipo de desarrollo	8 días	sáb 15/04/17	dom 23/04/17	100%
Capacitación en todas las herramientas de informática seleccionadas	8 días	lun 24/04/17	lun 01/05/17	100%
Elaboración del documento de especificación de requisitos para el dispositivo a desarrollar	3 días	mar 02/05/17	jue 04/05/17	100%
<b>Simulación y diseño</b>	<b>60 días</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>lun 03/07/17</b>	<b>58%</b>
<b>Diseño de módulos principales</b>	<b>20 días</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>mié 24/05/17</b>	<b>67%</b>
<b>Diseño para el módulo mínimo sangrado</b>	<b>20 días</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>mié 24/05/17</b>	<b>67%</b>
Diseño de esquemático	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%
Diseño de pcb	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%

Programación de adc para obtener señal binaria que indique baja presión arterial	20 días	vie 05/05/17	mié 24/05/17	0%
<b>Diseño para el módulo de bioimpedanciometría.</b>	<b>20 días</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>mié 24/05/17</b>	<b>67%</b>
Diseño de esquemático	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%
Diseño de pcb	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%
Programación para obtener, almacenar y utilizar el valor de impedancia	20 días	vie 05/05/17	mié 24/05/17	0%
<b>Diseño de modulo oscilador de corte y/o coagulación</b>	<b>20 días</b>	<b>jue 04/05/17</b>	<b>mié 24/05/17</b>	<b>67%</b>
Diseño de esquemático	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%
Diseño de pcb	20 días	jue 04/05/17	mié 24/05/17	100%
Programación de la tarjeta del módulo del oscilador para corte	20 días	vie 05/05/17	mié 24/05/17	0%
Fabricación de circuitos impresos (Primera corrida)	15 días	jue 25/05/17	jue 08/06/17	100%
<b>Diseño de módulos auxiliares</b>	<b>20 días</b>	<b>mié 24/05/17</b>	<b>mar 13/06/17</b>	<b>42%</b>
Diseño fuente DC de alto voltaje	20 días	mié 24/05/17	mar 13/06/17	50%
Diseño de panel de control, interfaces de usuario y otros.	20 días	mié 24/05/17	mar 13/06/17	50%
Diseño de amplificador de potencia	20 días	mié 24/05/17	mar 13/06/17	25%
Diseño de sistema de microcontrolado con el fin de integrar los módulos principales auxiliares	20 días	mié 14/06/17	lun 03/07/17	0%
<b>Construcción e implementación</b>	<b>67 días</b>	<b>mar 04/07/17</b>	<b>vie 08/09/17</b>	<b>0%</b>
Ensamble de componentes y montaje de primer modelo funcional del dispositivo	12 días	mar 04/07/17	sáb 15/07/17	0%
Revisión, corrección de errores y diseño definitivo del electronibisturí.	20 días	dom 16/07/17	vie 04/08/17	0%
Fabricación de circuitos impresos (Segunda Corrida)	15 días	sáb 05/08/17	sáb 19/08/17	0%
Fabricación de chasis e interfaces de usuario finales	15 días	sáb 05/08/17	sáb 19/08/17	0%
Verificación de funcionalidad.	10 días	dom 20/08/17	mar 29/08/17	0%
Validación de seguridad del equipo.	10 días	mié 30/08/17	vie 08/09/17	0%
<b>Producción de documentación</b>	<b>20 días</b>	<b>sáb 09/09/17</b>	<b>jue 28/09/17</b>	<b>0%</b>
Elaboración de libro.	20 días	sáb 09/09/17	jue 28/09/17	0%
Elaboración del manual de usuario.	5 días	sáb 09/09/17	mié 13/09/17	0%
Elaboración de manual de mantenimiento.	5 días	sáb 09/09/17	mié 13/09/17	0%
Realizar correcciones del libro	15 días	sáb 09/09/17	sáb 23/09/17	0%

## 8. Presupuesto De Proyecto

Tabla 4. Costo de recurso humano.

Nombres y Apellidos	Función	Horas/Semana	Valor Hora	Semanas	Horas totales	Total (pesos)
Jorge Eduardo Quintero Muñoz	Director	1	\$ 100 000	24	24	\$ 2 400 000
Daniel Alfonso Sierra Bueno	Codirector	1	\$ 100 000	24	24	\$ 2 400 000
Luzbin Raul Bautista Valdes	Autor	44	\$ 20 000	24	1056	\$ 21 120 000
Juan Carlos Sierra Mendez	Autor	44	\$ 20 000	24	1056	\$ 21 120 000
Andres Eduardo Suarez Prada	Autor	44	\$ 20 000	24	1056	\$ 21 120 000
				<b>TOTAL</b>	<b>3216</b>	<b>\$ 68 160 000</b>

Tabla 5. Costo de equipos y software.

Descripción	Cantidad	Justificación	Total (pesos)
Equipo de computo	3	Almacenamiento y administración de información generada durante el proyecto, redacción de documentos, consultas varias, simulaciones (Se usarán computadores personales)	\$0
Equipos y laboratorio	1	El lugar de trabajo, equipos como las fuentes de alimentación, estaciones de soldadura, generadores de señales, osciloscopios y otros son imprescindibles para culminar el proyecto de forma adecuada (Suministrado por laboratorios de la uis).	\$0
Software	1	Programas que permitan la simulación de circuitos analogicos y digitales, software para diseño de circuitos impresos y modelos en 3D para el chasis y otras piezas necesarias (Se optará por software libre y/o demos).	\$0
		<b>TOTAL</b>	<b>\$0</b>

Tabla 6. Costo de componentes electrónicos.

Concepto	Valor (pesos)
Impresión de circuitos impresos	\$ 500 000
Componentes discretos	\$ 2 000 000
Trabajo de diseño industrial (chasis)	\$ 1 000 000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3 500 000</b>

**Tabla 7. Costo total del proyecto.**

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR (pesos)</b>
Recursos humanos	\$ 68 160 000
Equipo y software	\$ -
Materiales y componentes electronicos	\$ 3 500 000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 71 660 000</b>
Gastos imprevistos (5%)	\$ 3 583 000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 75 243 000</b>

## 9. Bibliografía

- [1] W. G. f. S. Surgery, «Safe Surgery Saves Lives,» *World Health Organization*, 2009.
- [2] P. K. Col Mathews Jacob, «The challenge in management of hemorrhagic,» *ELSEVIER*, pp. 163-169, 2014.
- [3] CVN, «Centro Virtual de Negocios,» 11 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.cvn.com.co/que-productos-exporta-colombia>.
- [4] A. Lozano-Nieto, «Impedancia en las Mediciones de Cambios de los Fluidos Corporales a traves de la Bioimpedancia,» IEEE, Hershey, PA, 1998.
- [5] N. T. C. NTC, «EQUIPOS ELECTROMÉDICOS. PARTE 1-2:REQUISITOS GENERALES DE SEGURIDAD. NORMA COLATERAL. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA. REQUISITOS Y ENSAYOS,» icontec internacional, 2001-08-01.
- [6] M. Villarrubia, «Facultad de Física. Universidad de Barcelona,» [En línea]. Available: [http://www.fabelec.cl/PPVenta/archivos/bib851\\_seguridad\\_electrica\\_efectos\\_en\\_humanos.pdf](http://www.fabelec.cl/PPVenta/archivos/bib851_seguridad_electrica_efectos_en_humanos.pdf). [Último acceso: 01 06 2017].
- [7] «ANALOG DEVICE,» product, [En línea]. Available: <http://www.analog.com/en/products/application-specific/medical/ecg/ad8232.html#product-samplebuy>. [Último acceso: 20 julio 2017].
- [8] A. R. Ortega, «EVALUACIÓN NUTRICIONAL MEDIANTE TÉCNICAS DE IMPEDANCIA. VENTAJAS E INCONVENIENTES EN TCA,» Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, 2014.
- [9] M. I. T. A. M. Djordje G. Jakovljevic, «Bioimpedance and bioreactance methods for monitoring cardiac output,» *Clinical Anaesthesiology*, pp. 381 - 394, 2014.
- [10] Z. Czaja, «A diagnosis method of analog parts of mixed-signal systems controlled by microcontrollers,» *Science Direct*, pp. 158 - 170, 2007.

