



UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN  
INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA  
PARA UN EQUIPO DE RAYOS X EN  
LA EMPRESA BIOSERSALUD C.A.**

**Autor:**  
Reymon José Pinto Jiménez.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA PARA UN  
EQUIPO DE RAYOS X EN LA EMPRESA BIOSERSALUD C.A.**

Proyecto del trabajo de Grado para optar al título de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO.**

Autor:  
Reymon José Pinto Jiménez

Tutor:  
Ing. Wilfredo Mendoza

San Diego, Junio 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

**ACTA DE APROBACIÓN**

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Propuesta de Diseño de un Inversor de Alta Frecuencia para un Equipo de rayos X en la Empresa Bioseriedad C.A.

Realizado por el (la) Br. Raymon Pinto

C.I. N° 22.594.907 cursante de la carrera de Ing. Electrónica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Wilson Mendoza  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: Wilson Mendoza  
C.I.: 22.741.191

Edardo Rodríguez  
Jurado  
Nombre: Edardo Rodríguez  
C.I.: 27754846

E.H.  
Jurado  
Nombre: Eduardo Herrera  
C.I.: 26803479

Fecha: 04/07/2023



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL  
TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Wilfredo Mendoza, portador de la cédula de identidad N° 22.744.494, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Reymon Pinto, portador de la cédula de identidad N° 27.594.907, titulado **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA PARA UN EQUIPO DE RAYOS X EN LA EMPRESA BIOSERSALUD C.A.”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 14 días del mes de junio del año dos mil veinte tres.

Ing. Wilfredo Mendoza  
C.I.: 22.744.494



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

FI E 003 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadano:

PINTO JIMÉNEZ, REYMON JOSÉ

27.594.907

Presente -

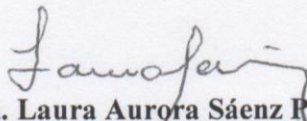
Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 05-2023 de fecha 10/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos x en la empresa BIOSERSALUD C.A.**

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a: Ing. Wilfredo Elías Mendoza Chirinos, titular de la cédula de identidad V- 22.744.494

Atentamente

  
**Dra. Laura Aurora Sáenz Valencia**  
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

## AGREDECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer A mi madre, **Sonia Jiménez** y a mi Padre, **Ramon Pinto**. Porqué me es imposible imaginar una vida en la que no cuente con su apoyo infinito e incondicional. Por haberme entregado todo lo que estaba en sus manos en los momentos más difíciles. Por siempre poner a mi disposición su paciencia, tiempo y comprensión en los momentos en los que lo necesité. Por todo el amor que me han dado en mi vida.

A mis hermanos **Ernesto, María Laura** y **Aminta**, con los que sé que siempre contaré con su apoyo sin importar las condiciones, las personas que siempre logran sacarme una sonrisa sin importar lo que estemos atravesando.

A mis abuelas, tíos y primos, en los cuales siempre he encontrado un cariño infinito hacia mí, personas que siempre han estado dispuesta a prestarme su apoyo.

Al **Ing. Wilfredo Mendoza**, por su gran vocación como docente y otorgarme su apoyo como tutor de este trabajo. Por haber dedicado e invertido todo el tiempo posible para impartir sus conocimientos y aportes a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A mis Amigos y compañeros de carrera, Por todo el apoyo mutuo en este camino recorrido. Personas con las cuales me encantó vivir esta etapa de mi vida y con las cuales espero coincidir en un futuro y seguir verlos creciendo como profesionales.

Reymon Pinto

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>pp.</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>RESUMEN INFORMATIVO</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.1 Formulación del Problema.....	5
1.2 Objetivos de la Investigación.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance y Limitaciones.....	6
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Convertidores DC/AC.....	9
2.2.2 Clasificación de los inversores.....	10
2.2.2.1 Topología inversora monofásico de medio puente.....	11
2.2.2.2 Topología inversora monofásico de puente completo.....	11
2.2.3 Modulación PWM.....	12
2.2.4 Modulación SPWM.....	12
2.2.4.1 Modulación SPWM Conmutación Bipolar.....	13
2.2.4.2 Modulación SPWM Conmutación Unipolar.....	14
2.2.5 Distorsión Armónica.....	14
2.2.6 Transformador.....	15
2.2.7 Tubo de Rayos X.....	16
2.2.8 Parámetros de Calidad.....	17
2.2.9 Microcontrolador.....	17
2.2.10 Elementos de potencia.....	17
2.2.10.1 Transistores de Unión bipolar.....	17
2.2.10.2 Transistores de efecto campo metal-óxido-semiconductor.....	18
2.2.10.3 Transistor bipolar de puerta aislada.....	18
2.3 Bases Legales.....	19
2.3.1 COVENIN.....	19

2.3.1.1 Normas aplicadas de COVENIN.....	19
2.4 Definición de Términos.....	19
<b>III MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1 Tipo de Investigación.....	21
3.2 Diseño de la Investigación.....	21
3.3 Nivel de la investigación.....	21
3.4 Población y muestra.....	22
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.5.1 Técnicas empleadas.....	23
3.5.1.1 Revisión documental.....	23
3.5.1.2 Observación Directa.....	23
3.5.1.3 Entrevista estructurada.....	23
3.5.2 Instrumentos Empleados.....	23
3.5.2.1 Instrumento de registro.....	23
3.5.2.2 Instrumento de observación técnicamente asistida.....	24
3.5.2.3 Guion de Entrevista.....	24
3.6 Técnicas e instrumentos de análisis de datos.....	24
3.6.1 Diagrama de Ishikawa.....	24
3.7 Fases metodológicas.....	24
3.8 Confiabilidad de la investigación.....	25
3.9 Confiabilidad del instrumento.....	26
3.10 Cuadro de operacionalización de variables.....	27
<b>IV RESULTADOS</b>	
4.1 Fase 1: Reseña del equipo actual de rayos x de la empresa BIOSERSALUD C.A.....	28
4.1.1 Conclusiones sobre la entrevista.....	28
4.1.2 Análisis de entrevista mediante diagrama de Ishikawa.....	28
4.1.3 Observación Directa.....	29
4.2 Fase 2: Conceptualización del funcionamiento de un inversor de alta frecuencia en equipos de rayos x.....	30
4.2.1 Funcionamiento del Inversor de alta frecuencia en equipos de Rayos X.....	30
4.2.1.1 Funcionamiento de la Etapa de control.....	31
4.2.1.2 Etapa de potencia de un inversor de alta frecuencia.....	34
4.2.2 Funcionamiento operativo del equipo de rayos X.....	36
4.2.2.1 Selección de técnica de operación y parámetros.....	37
4.2.2.2 Preparación del equipo para la orden de disparo.....	37
4.2.2.3 Orden de disparo del equipo de rayos X.....	38
4.3 Fase 3: Establecimiento de los componentes que serán necesarios para el correcto funcionamiento del equipo puesto en marcha.....	38
4.3.1 Selección de Interruptores de potencia.....	39
4.3.2 Generación de las señales de control PWM.....	40
4.3.3 Acondicionamiento de la Señal de los IGBTs.....	41
4.3.4 Circuito integrado regulador de voltaje.....	42

4.3.5 Selección de cableado.....	43
4.4 Fase 4: Simulación de la propuesta de diseño del inversor de alta frecuencia en entornos de simulación de proyectos electrónicos asistidos por computadora.....	44
4.4.1 Sistema de generación de las señales PWM.....	44
4.4.1.1 Temporizador de 16 bits con PWM.....	45
4.4.1.1.1 Configuración del modo de trabajo del timer 1.....	45
4.4.1.1.2 Configuración del registro de interrupción del timer 1.....	48
4.4.1.2 Modo PWM fase y frecuencia corregida.....	48
4.4.2 Sistema de control implementado con Arduino.....	49
4.4.3 Etapa de acondicionamiento de las señales de los IGBT.....	52
4.4.3.1 Esquema de la etapa de acondicionamiento de los IGBTs...	52
4.4.4 Fuente de alimentación.....	54
4.4.5 Etapa del puente H.....	54
4.4.5.1 Salida del Inversor.....	55
4.4.6 Filtro pasa bajo.....	57
4.5 Fase 5: Propuesta de acople del inversor en alta frecuencia al equipo actual.....	61
4.5.1 Comunicación por software serial.....	61
4.5.1.1 Protocolo de comunicación UART.....	62
4.5.2 Conexión y configuración de los puertos.....	62
4.6 Fase 6: Análisis de la factibilidad económica y técnico-operativa de la implementación del inversor en alta frecuencia respecto al precio estimado de venta.....	64
4.6.1 Análisis de factibilidad económica.....	64
4.6.1.1 Costo de inversión.....	64
4.6.2 Análisis de factibilidad técnico-operativo.....	66
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>
APÉNDICE A.....	72
APÉNDICE B.....	78
ANEXO A Tabla 310-16 del código eléctrico nacional.....	83
ANEXO B Datasheet del interruptor de potencia IR2110 .....	84
ANEXO C Datasheet del Hyperfast Rectifier 15ETH06-1 .....	87
ANEXO D Datasheet del 7815 .....	89
ANEXO E Datasheet del 7805 .....	91
ANEXO F Datasheet del SIM150D06AV1 .....	93

## LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Cuadro de operacionalización de Variables.....	27
2	Cuadro técnico metodológico.....	73

## LISTA DE GRÁFICAS

### CONTENIDO

<b>Figura</b>		<b>pp.</b>
1	Clasificación de los inversores según diferentes criterios.....	10
2	Inversor medio puente con condensadores.....	11
3	Inversor de puente completo.....	11
4	Generación de los pulsos para modulación SPWM.....	13
5	Generación de los pulsos mediante modulación SPWM Bipolar.....	13
6	Generación de los pulsos mediante modulación SPWM Unipolar.....	14
7	Señal alterada por armónicos.....	15
8	Estructura interna de un transformador.....	15
9	Componentes de un tubo de rayos X.....	16
10	Corte transversal de un BJT.....	18
11	Corte transversal de un MOSFET.....	18
12	Corte transversal de un IGBT.....	18
13	Diagrama de Ishikawa.....	29
14	Diagrama de bloques para el esquema de control.....	32
15	Diagrama de bloques de la etapa inversor del generador Jedi.....	33
16	Diagrama de bloques de la etapa de control de kV del equipo AMX – II.....	34
17	Diagrama de bloques de la etapa de control de kV del generador Jedi.....	35
18	SemiWell half bridge IGBT Module (SIM150D06AV1).....	40
19	Placa Arduino Uno.....	40
20	Diagrama de bloques funcional del IR2110.....	42
21	Diagrama de la corriente alterna eficaz.....	43
22	Registro de control TCCR1A.....	46
23	Registro de control TCCR1B.....	47
24	Registro de interrupciones del timer 1.....	48

25	Diagrama temporal del modo PWM fase y frecuencia corregida.....	49
26	Esquema de conexión del Arduino UNO.....	50
27	Simulación de las señales PWM en Proteus.....	50
28	Diagrama de Flujo del programa del Arduino.....	51
29	Conexión típica de driver IR2110.....	52
30	Esquema circuital de driver IR2110 para aplicaciones en inversores.....	53
31	Diagrama Esquemático de la etapa driver mediante IR2110.....	53
32	Esquema de conexión de la fuente de alimentación.....	54
33	Diagrama esquemático del puente H.....	55
34	Simulación del voltaje en la salida del inversor en Proteus.....	56
35	Simulación de corriente en la carga en la salida del inversor en Proteus.....	56
36	Simulación del espectro de frecuencia de corriente en la salida del inversor en Proteus.....	57
37	Diagrama esquemático del filtro pasa bajo.....	59
38	Simulación de respuesta de frecuencia de filtro pasa bajos.....	59
39	Simulación del voltaje en la salida del inversor en Proteus.....	60
40	Simulación de corriente en la carga con filtro en la salida del inversor en Proteus.....	60
41	Simulación del espectro de frecuencia de corriente con filtro en la salida del inversor en Proteus.....	61
42	Formato de datos de la comunicación UART.....	62
43	Esquema de conexión de la comunicación por Software serial.....	63
44	Estructura de Comunicación en el entorno IDE Arduino.....	63

## LISTA DE TABLAS

### CONTENIDO

<b>Tablas</b>		<b>pp.</b>
1	Valores de tensión en puente Completo.....	12
2	Descripción de bits del modo de generación de ondas.....	46
3	Descripción de bits modo de comparación de salida, PWM, fase y frecuencia corregida.....	47
4	Descripción de bits selección de reloj interno.....	48
5	Costos referenciales de componentes del prototipo.....	65



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INVERSOR DE ALTA FRECUENCIA PARA UN  
EQUIPO DE RAYOS X EN LA EMPRESA BIOSERSALUD C.A.**

**Autor:** Reymon José Pinto Jiménez  
**Tutor:** Ing. Wilfredo Mendoza.  
**Fecha:** junio 2023

**RESUMEN INFORMATIVO**

Este proyecto tiene como propósito, realizar la propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia para ser remplazado en un equipo de rayos X en la empresa BIOSERSALUD C.A. Metodológicamente es una investigación de proyecto factible sustentada en una investigación de campo con un nivel descriptivo para la recolección de datos se usará la observación directa, revisión documental y va esta inserto en la línea de investigación ciencias cognitivas y aplicadas. Muchos hospitales o centros de salud cuentan con equipos desactualizados u obsoletos debido a que son equipos que ya cumplieron su vida útil o poseen tecnologías desfasadas, equipos que llevan más de 10 años en el mercado y siguen en funcionando a pesar de tener tecnologías anticuadas e ineficientes. Para cumplir con el propósito de actualizar el equipo inversor de la etapa de alimentación que posee el equipo de rayos de la empresa BIOSERSALUD C.A. se realizará la evaluación de las condiciones actuales del equipo, para así considerar las características que dispone el sistema y facilitar su implementación. Tomando como referencia los equipos de rayos X que operan actualmente. Y lo hacen mediante tecnologías modernas que otorgan muchos beneficios como mejora en la disponibilidad de los equipos, reducciones de las dosis a las que se ven sometidos los pacientes y ahorro energético.

**Descriptor:** Actualización, Electromedicina, Alta frecuencia

## INTRODUCCIÓN

La electrónica desde sus inicios ha avanzado en diversos ámbitos a pasos agigantados, parte de estos grandes avances se han inclinado a la rama de la medicina, expandiendo los límites a la que la medicina tradicional podía llegar, un ejemplo de esto fue la invención del equipo de rayos X. el cual es capaz de generar películas fotográficas de la estructura interna del cuerpo humano mediante la emisión de una radiación electromagnética ionizante que es capaz de atravesar cuerpos opacos. Estos equipos son utilizados para el diagnóstico y tratamiento de patologías relacionadas con la salud.

Todos los sistemas de electromedicina fueron creados hace muchos años, como, por ejemplo, los Rayos X que en 1895 fueron descubiertos por el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen. Pero a pesar de ello los sistemas que son utilizados hoy en día son una versión más actualizada de ellos, característica común en todo lo relacionado con la electrónica. Y al ser de equipos que precisan de una gran precisión requieren de una actualización y mantenimiento constante.

El proyecto que sigue a continuación pretende realizar la propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X, el cual forma parte de la etapa de alimentación del tubo de rayos X, el cual es el encargado de generar la radiación ionizante. Dicha propuesta de diseño intenta aportar una mejora en lo referente a la frecuencia de funcionamiento de su etapa de alimentación, basándose en consideración como la etapa de control del inversor y la actualización de los componentes.

CAPITULO I: Contiene una descripción del problema que se plantea en el proyecto, además del objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación y alcance.

CAPITULO II: En este capítulo se observará los antecedentes e investigaciones que tratan al mismo problema o se relacionan con la presente investigación. Se explican las bases teóricas necesarias para la elaboración de esta investigación y en última instancia se define los términos básicos.

CAPITULO III: Se describe todo lo referente al marco metodológico, como lo son el tipo y diseño de la investigación a utilizar para cumplir los objetivos del trabajo, el nivel de investigación, fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos, conjuntamente con la población y

muestra. También se detallan las fases metodológicas diseñadas para cumplir con los objetivos específicos del trabajo.

CAPITULO IV: Se detallan todos los resultados de la investigación realizada sobre la propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X. En este capítulo se presentan los resultados experimentales obtenidos a través de pruebas realizadas en el prototipo del inversor diseñado, así como también se realiza un análisis de factibilidad económica y técnica de la implementación. Además, se discuten los resultados obtenidos en términos de eficiencia energética, estabilidad y calidad de la señal de salida. También se aborda el tema de las limitaciones del diseño propuesto y se proponen posibles soluciones para mejorar su desempeño.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento Del Problema**

Los equipos electrónicos y la tecnología en general cumplen ciclos de vida, una cierta cantidad de años en los que su eficiencia es la máxima que se puede hallar en el ámbito tecnológico, y dado los avances que ocurren en la tecnología llegará al punto en que terminarán siendo reemplazados por tecnologías más avanzadas, ya que otorgan más eficiencia, seguridad, fiabilidad y comodidad a los usuarios o a los técnicos encargados de manejarlo o mantenerlo.

Por diversas situaciones e indistintamente del lugar del que se esté hablando ocurre que los equipos electrónicos que poseen las empresas o instituciones no son renovados por sus predecesores más modernos y actualizados, ya sea por razones económicas o de disponibilidad. En muchos casos terminan conservando equipos obsoletos, dañados o desactualizados por más de una década. En España, destaca la Federación Española de Empresas de Tecnología Sanitaria (Fenin) en su informe “Perfil tecnológico hospitalario y propuestas para la renovación de tecnologías sanitarias” que los aparatos de rayos X son los más antiguos en el apartado tecnológico de la sanidad española. El organismo Fenin afirma según su investigación que el 62 por ciento de los equipos tiene más de 10 años de antigüedad, el 13 por ciento entre 5 y 10 años y el 25 por ciento menos de 5 años.

Este mismo suceso se repite también en muchos países de Latinoamérica tal es el caso de los centros de salud de Lima, Perú, donde por diversas razones, entre ellas la mala gestión de los fondos, muchos hospitales no cuentan con el equipamiento médico necesario o equipos de diagnóstico entre ellos rayos X. Según el informe de la defensoría del pueblo, el 44,6 por ciento de los centros de salud no cuentan con equipos médicos para atender las emergencias, mientras que la contraloría de la república ha precisado que a finales del año 2016 el 77 por ciento carecen del equipamiento mínimo requerido.

De igual modo ocurre en el territorio nacional. Intentando suplir el déficit mediante donaciones externas que existe en equipos de electromedicina que supera un 60 por ciento a nivel nacional. Según Huniades Urbina, vicepresidente de la academia nacional de medicina, informa que el 60 por ciento de los equipos de diagnósticos están inoperativos o desactualizados. Esta situación previene que patologías más simples sin el control en centros de salud a la altura no pueden llegar a ser determinadas, complicarse o en una muerte prematura. Y esta misma situación se repite con mayor gravedad en otras partes del país, En Lara el presidente del colegio de médicos, confirma que la mayoría de los centros asistenciales no cuentan con equipos de alta tecnología. Hace referencia al hospital central Antonio maría Pineda con un 95 por ciento de inoperatividad en imagenología.

La electromedicina pretende otorgarles a los hospitales, centros de salud y médicos las herramientas necesarias para el diagnóstico o tratamiento de enfermedades y dichos equipos deben de ser fiables ya que su calidad influye en el diagnóstico. En un punto de vista general, los equipos de electromedicina como lo es un equipo de rayos X, un desfibrilador o un electrocardiograma deben de pasar por ciertos estándares de calidad y un riguroso mantenimiento y calibración para así garantizar su correcto funcionamiento y fiabilidad ya que estos equipos pueden causar efectos en la salud de sus pacientes directa o indirectamente si no se cumplen dichas condiciones de mantenimiento.

La obsolescencia de los equipos electrónicos ocurre indistintamente del área en la que se plantee la circunstancia, en el caso de la empresa BIOSERSALUD C.A., Ubicada en la Av. Cedeño, Valencia, Carabobo. Se cuenta con un equipo de rayos X, dicho equipo está en funcionamiento, pero lo hace mediante una etapa de alimentación de baja frecuencia que alimenta al tubo de rayos X en baja frecuencia los cuales eran los más usados anteriormente. Pero en la actualidad la mayoría de los equipos de rayos X funcionan a altas frecuencias, ya que, se ha demostrado que favorece al rendimiento del equipo en la realización de la tarea de toma de imágenes, otorgándonos una mayor calidad de imagen, extendiendo la vida útil del tubo de rayos X y otorgándole beneficios a los pacientes reduciendo la exposición de los rayos X, siendo una ventaja ya que los efectos que producen los rayos X aumentan o son más probables si se acrecienta el tiempo de exposición a ellos.

En general, el uso de aparatos que superan su tiempo recomendado de utilización puede acarrear graves consecuencias en los pacientes e influir en el trabajo de los profesionales de la

medicina. La obsolescencia produce una menor precisión de diagnóstico por parte de dichos equipos, mayores niveles de radiación, funcionamiento más lento lo que aumento las líneas de espera y menor eficiencia medioambiental.

### **1.1.1 Formulación del Problema**

¿Qué implementación tecnológica es capaz de otorgarle a la empresa BIOSERSALUD C.A. una mejora de funcionalidad y rendimiento a su equipo de rayos X?

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X que cumple con todos requisitos de seguridad y funcionalidad para su implementación en la empresa BIOSERSALUD C.A.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Reseñar el equipo actual de Rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A.
- Conceptualizar el funcionamiento de un inversor de alta frecuencia en equipos de rayos X.
- Establecer los componentes que serán necesarios para el correcto funcionamiento del equipo puesto en marcha.
- Simular la propuesta de diseño del inversor de alta frecuencia en entornos de simulación de proyectos electrónicos asistidos por computadora.
- Proponer el acople del inversor en alta frecuencia al equipo actual.
- v

## **1.3 Justificación de la Investigación**

Las razones por las que se llevará a cabo la propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia que se añadirá a la etapa de alimentación de baja frecuencia en el equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A. Ubicada en la Av. Cedeño, Valencia, Carabobo. dicho equipo de rayos X se encuentra en funcionamiento, pero se requiere la incorporación de una etapa inversora de alta frecuencia, ya que este presenta desventajas en comparación con uno de baja frecuencia, como lo es, el tiempo de exposición al que se ve expuesto el paciente y el tamaño del equipo, no solo por el inversor, sino también por el transformador necesario debido a que se requiere un transformador de alta frecuencia que posee muchas ventajas en comparación con el

transformador instalado, una de ellas será que se verá reducido su tamaño y tendrá un ahorro en el consumo de energía.

El tener un equipo funcionando y actualizado presenta un ahorro de tiempo en el examen y una mejora del flujo de trabajo lo que ayuda a reducir las listas de espera, cosa que beneficia a pacientes y hospitales. Por estas razones se quiere llevar a la acción el diseño de dicho inversor para la renovación y actualización del equipo de rayos X, y así redescubrir como en el sector eléctrico se puede dar soluciones a problemas y fiabilidad que un equipo de este calibre requiere y aportando así un beneficio para todas las personas que interactúen con el equipo sean técnicos o pacientes.

#### **1.4 Alcance y Limitaciones**

Este proyecto se limitará al desarrollo de los esquemas digitales para la compresión visual de los circuitos empleados y la realización de pruebas del diseño en entornos de simulación de circuitos electrónicos de alta fiabilidad y así demostrar que se cumplen con las características deseadas para el equipo de rayos X que se encuentra en la empresa BIOSERSALUD C.A. Ubicada en la Av. Cedeño, Valencia, Carabobo. La implementación del diseño no forma parte del alcance de este proyecto.

El diseño que se ha planteado estará ajustado a las necesidades de la empresa BIOSERSALUD C.A. ya que su equipo de rayos X cuenta con características únicas. Por lo tanto, no puede ser replicable en otro equipo sin tener en cuenta la configuración y características de implementación para las cuales este diseño fue planteado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Se refiere a todo estudio previo: investigaciones, trabajos, trabajos de grado, artículos e informes científicos que esté relacionado con el problema planteado en la investigación a realizar, son toda investigación realizada anteriormente que tiene algún vínculo con el proyecto para así sustentar y determinar el estado actual del conocimiento en una determinada área de estudio. En esta sección se analizará de estos trabajos sus objetivos específicos y generales, su enfoque metodológico y sus resultados. Fidias G. Arias define los antecedentes como “Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones.” (Arias, 2016, p. 106).

Asimismo, Vázquez G. Ramón (2021) en su trabajo de grado llamado “**Diseño e implementación de un inversor monofásico de 500 VA de bajo coste**” en la Universidad politécnica de Madrid, para optar al título de Ingeniero electrónico de comunicaciones, con el objetivo de diseñar un inversor para alimentar cargas de uso doméstico como lámparas, televisor, radio en actividades al aire libre y sin acceso a la red eléctrica como acampadas o excursiones. Como resultado del proceso de diseño se concluyó que la opción más adecuada para este diseño es el empleo de MOSFETs y diodos ultra rápidos para los elementos semiconductores. Se analizaron las formas de modulación PWM bipolar y unipolar, concluyéndose que la más adecuada para este proyecto es la bipolar por su facilidad de implementación en un microcontrolador. Como aporte se ve que otorga una muy buena calidad en las simulaciones con el entorno virtual PSIM y analizando también las protecciones contra cortocircuitos y contra sobretensiones, y además de la generación de los disparos de los MOSFETs del inversor.

De otro modo, Carrillo, Jesús (2019) en su trabajo llamado “**Propuesta para el diseño de un electrobisturí para cirugías superficiales**” desarrollado en la Universidad José Antonio Páez, aspirando al título de Ingeniero Electrónico, dicho trabajo tiene como objetivo proponer el diseño de un electrobisturí que permita la realización de cirugías superficiales. Metodológicamente se trata de una investigación proyecto factible sustentada en un tipo de investigación de campo, para

la realización de la investigación fueron usadas las técnicas de la revisión documental y la observación directa, como instrumentos empleados se usaron el instrumento de registro y instrumento de observación técnicamente asistida. El trabajo cumple con el objetivo de proponer el diseño de un electrobisturí que permita la realización de cirugías superficiales. Refiriéndose a abaratar los costos de producción de un equipo con estas características, se ha hecho una gran diferencia con respecto a utilizar otras soluciones como por ejemplo que sea un diseño totalmente analógico. Se relaciona con el proyecto ya que se trata del área de la electromedicina y alta frecuencia, aportando así información en cuanto al abaratamiento de costos a la hora de implementar una tecnología en esta área del conocimiento.

Medina G, Luis (2016) desarrollo un proyecto titulado **“Inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia para motores de inducción monofásicos”** desarrollado en la institución de Posgrado Interinstitucional en Ciencia y tecnología, para optar al título de Maestro en ciencia y tecnología en la especialidad mecatrónica, con el objetivo de desarrollar el sistema electrónico de control y potencia para equipos como compresores de refrigeradores domésticos comerciales, para que puedan ser usados como compresores de velocidad variable con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica. Se concluyo que con la utilización de esta electrónica el ahorro económico implica una reducción del costo de la luz, y para una región significativa el ahorro que genera se vuelve crítico, ya que puede llegar a ser cercano al 10% de ahorro. El aporte de esta investigación es la calidad de los diagramas que permiten apreciar la circuitería que conforman al diseño final, aparte de, una explicación de calidad de los distintos modos de modulación.

También, Urdaneta G, Luis (2011) presento un proyecto llamado **“Implementación de un módulo de control de arranque y velocidad para un motor de inducción en un vehículo tipo kart”** para la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Rafael Urdaneta aspirando al título de Ingeniero Electricista, En dicho trabajo se enfocó en implementar un módulo de control de arranque y velocidad para un motor de inducción para un vehículo tipo kart, metodológicamente esta investigación es una investigación experimental basado en un tipo de investigación explicativa, para la obtención de datos fueron utilizadas las técnicas de la observación documental, observación indirecta y observación directa., Para la validación del trabajo de diseño se usaron entornos de simulación como el national instruments multisim simulando la circuitería de manera precisa y correcta. El contenido de armónicos en el circuito de variación de velocidad es favorable

versus otros tipos de inversores ya que no existen los armónicos pares ni los múltiplos de los terceros armónicos, reduciendo la presencia de distorsión armónica para una carga inductiva. Como aporte se puede destacar el tratado de armónicos que son la representación de pérdidas y el cómo se redujeron.

Por otra parte, Peraza, Cesar, Gonzales – Longatt, Francisco, Díaz G. José, Blanco, Reiner, Villanueva, Carlos (2005) en su trabajo titulado **“Control de Inversores en Sistemas de Generación Distribuida”** presentado ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, con el objetivo de controlar el flujo de potencia que entrega un inversor para un sistema de generación distribuida, los resultados obtenidos indican que los tres métodos de control para un inversor alimentado por fuente de voltaje que entrega una potencia a un sistema de potencia AC, son efectivos, estos son: Control de voltaje por flujo vectorial, control de corriente por histéresis y control de corriente por PWM. Los resultados de las simulaciones indican que los esquemas de control logran los objetivos de controlar el flujo de potencia entregado por el inversor. El aporte presente de este proyecto es demostrar que el control de un inversor puede ser de muchas maneras presentando hasta tres métodos efectivos de control y compartiendo los modelados en simulink para cada una de las configuraciones.

## **2.2 Bases Teóricas**

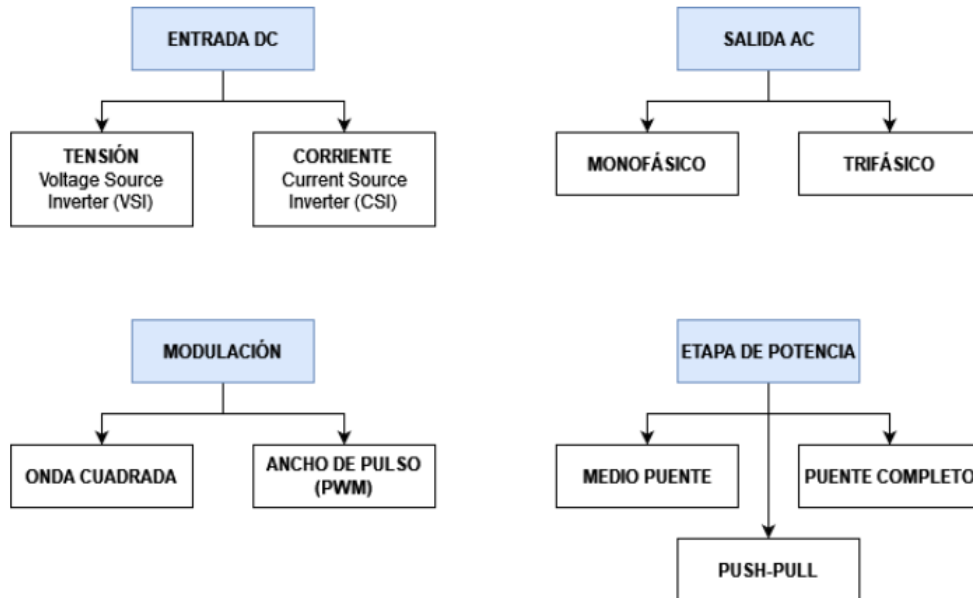
Las bases teóricas son aquello sobre lo que se construye el trabajo, aquella información que ha sido desarrollada a lo largo del tiempo, sobre la que se realizan investigaciones y proyectos. Una buena base teórica constituye el análisis con el que será analizado el desarrollo del trabajo, Arias define las bases teóricas como “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y preposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado.” (Arias, 2012, p. 107). Así mismo se puede dividir esta sección en función de los contenidos que integran a la temática tratada o de las respectivas variables analizadas. Para así explicar el problema, su naturaleza e interrelaciones.

### **2.2.1 Convertidores DC/AC**

Los convertidores DC/AC también conocidos como inversores. Son dispositivos capaces de cambiar o transformar una tensión de entrada de corriente continua a una tensión de salida alterna, (senoidal o cuadrada o triangular) de corriente alterna, con frecuencia y valor eficaz controlables, partiendo de una tensión de entrada continua. Esta magnitud y frecuencia puede ser modificada como desee el usuario o diseñador

## 2.2.2 Clasificación de los inversores

Los inversores pueden ser clasificados siguiendo diferentes criterios, entre ellos se puede tener según su alimentación, la técnica de modulación empleada o la topología de su etapa de potencia. En la figura 1 se puede apreciar dicha clasificación:



**Figura 1.** Clasificación de los inversores según diferentes criterios.

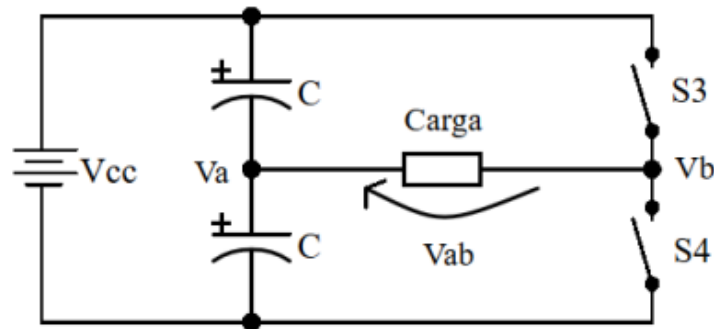
Fuente: <https://riunet.upv.es/handle/10251/184864>

Según su voltaje de entrada se pueden dividir los inversores en bajo voltaje y alto voltaje según el nivel de voltaje de entrada. Para los inversores de bajo voltaje de entrada se suelen tener inversores monofásicos de 220 V, inversores trifásicos de 220 V e inversores I-fase de 380 V. los inversores de alto voltaje suelen tener transformadores del orden de KV, y el método de control generalmente se cambia de acuerdo con el inversor alto-bajo-alto o el inversor alto-alto.

Según el método de conversión de frecuencia se dividen en inversores AC-AC e inversores AC-DC según el método de conversión de frecuencia. El inversor CA-CA puede convertir directamente la frecuencia de alimentación CA en una CA cuya frecuencia y voltaje se pueden controlar, por lo que se denomina inversor directo. El inversor AC-DC-AC convierte la potencia de CA de frecuencia de potencia en potencia de CC a través del rectificador y luego convierte la potencia de CC en potencia de CA con frecuencia y voltaje ajustables, por lo que también se denomina inversor indirecto.

### 2.2.2.1 Topología inversora monofásico de medio puente

La topología básica de un inversor monofásico es la de un inversor de medio puente, como el mostrado en la figura 2. El inversor está constituido por un par de interruptores ( $S_1$  y  $S_2$ ) los cuales funcionan de forma complementaria, es decir, al estar en activo  $S_1$ ,  $S_2$  se mantiene abierto y el voltaje del capacitor  $C_1$  se ve reflejado en la carga; mientras que al estar en activo  $S_2$ ,  $S_1$  se abre y el voltaje de entrada  $V_{cc} / 2$  aparece a través de la carga. El voltaje de salida en la carga corresponderá a una señal cuadrada.



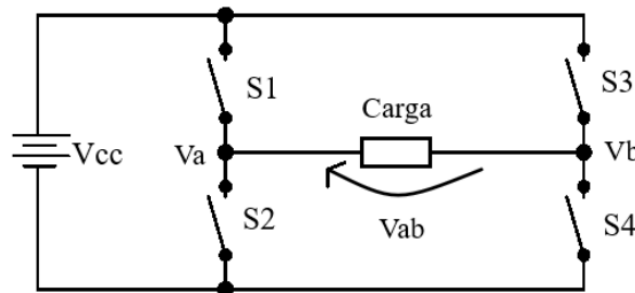
**Figura 2.** Inversor medio puente con condensadores.

Fuente: [repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf](http://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf)

Este circuito puede ser implementado de diferentes maneras, pero el principio de funcionamiento será el mismo para todos los casos: cuando  $S_1$  está cerrado y  $S_2$  abierto, la tensión entre los extremos de la carga es igual a  $V_{cc} / 2$ , y cuando  $S_2$  esté cerrado y  $S_1$  abierto, la tensión entre los extremos de la carga es igual a  $-V_{cc} / 2$ .

### 2.2.2.2 Topología inversor monofásico puente completo

También llamado puente H dada la forma en que se suele representar en un esquema eléctrico, este circuito consiste en 4 interruptores y una fuente única, y dichos interruptores se disponen como en la figura 3.



**Figura 3.** Inversor de puente completo.

Fuente: [repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf](http://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf)

Esta configuración presenta ventajas sobre las otras topologías, ya que la carga recibe la tensión total de la fuente  $V_{cc}$  y no la mitad, además de que, dependiendo de la combinación de interruptores abiertos y cerrados, la carga puede recibir 3 estados de tensión entre sus extremos como:  $V_{cc}$ ,  $-V_{cc}$ ,  $0$  v.

Interruptores	$V_{ab}$
$S_1, S_4$	$V_{cc}$
$S_2, S_3$	$-V_{cc}$
$S_1, S_3$	$0$
$S_2, S_4$	$0$

**Tabla 1.** Valores de tensión en puente Completo.

Fuente: [repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf](http://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45817/3560901544013UTFSM.pdf)

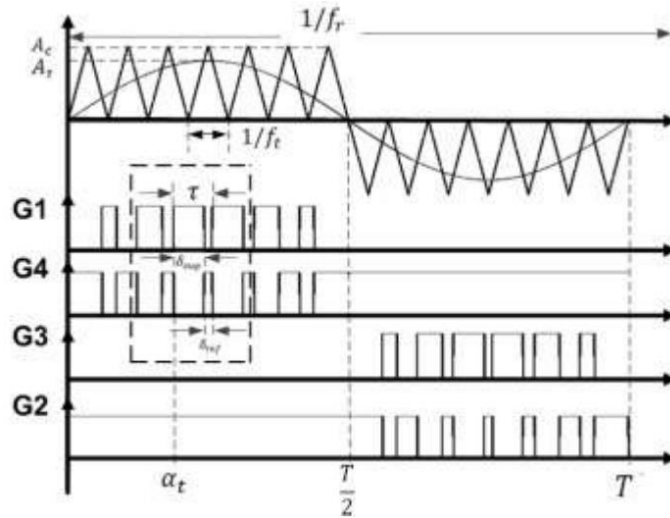
Esto presenta una ventaja, dado que controlando los tiempos en que se cumplen las condiciones de la tabla, es posible realizar un control de potencia en la carga, así como de los armónicos generados.

### 2.2.3 Modulación PWM

La modulación PWM, cuyas siglas en inglés son *pulse-width modulation* y en español modulación por ancho de pulso de una señal es una técnica usada para modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea para transmitir información a través de algún canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

### 2.2.4 Modulación SPWM

La estrategia de modulación más usada en los inversores de potencia comerciales. La modulación SPWM consiste en comparar una señal de referencia (senoidal) con una señal portadora (triangular), (ver figura 4) la comparación genera un tren de pulsos de ancho variable, a continuación, se describe como se generan las señales encargadas del control de los interruptores.

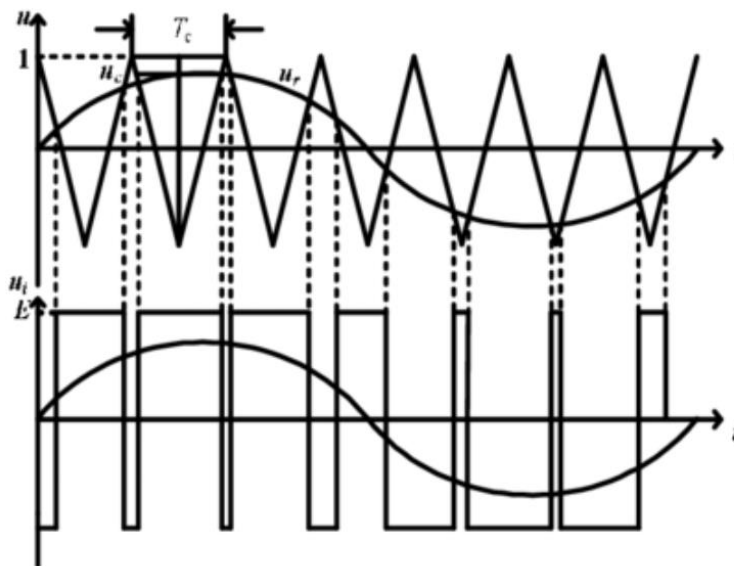


**Figura 4.** Generación de los pulsos para modulación SPWM.

Fuente: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v26n3/art15.pdf>

### 2.2.4.1 Modulación SPWM Conmutación Bipolar

La modulación SPWM Bipolar se basa en la comparación entre una señal de referencia  $V_s$  y una señal de portadora triangular que dan origen a la señal de control SPWM, cuando la señal triangular tiene un valor inferior a la senoidal la comparación resulta en un nivel alto en la salida, si la señal triangular es mayor que la triangular la salida toma un nivel bajo. Los parámetros principales de este método se denominan índice de modulación de amplitud  $m_a$  e índice de modulación de frecuencia  $m_f$ .

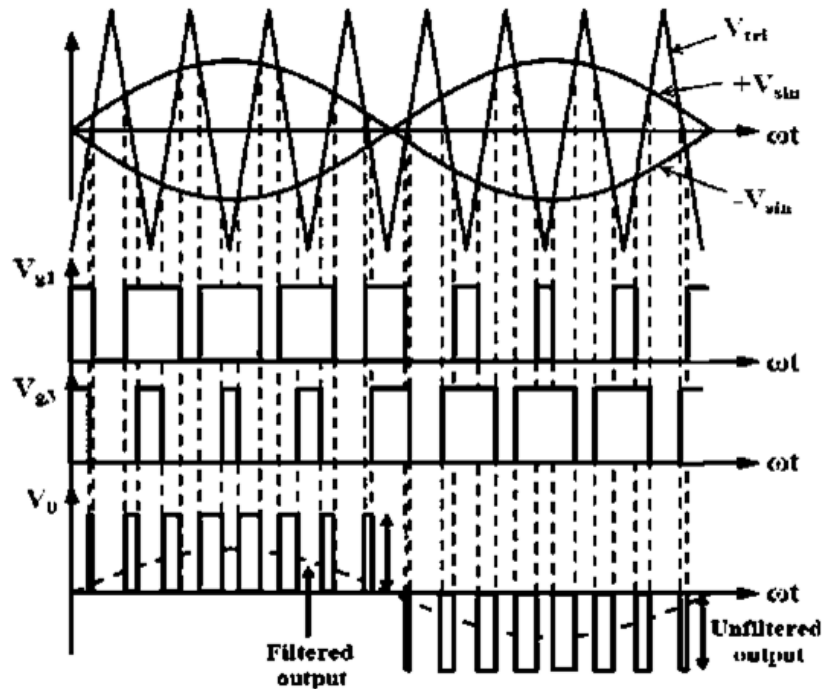


**Figura 5.** Generación de los pulsos mediante modulación SPWM Bipolar.

Fuente: [www.researchgate.net/figure/The-principle-of-bipolar-SPWM-method\\_fig2\\_281175506](http://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-bipolar-SPWM-method_fig2_281175506)

### 2.2.4.2 Modulación SPWM Conmutación Unipolar

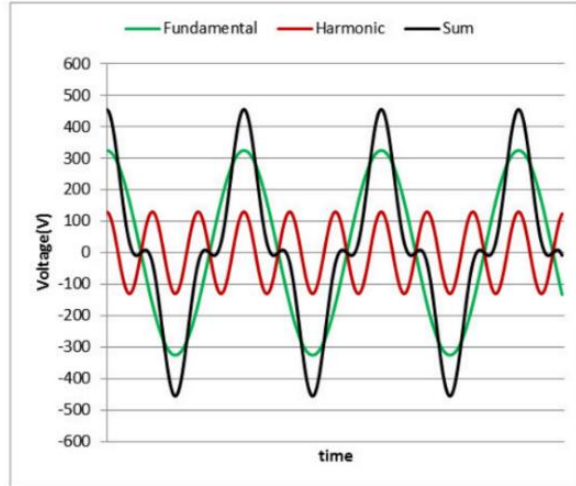
Esta técnica de modulación es la más usada para la fabricación de inversores con onda de salida seno pura, por su ventaja sobre los armónicos, en cuanto a que estos últimos, en la salida, aparecen a mayor frecuencia. En ese sentido, la técnica SPWM facilita el filtrado y la reducción del tamaño de los componentes en el filtro, a cambio de tener un control más complejo en los interruptores del puente H.



**Figura 6.** Generación de los pulsos mediante modulación SPWM Unipolar  
Fuente: <https://iarjset.com/wp-content/uploads/2020/06/IARJSET.2020.7524.pdf>

### 2.2.5 Distorsión Armónica

La distorsión armónica total (THD) es una medida de cuanto se distorsiona o se cambia la forma de onda de voltaje o de la corriente en su forma de onda sinusoidal convencional. La energía proviene de su suministrador eléctrico en forma de onda sinusoidal limpia. A medida que atraviesa diferentes tipos de cargas, el voltaje y la corriente se utilizan a diferentes tasas, lo que provoca que la distorsión se refleje desde la carga hacia el sistema.

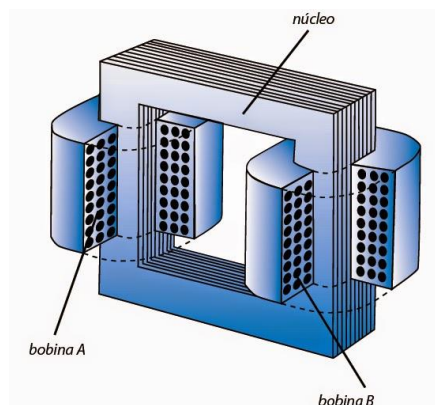


**Figura 7.** Señal alterada por armónicos

Fuente: <https://www.seencogroup.com/distorsion-armonica-total-que-paso-con-mi-onda-perfecta>

### 2.2.6 Transformador

Se denomina transformador a un elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. Convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Suele estar constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión que existe entre las bobinas la constituye el flujo magnético común entre ellas. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o a la salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados.



**Figura 8.** Estructura interna de un transformador

Fuente: <https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2015/11/estructura-interna-de-un-transformador.html>



### **2.2.8 Parámetros de Calidad**

Se trata de criterios que se utilizan para medir el éxito en relación con un conjunto de metas que tienen que ver con el rendimiento de la producción, la eficiencia, la eficacia y la satisfacción de los usuarios. Aunque, no solo se ocupan de la percepción que obtienen los clientes o de cómo utilizar esos parámetros en el diseño de un producto para alcanzar la culminación de los objetivos, sino que en términos de calidad o rendimiento establecen un proceso de medición coherente con la finalidad del producto. Del mismo modo, se pueden utilizar estos indicadores como un medio planificado y sistemático para asegurar que se aplican las normas, prácticas, procedimientos y métodos definidos del proceso.

### **2.2.9 Microcontrolador**

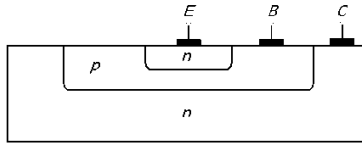
Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entradas y salidas. Para que un microcontrolador pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en un lenguaje ensamblador.

### **2.2.10 Elementos interruptores de Potencia**

Dispositivos electrónicos que son capaces de interrumpir el paso de corriente a una carga mediante una excitación externa. Estos poseen dos estados uno de alta impedancia (bloqueo) y otro de baja impedancia (conducción). Y deben ser capaces de soportar altas intensidades y altas tensiones cuando está en estado de bloqueo.

#### **2.2.10.1 Transistor de unión bipolar**

Es un dispositivo electrónico de estado sólido, llamado por su sigla BJT. consiste en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite aumentar la corriente y disminuir el voltaje, además de controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. La denominación de bipolar se debe a que la conducción tiene lugar gracias al desplazamiento de portadores de dos polaridades (huecos positivos y electrones negativos), y son de gran utilidad en gran número de aplicaciones; pero tienen ciertos inconvenientes, entre ellos su impedancia de entrada bastante baja.

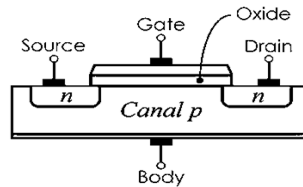


**Figura 10.** Corte transversal de un BJT

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_de\\_uni33n\\_bipolar](https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_de_uni33n_bipolar)

### 2.2.10.2 Transistor de efecto campo metal-33xido-semiconductor

Es un transistor conocido por su sigla MOSFET. Un componente el33ctrico que se encarga de regular la salida de voltaje a partir de una tensi33n de entrada dada. Es el transistor m33s utilizado en la industria microelectr33nica, ya sea circuitos anal33gicos o digitales, aunque el transistor de uni33n bipolar fue mucho m33s popular en otro tiempo. Pr33cticamente la totalidad de los microprocesadores comerciales est33n basados en transistores MOSFET.

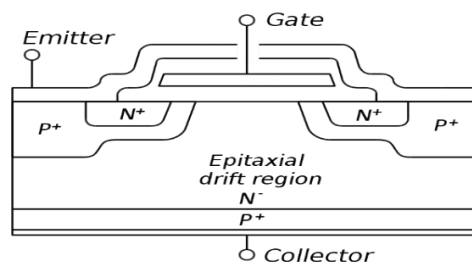


**Figura 11.** Corte transversal de un MOSFET

Fuente: <https://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-mosfet/>

### 2.2.10.3 Transistor bipolar de puerta aislada

Es un dispositivo semiconductor, conocido por la sigla IGBT. que se aplica como interruptor controlado en circuitos de electr33nica de potencia. Este dispositivo posee las caracter33sticas de las se33ales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de saturaci33n de un transistor de uni33n bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitaci33n del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las caracter33sticas de conducci33n son como las del BJT.



**Figura 12.** Corte transversal de un IGBT

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_IGBT](https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_IGBT)

## 2.3 Bases Legales.

Según Pérez las bases legales son “...el conjunto de leyes, reglamentos, normas, decretos, etc., que establecen el basamento jurídico sobre el cual se sustenta la investigación”. (Pérez, 2009, p. 65). Pallela y Martins explican que las bases legales “se refieren a las normativas jurídicas que sustentan el estudio. Desde la Carta Magna, las Leyes Orgánicas, las resoluciones, decretos, entre otros”. (Pallela y Martins, 2006, p. 69). De esta manera se procede a, exponer las leyes, reglamentos y normas que sustentan el desarrollo del proyecto.

### 2.3.1 COVENIN.

COVENIN es el acrónimo de la Comisión Venezolana de Normas Industriales, como se conoció desde 1958 hasta 2004, es el organismo encargado de velar por la coordinación, normalización y estandarización de las actividades industriales bajo lineamientos de calidad en Venezuela. Para llevar a cabo el trabajo de elaboración de las normas, COVENIN constituye comités y comisiones técnicas de normalización, donde participan comisiones gubernamentales y, no gubernamentales relacionadas con un área específica.

#### 2.3.1.1 Normas aplicadas de COVENIN.

- COVENIN norma 200:1999 Código Eléctrico Nacional.
- COVENIN norma 218-1:2000 Protección Contra las Radiaciones Ionizantes Provenientes de Fuentes Externas Usadas en Medicina. Parte 1: Radiodiagnóstico Médico y Odontológico.
- COVENIN norma 3299:1997 Programa de Protección radiología. Requisitos.
- COVENIN norma 3605-00 Protección Radiológica. Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad

## 2.4 Definición de Términos básicos

- **Ánodo:** Nombre que se le da a un electrodo con carga positiva.
- **Armónicos:** Ondas cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental, causando pérdidas eléctricas, que recaen en costes técnicos y económicos importantes.
- **Cátodo:** Nombre que se le da a un electrodo con carga negativa.
- **Ciclo de Trabajo:** Es la relación que existe entre el tiempo en que la señal se encuentra en estado activo y el periodo de la misma.
- **Electrones:** Partícula esencial más liviana que compone un átomo y que presenta la menor carga posible en lo referente a la electricidad negativa.

- **Filamento:** Es un elemento que tiene forma de hilo que puede ser rígido o flexible.
- **Filtro:** Es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.
- **Periodo:** Es el intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo.
- **Puente H:** Proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (ver figura 3.) (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en la carga. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte en la carga.
- **Radiación:** Es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Investigación.**

Debido a la naturaleza de la investigación se le puede considerar como un proyecto factible, puesto que se desarrollará un plan de trabajo para llevar a cabo la construcción de un inversor para un equipo de rayos X de alta frecuencia. Esto con el fin de remplazar la etapa inversora existente en el equipo. Según la UPEL (2016) se define un proyecto factible como:

la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El Proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p. 21).

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Fidias G. Arias (2012) define la investigación de campo como:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. (p.31).

#### **3.3 Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación está denominado por Arias como “el nivel o grado de profundidad con que se realizará el estudio” (Arias, 2012, p. 110). Como bien se dijo se establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del problema planteado. Tomando en cuenta el tipo de investigación, se conocerá el nivel en el cual se basa todo el estudio. También el nivel permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación.

El nivel de esta investigación es descriptivo, ya que consiste en la caracterización de un sistema con el fin de establecer su estructura para su estudio, Fidias G. Arias (2012) define la investigación descriptiva como:

la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p. 24).

### **3.4 Población y Muestra**

La población es un conjunto de individuos que comparten ciertos rasgos, limitados para el estudio. Fidias G. Arias (2016) la define como:

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. (p.81).

En el caso de este proyecto la población vendrá siendo el equipo de rayos X que pertenece a la empresa BIOSERSALUD C.A. el cual será analizado y descrito en el proyecto en cuestión. Y así mismo Arias define a la muestra como “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2012, p. 83). En este caso como la población a estudiar se compone de tan solo un elemento. La muestra será igual a la población también llamado muestra censal.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de investigación son una parte fundamental de la misma estos son los medios por los cuales el investigador puede recolectar información o datos sobre la problemática en que se está trabajando, Sabino (1992) define los instrumentos de investigación como:

Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados. (p. 149, 150).

Y por esta técnica de recolección de datos se describe la definición dada por Fidias G. Arias “son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades: oral o escrita (cuestionario), la entrevista, el análisis documental, análisis de contenido.” (Arias, 2016, p.111).

### **3.5.1 Técnicas empleadas.**

#### **3.5.1.1 Revisión Documental.**

La revisión documental es la acción de recolectar información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado define este concepto como: "... es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio" (Hurtado, 2010, p.427). En el transcurso de esta investigación se ha utilizado los manuales de fabricantes de etapas de alimentación de equipos y de los planos eléctricos de las unidades de rayos X que actualmente se comercializan en el mercado y son usadas en clínicas y hospitales.

#### **3.5.1.2 Observación Directa**

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Fidias G. Arias defina la observación como "... una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos." (Arias, 2016, p.69).

#### **3.5.1.3 Entrevista estructurada**

Es una técnica para obtener datos que consisten en un dialogo entre dos personas: el entrevistador "Investigador" y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general, una persona entendida en la materia de la investigación. Para Arias (2016) una entrevista es:

La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. (p. 73).

### **3.5.2. Instrumentos empleados**

#### **3.5.2.1. Instrumento de registro**

Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite. Estos instrumentos pueden ser desde un teléfono móvil, una computadora de escritorio, laptop o una libreta de notas. En los cuales el investigador puede apoyarse para captar en esta información que crea valiosa de postergar o implementar en el proyecto.

### **3.5.2.2. Instrumento de observación técnicamente asistida**

Principalmente se contará con el empleo de diarios de campo, cuaderno de notas, cámara fotográfica o cámara de video, o de algún dispositivo de medición de variables físicas de interés presentes en la realización de todas las experiencias que tenga el investigador con el fenómeno a estudiar.

### **3.5.2.3 Guion de Entrevista**

La entrevista será del tipo estructurada y se contará con una guía de entrevista previamente diseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado. Y para registrar dichas respuestas se puede usar la propia guía de entrevista si fue diseñada también con ese fin o usar algún otro elemento de registro como una grabadora o cámara de video.

## **3.6 Técnicas e instrumentos de Análisis de datos**

En esta etapa del proceso de investigación del proyecto, se procede a racionalizar los datos recolectados a fin de interpretar las posibles relaciones que expresan las variables estudiadas Fidiás G. Arias indica que “En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso.” (Arias, 2016, p.111). El análisis puede ser basado en diferentes técnicas ya sea lógicas, estadísticas las cuales serán empleadas con el mismo fin, el de revelar los datos recolectados.

### **3.6.1 Diagrama de Ishikawa**

También llamado diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, es un diagrama que consiste en una representación gráfica sencilla que tiene la forma de las espinas de un pez de forma horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha y a su izquierda las causas que lo originan. Es una de las diversas herramientas para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas. A partir de los datos recolectados en la entrevista, revisión documental u observación se analizarán mediante el modelo de ishikawa para así analizar lo que es verdaderamente fundamental de la problemática.

## **3.7 Fases de la Investigación**

- **Fase I: Reseña del equipo actual de Rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A.**

Con esta fase de la investigación se realizó un diagnóstico y una interpretación de las características, problemáticas y aspectos de diseño a tener en cuenta para el diseño. A partir de una entrevista y analizado mediante un diagrama de Ishikawa.

- **Fase II: Conceptualización del funcionamiento de un inversor de alta frecuencia en equipos de rayos X.**

En esta fase se realizó la conceptualización, dividida en etapa de control y etapa de potencia del funcionamiento técnico y funcionamiento operativo de un equipo de rayos X en alta frecuencia a partir de diseños de fabricantes y estudios en el área de inversores en equipos de rayos X.

- **Fase III: Establecimiento de los componentes que serán necesarios para el correcto funcionamiento del equipo puesto en marcha.**

A partir de la información recolectada en las primeras dos fases se procedió a establecer los componentes necesarios para el funcionamiento efectivo del equipo inversor puesto en marcha.

- **Fase IV: Simulación de la propuesta de diseño del inversor de alta frecuencia en entornos de simulación de proyectos electrónicos asistidos por computadora.**

En esta fase se puso a prueba la electrónica y el diseño del equipo inversor se simuló en entornos de simulación de proyectos electrónicos asistidos por computadora. Y así se determinó el correcto funcionamiento de todas las etapas que conforman el equipo inversor.

- **Fase V: Propuesta del acople del inversor en alta frecuencia al equipo actual.**

A partir de las características que posee el equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A. se propuso el acople del equipo inversor a el equipo actual y a su interfaz de manejo a distancia.

- **Fase VI: Análisis de la factibilidad económica y técnico-operativa de la implementación del inversor en alta frecuencia respecto al precio estimado de venta.**

En la última fase se llevó a cabo un análisis detallado que permitió determinar si la adopción del inversor de alta frecuencia es una inversión rentable y si realmente se traduciría en mejoras significativas en términos de eficiencia, calidad y seguridad en el uso del equipo. Para evaluar la factibilidad económica, se analizaron los costos asociados con la adquisición. Además, se llevó a cabo un análisis financiero que permitirá determinar si los beneficios esperados justifican los costos asociados con la implementación. Por otro lado, el análisis técnico-operativo evaluó si la implementación del inversor es viable desde una perspectiva de compatibilidad con el equipo existente.

### **3.8 Confiabilidad de la Investigación**

La confiabilidad de una investigación se puede definir como a aquella que es estable, congruente, segura, igual a sí misma en diferentes instancias de tiempo. Se pueden dividir en dos

secciones, interna y externa: Se define a la interna como aquella en la que diferentes observadores apreciando la misma realidad llegan a las mismas conclusiones; Hay confiabilidad externa cuando investigadores independientes llegan al estudiar una realidad semejante en condiciones y tiempos diferentes, llegan a los mismos resultados. Hidalgo (2005) dice que:

La confiabilidad depende de procedimientos de observación para describir detalladamente lo que está ocurriendo en un contexto determinado, tomando en cuenta para ello el tiempo, lugar y contexto objeto de investigación o evaluación, para poder así intercambiar juicios con otros observadores sean estos investigadores o evaluadores. (p.3).

Leyendo diversas investigaciones que funcionan como antecedentes para este proyecto se ha podido ver que siguiendo determinados protocolos y metodologías para el desarrollo un proyecto de este calibre y confirmando con los resultados y conclusiones de sus investigaciones se puede determinar que serán replicables para las circunstancias y características de este proyecto.

### **3.9 Confiabilidad del Instrumento**

La confiabilidad de un instrumento depende de que todo dato o información registrada o formulada con dicho instrumento sea de calidad, congruente consigo misma a fin de extraer de la realidad esas variables que se quieren medir. La manera en que ese instrumento obtiene tal información no puede afectar a la realidad de la situación a medir, ni favorecer un resultado ante otro. Es por eso que se validan estos instrumentos con profesionales del área de la que se esté consultado verificando así una buena redacción y claridad a la hora de utilizar un instrumento.

### 3.10 Cuadro de operacionalización de variables

<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Propuesta de diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X que cumple con todos requisitos de seguridad y funcionalidad para su implementación en el equipo de rayos x de la empresa BIOSERSALUD C.A.				
<b>OBJETIVO ESPECIFICO 1</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ITEMS</b>	<b>FUENTE DE INFORMACIÓN</b>
Reseñar el equipo actual de Rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A.	Reseña del Equipo	Dimensiones	Dimensiones del Equipo	1	Entrevista
		Tecnología	Tecnología de Alimentación	2	
			Tecnología de Control	3	
			Tecnología de comunicación	4	
		Tubo de rayos X	5		
		Seguridad	Mantenimiento	6	

**Fuente:** Pinto. R (2023)

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Fase I: “Reseña del equipo actual de rayos x de la empresa BIOSERSALUD C.A.”**

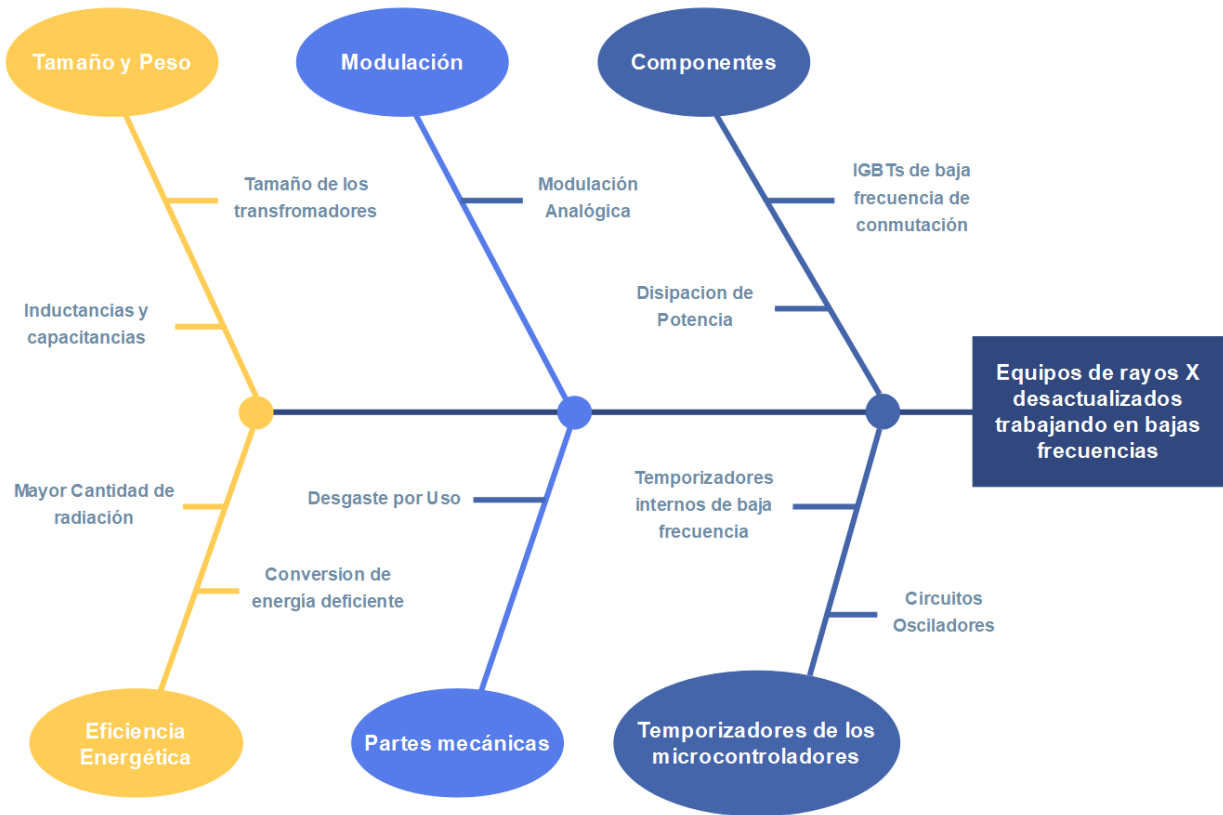
##### **4.1.1 Conclusiones sobre la entrevista**

Luego de haber aplicado la entrevista con los técnicos de la empresa BIOSERSALUD, las cuales se pueden consultar en el anexo B, se resalta la complejidad del equipo y la necesidad de una comprensión profundo de cada uno de los aspectos involucrados para su correcto funcionamiento. Algunos de los lineamientos son:

- Un parámetro crítico es el calibre de los cables de alimentación los cuales deben soportar corrientes de hasta 40A o 60A de manera momentánea en el disparo.
- Se requiere de una etapa de acondicionamiento de la señal de control que saturará a los transistores esto se logra con un arreglo de transistores de menor potencia que te aseguran saturar el IGBT.
- Es de mucha importancia el aislamiento galvánico ya que así se puede separar eléctricamente los elementos de control de la etapa de potencia en caso de que ocurra alguna falla
- Debido al transformador hay una limitación del rango de voltaje que va desde los 40kV a los 120kV que se inducen al tubo de rayos X.

##### **4.1.1 Análisis de entrevista mediante diagrama de Ishikawa**

Para analizar los datos obtenidos de la entrevista que se encuentra en el anexo B con el técnico de la empresa BIOSERSALUD C.A. se hizo uso del diagrama de Ishikawa, el cual es una herramienta que se usa para identificar las potenciales causas que ocasionan problemas específicos. En este caso el diagrama de Ishikawa es utilizado para identificar y analizar las potenciales causas que acarrear la problemática de equipos de rayos X desactualizados trabajando en bajas frecuencias. Al dividir en partes más pequeñas la problemática se pueden llegar a analizar y concluir sobre el tema más fácilmente.



**Figura 13.** Diagrama de Ishikawa  
Fuente: Pinto R. (2023)

#### 4.1.2 Observación Directa

Por definición un inversor es dispositivo electrónico de potencia o un circuito que transforma la corriente directa (DC) a corriente alterna (AC). Los inversores hacen la acción contraria a la de un rectificador. La frecuencia de la salida AC del inversor, depende del dispositivo en particular utilizado. El manejo general de la potencia de un inversor depende del diseño específico del equipo o circuitería. El inversor no produce potencia, la potencia es producida por la fuente DC. En el mercado se puede encontrar inversores aplicados en: Uninterruptible power supplies (UPS), AC adjustable speed control (ASD), compresores de refrigeradores, sistemas fotovoltaicos, sistemas de calentamiento por inducción. En virtud de todos los beneficios y aspectos positivos que puede aportar el diseño de un inversor de alta frecuencia para el equipo de rayos X, se debe tener en cuenta los altos estándares de funcionamiento, calidad y seguridad que un equipo de este calibre debe cumplir, si el mismo es utilizado de manera correcta.

El equipo de rayos X que posee la empresa BIOSERSALUD al ser un equipo de rayos X antiguo cuenta con una tecnología desfasada, donde su etapa de alimentación funciona con un

autotransformador el cual acarrea consigo ciertos inconvenientes como establecer los parámetros de tensión y corriente con los que trabajará el equipo. También es de destacar que para controlar la desconexión de cada uno de los devanados de dicho autotransformador es necesario el uso de relés o contactos ya que estos tienen que soportar corrientes considerables en AC. Como otro inconveniente se puede apreciar el hecho de que al ser un transformador de baja frecuencia su tamaño es considerable, esa es otra ventaja que ofrece trabajar en el alta frecuencia que el tamaño de todas las inductancias y transformadores se ve reducido porque el movimiento de los campos magnéticos se hace más sencilla a frecuencias más altas, otro apartado que contribuye a aumentar la envergadura del transformador es que las corrientes que maneja el transformador son considerables por lo tanto es necesario seleccionar un calibre de cable del transformador que lo soporte.

## **4.2 Fase II: “Conceptualización del funcionamiento de un inversor de alta frecuencia en equipos de rayos x”**

### **4.2.1 Funcionamiento del Inversor de alta frecuencia en equipos de Rayos X**

El funcionamiento de un inversor es aquel que se encarga de transformar una tensión de entrada en corriente continua a una tensión alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario, esto es debido a un arreglo de interruptores de potencia que invierten la polaridad de la fuente DC de entrada, y según la perspectiva de la carga actúa como una fuente de tensión alterna. Estos interruptores de potencia son los elementos actuadores finales que permiten aumentar o disminuir la frecuencia y la magnitud de la tensión. A una etapa inversora la conforman elementos como: transistores, diodos, filtros de condensadores e inductancias, comparadores y optoacopladores.

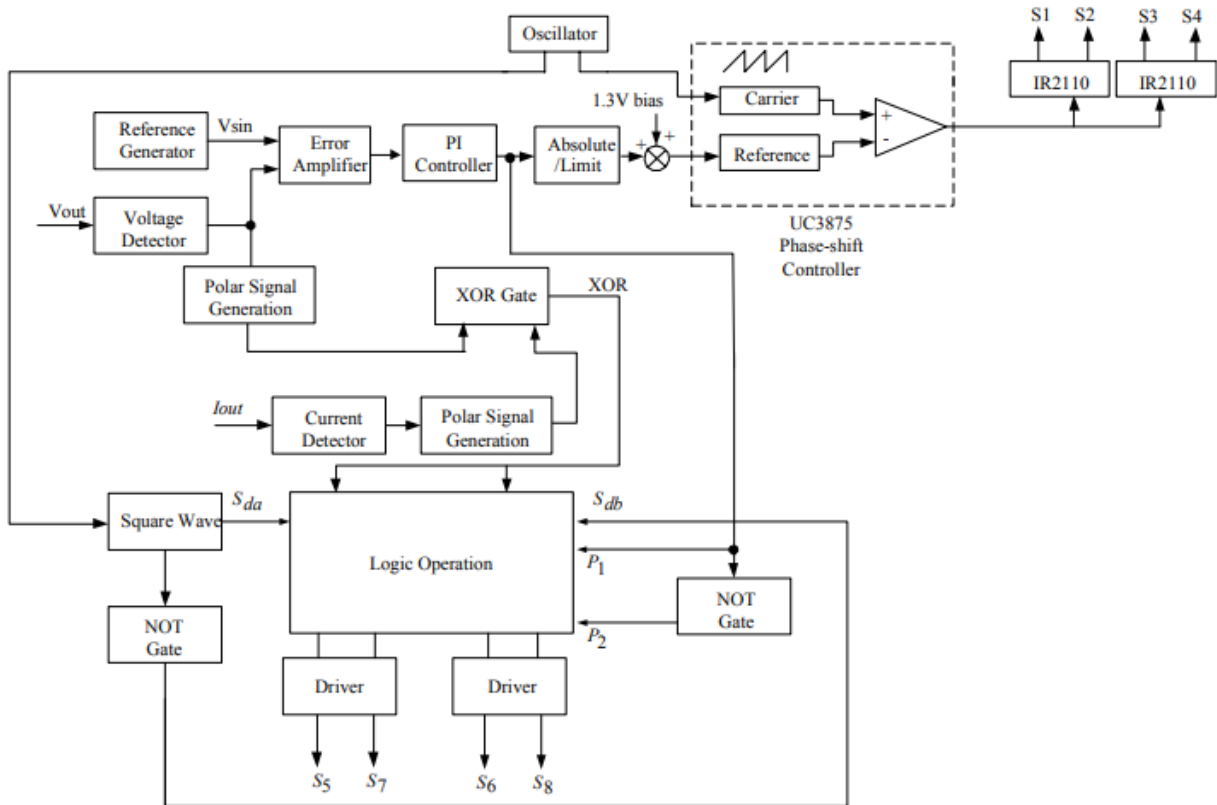
El transistor como se dijo antes es el elemento encargado de conectar y desconectar la tensión en la carga. un arreglo de 4 transistores, también llamado “puente H”, es capaz de, si son excitados en los tiempos correspondientes, transformar tensión de corriente continua DC a una tensión alterna AC. Esta es la acción que se requiere de un inversor. La función que cumplen los filtros son las de minimizar la cantidad de ripple en la señal de salida del sistema inversor, un inversor es incapaz de generar una señal alterna sinusoidal “perfecta”, sin embargo, se busca que cumpla los requisitos de operación de un equipo de corriente alterna, para ello se valen de dos factores: la eficiencia de la conmutación de los interruptores de potencia y los filtros, que son capaces de suavizar las señales de salida del inversor.

El control de los interruptores de potencia se realiza mediante una modulación PWM, en la que se requiere comparar dos señales, una portadora y una moduladora. Este comparador debe ser capaz de generar un valor alto cuando la moduladora sea mayor a la portadora y un valor bajo en caso contrario. Para Entender más a profundidad el funcionamiento de un inversor de alta frecuencia en equipos de rayos X de alta frecuencia se puede dividir en dos etapas, Etapa de control y Etapa de potencia.

#### **4.2.1.1 Funcionamiento de la Etapa de control**

La etapa de control es un componente crítico en el proceso de conversión, ya que es responsable de garantizar que la señal de salida del inversor sea estable y eficiente. En otras palabras, la etapa de control es la encargada de controlar la frecuencia y la amplitud de la señal de salida, lo que se traduce en un suministro constante y seguro de energía eléctrica. Para ello, se utilizan técnicas como la modulación por ancho de pulso (PWM) y la realimentación de corriente o voltaje, que permiten ajustar la potencia entregada a la carga y proteger el inversor en caso de sobrecarga o cortocircuito. Esta etapa se requiere para generar las señales de control del puente H del inversor mediante modulación PWM, para estudiar más el funcionamiento interno de la etapa de control se basará en los diagramas propuestos por fabricantes de equipos de rayos X y estudios que proponen diseños de inversores incorporando nuevas tecnologías.

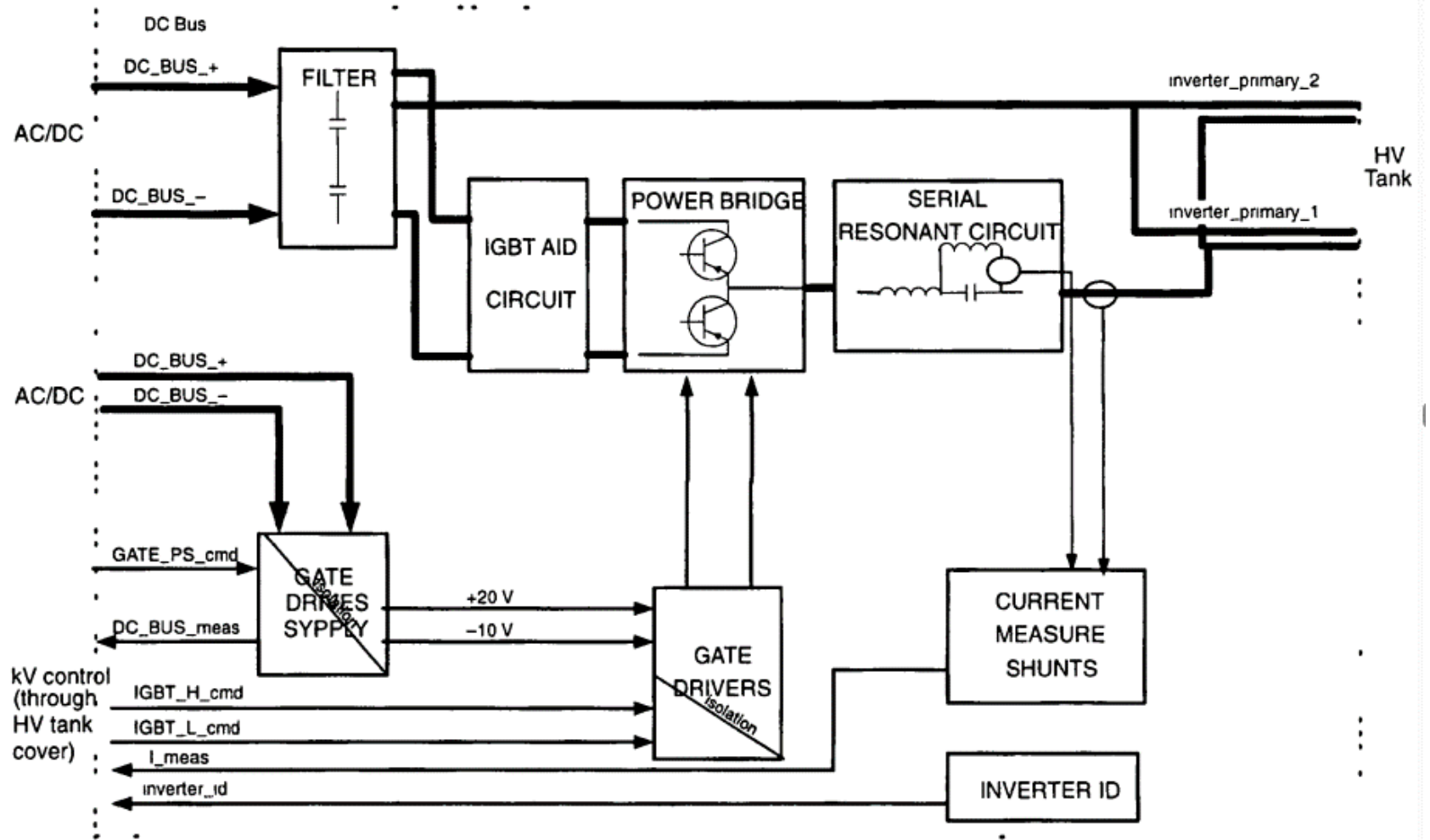
En el diagrama de bloques de la figura 14. Se puede apreciar que se efectúa la detección del voltaje que hay a la salida del inversor y es posteriormente comprada por un voltaje de referencia, mediante un control PI, donde se mejora la respuesta dinámica del sistema y dicha señal es comparada con la señal portadora dentro de un Phase-shift controller (UC3875) para adecuar esa señal a los interruptores de potencia en su caso IGBTs, se utilizan IR2110 que cumplen la función de Bootstrap para los 4 IGBTs que forman el puente H.



**Figura 14.** Diagrama de bloques para el esquema de control

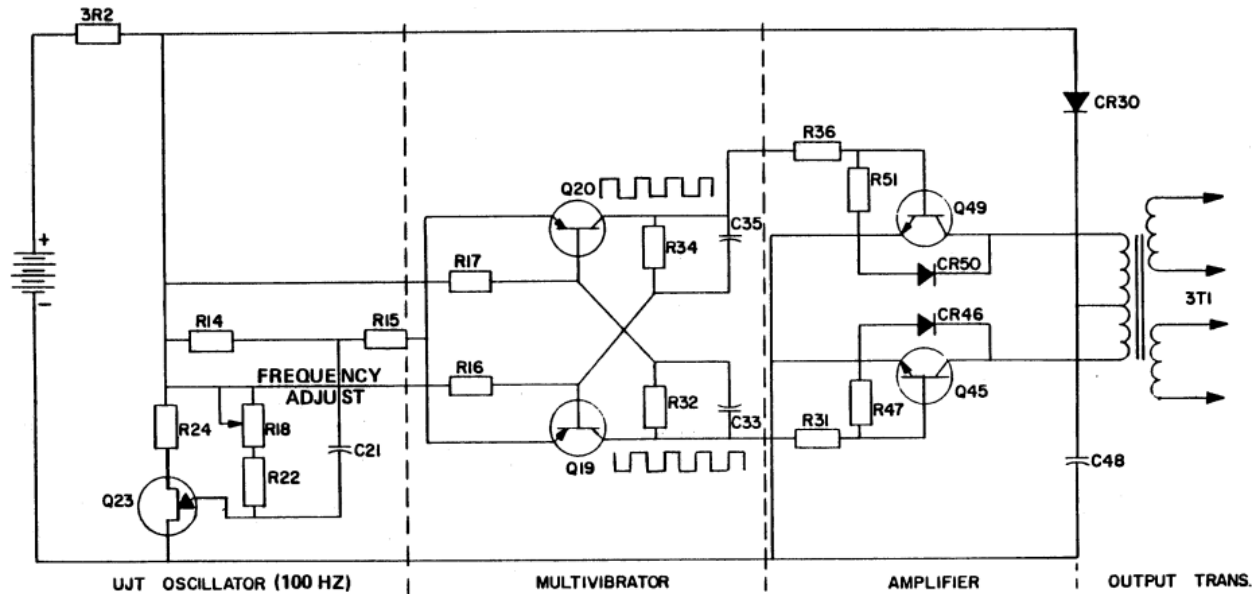
Fuente: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1179261>

En la figura 15. se puede observar el diagrama de bloques de la etapa inversora del generador Jedi del manual de General Electric Silhouette VR Diagnostics la etapa de control está compuesta por una comparación de los kV medidos en los bornes del tubo de rayos X con los kV demandados para trabajar, también de una medición de corriente en la salida del inversor para así controlar las sobre corrientes y proporcionar seguridad frente a cortocircuitos, estas mediciones van a un FPGA destinado al control de la exposición de la cual saldrán las señales de control de la alimentación de las compuertas de control y las señales de control de dichas compuertas.



**Figura 15.** Diagrama de bloques de la etapa inversor del generador Jedi  
Fuente: Silhouette VR Diagnostics GE medical Systems

En el inversor del equipo móvil AMX-II de general electric. Ver figura 16. Se muestra un circuito oscilador que es ajustado mediante un arreglo de resistencias y condensadores al valor requerido de frecuencia, en el caso del AMX-II son 500 Hz. Los pulsos de alta frecuencia son emitidos a par de transistores que trabajan como un FLIP-FLOP. Para posteriormente llegar a una etapa de amplificación y finalmente unos transformadores que enviarán las señales de control a los interruptores de potencia.

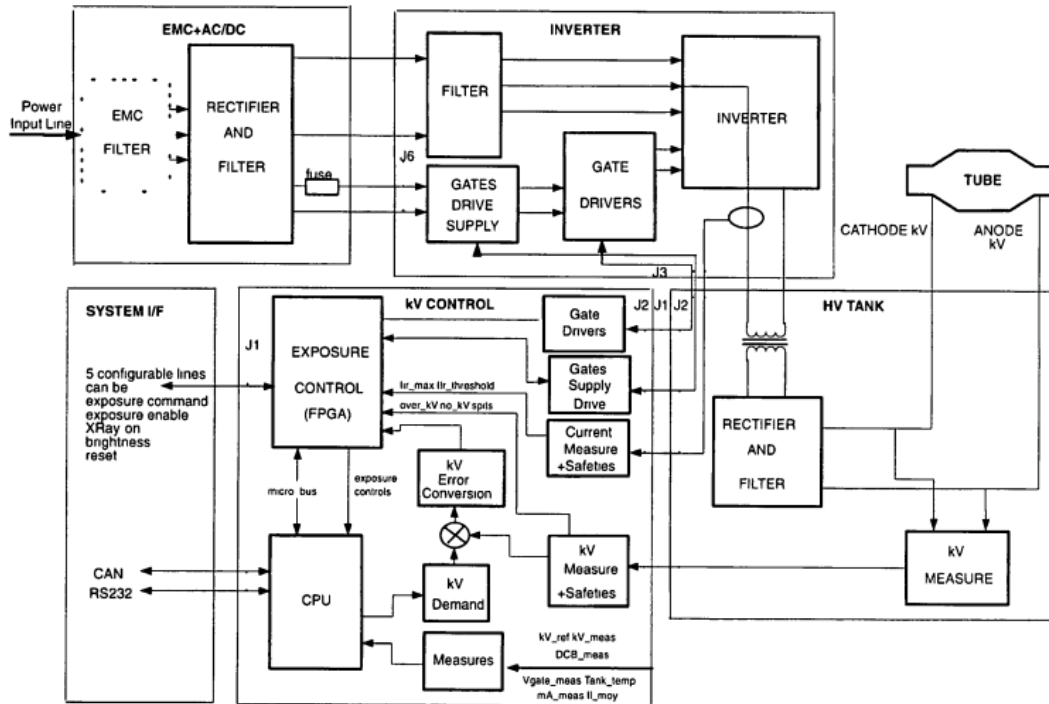


**Figura 16.** Diagrama de bloques de la etapa de control de kV del equipo AMX - II  
Fuente: AMX-II X-Ray Unit GE medical Systems

#### 4.2.1.2 Etapa de potencia de un inversor de alta frecuencia

La etapa de potencia de un inversor de alta frecuencia es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema. Esta etapa es la encargada de convertir la corriente continua proveniente de la fuente de energía en corriente alterna que pueda ser utilizada por los dispositivos eléctricos. Para ello, se utilizan diferentes componentes como los transistores, los diodos y los condensadores, que trabajan en conjunto para controlar y modular la señal de salida. En un inversor de alta frecuencia, se utilizan transistores de conmutación rápida que permiten trabajar con frecuencias muy elevadas, lo que se traduce en una mayor eficiencia energética y una reducción en el tamaño y peso del sistema. Además, la topología del circuito también es importante, ya que permite controlar la forma de onda de salida y adaptarla a las necesidades específicas del dispositivo a alimentar.

Basándonos en los diagramas de bloques de la etapa de control de los kV en el manual del virtual silhouette de General Electric, ver figura 17. esta etapa se compone de, a partir de una línea de tensión de entrada, generar un voltaje constante en los bornes del tubo de rayos X y se compone de:



**Figura 17.** Diagrama de bloques de la etapa de control de kV del generador Jedi  
Fuente: Silhouette VR Diagnostics GE medical Systems

Un Filtro, encargado atenuar el ruido y las interferencias tanto en modo diferencial como en modo común en una determinada banda de frecuencias denominada banda de rechazo. En el caso de General Electric, está situado en la entrada de alimentación del generador y mayormente compuesto por una o más celdas de filtrado colocadas en cascada para filtrar el ruido en modo común y el ruido en modo diferencial.

En la etapa de potencia se encuentra la figura del puente H, Según General Electric, el fabricante del equipo virtual silhouette, indica que el inversor que manejan es un inversor hypo-resonante de medio puente, los interruptores de potencia que utiliza son IGBTs y el circuito resonante presenta dos frecuencias de resonancia:

- Frecuencia de resonancia en serie, dada por el capacitor resonante y la suma de todas las inductancias en serie del circuito, incluida la del transformador de alto voltaje, dicha frecuencia está correspondida entre los valores de 50kHz a 70kHz.

- Frecuencia de resonancia paralela, dada por el capacitor resonante la inductancia en paralelo y su frecuencia corresponde a 20kHz.

El inversor produce su máxima corriente cuando se acerca a la frecuencia serie alrededor de 300mA a 50kHz y produce su corriente mínima cuando se está cerca de la frecuencia paralela 0 mA a 20 kHz. A la salida del inversor de alta frecuencia se encuentra un transformador de alta frecuencia, que posee dos devanados primarios conectados en paralelo al inversor, los devanados secundarios están conectados en serie con la última etapa de rectificación y filtrado. El capacitor de filtro es de 1nF, la topología del inversor en conjunto con el capacitor de filtrado produce un ripple en el rango de los 40kHz – 140kHz, no medible a bajos mA y a un bajo porcentaje a mA máximos. Un rectificador y posterior filtrado en la salida del transformador como última etapa antes de entrar a los bornes del tubo de rayos X, para transformar la salida a DC y eliminar armónicos.

La etapa de potencia del inversore de los equipos moviles de rayos X AMX-II de general electric es la responsable de convertir la energía eléctrica suministrada por la fuente de alimentación en una señal de alta tensión y frecuencia que se aplica a los tubos de rayos X. Para lograr esto, los inversores utilizan un circuito resonante que produce una corriente alterna de alta frecuencia. La eficiencia y la estabilidad de esta etapa son fundamentales para garantizar la calidad y la consistencia de las imágenes generadas por el equipo. En el caso específico del AMX-II, General Electric ha utilizado tecnología avanzada para garantizar una alta eficiencia energética y minimizar el ruido electromagnético, lo que permite un funcionamiento más seguro y confiable del equipo.

#### **4.2.2 Funcionamiento operativo del equipo de rayos X**

Los equipos de rayos X son herramientas médicas esenciales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones clínicas y diagnósticas. Estos equipos funcionan mediante la emisión de radiación electromagnética de alta energía, que se dirige a través del cuerpo humano o animal para crear una imagen interna detallada. El proceso de creación de una imagen de rayos X implica la exposición del cuerpo a una pequeña cantidad de radiación ionizante, lo que puede ayudar a los médicos a identificar problemas de salud subyacentes. Aunque los equipos de rayos X son muy útiles, también presentan algunos riesgos potenciales para la salud, por lo que es importante utilizarlos solo cuando sea necesario y siguiendo las pautas y protocolos apropiados. Los operarios deben de tener en cuenta las características fisiológicas del paciente, como su contextura, la zona

en la que es necesaria realizar la radiografía o las capacidades motoras limitadas de su paciente. Estos protocolos pueden variar ligeramente de un fabricante a otro debido a la tecnología o el tipo de equipo del que se esté hablando.

#### **4.2.2.1 Selección de técnica de operación y parámetros**

Cuando se utiliza un equipo de rayos X, es esencial seleccionar cuidadosamente las técnicas de operación y los parámetros adecuados para garantizar la calidad y seguridad del examen. La selección de estas configuraciones depende de varios factores, como el tipo de examen que se está realizando, el tamaño y tipo de cuerpo del paciente, y el propósito del examen. Los técnicos deben tener experiencia y conocimientos en la selección de técnicas de operación y parámetros para garantizar que se obtenga una imagen clara y detallada sin exponer al paciente a una cantidad innecesaria de radiación. Estos parámetros son seleccionados en la interfaz de control y manejo del equipo, el operador debe de seleccionar la configuración de parámetros que el considere necesaria para el paciente particular, estos parámetros a modificar son: kV, mA y ms. Usualmente, se encuentra en los equipos el parámetro mAs, que se usa para representar los miliamperios en conjunto con los milisegundos.

Para la selección de dichos parámetros el técnico se basa en las condiciones necesarias de la radiografía, como lo es, la zona del cuerpo donde se quiere obtener la imagen, se deben seleccionar distintas combinaciones de kV y mAs dependiendo de la zona en la que se quiera efectuar el disparo, debido a que los tejidos de ciertas zonas tienen más grosor y envergadura que otros. Además, depende de la contextura del paciente, si el paciente posee mucha grasa en su zona abdominal será necesario configurar los kV y mAs de manera distinta de una persona que posee poca grasa abdominal.

#### **4.2.2.2 Preparación del equipo para la orden de disparo**

La preparación de un equipo de rayos X para la orden de disparo es un proceso crítico que debe ser llevado a cabo por personal capacitado y experimentado en el uso de estas herramientas. Antes de comenzar cualquier examen, es necesario asegurarse de que el equipo esté funcionando correctamente y que se haya seleccionado la técnica de operación y los parámetros adecuados para el examen en cuestión. Después de haber seleccionado las técnicas y parámetros adecuados, es importante asegurarse de que se han tomado todas las medidas necesarias para garantizar la seguridad del paciente y del personal involucrado en el examen. Esto incluye verificar que se han

colocado los protectores adecuados para reducir la exposición a la radiación, y que el personal está usando el equipo de protección adecuado.

Los botones de disparo de los equipos de rayos X cuentan con dos posiciones o dos pasos. Este paso intermedio antes del disparo de los rayos X es la preparación que el equipo necesita antes de realizar el disparo. En esta preparación se enciende el motor del ánodo y comienza a girar para que al momento de hacer el disparo se facilite la tarea de disipación de calor. También se ilumina el filamento que es el encargado de generar los electrones que impactarán con el ánodo a la hora del disparo. Y la etapa primaria del inversor es energizada.

#### **4.2.2.3 Orden de disparo del equipo de rayos X**

Cuando se da la orden de disparo de un equipo de rayos X, ocurren varios procesos internos que permiten la generación de una imagen clara y precisa del área del cuerpo que se está examinando. En primer lugar, se activa un circuito electrónico que suministra una alta tensión al tubo de rayos X. Esta alta tensión hace que los electrones se aceleren hacia el ánodo del tubo de rayos X, produciendo radiación electromagnética que se emite en forma de haz. La duración del pulso de radiación es controlada por un temporizador electrónico, que asegura que el haz sea emitido únicamente durante el tiempo necesario para generar una imagen clara y detallada. La intensidad del haz es regulada por un dispositivo llamado mAs, que controla la cantidad total de radiación emitida durante el pulso.

#### **4.3 Fase III: “Establecimiento de los componentes que serán necesarios para el correcto funcionamiento del equipo puesto en marcha”**

El correcto funcionamiento de un equipo de rayos X es crucial para garantizar la seguridad y precisión en los procedimientos médicos. Los componentes que lo conforman incluyen desde los elementos físicos del equipo hasta los softwares. Cada uno de estos componentes debe estar en óptimas condiciones y configurados correctamente para asegurar el correcto funcionamiento del equipo. Además, la calibración regular de estos componentes es necesaria para mantener la calidad y precisión de las imágenes generadas. El establecimiento adecuado de los componentes también ayuda a reducir la exposición innecesaria a la radiación y garantizar la seguridad tanto del paciente como del personal médico. En resumen, el establecimiento adecuado de los componentes es esencial para el correcto funcionamiento y seguridad del equipo de rayos X en los procedimientos médicos. El equipo inversor es un componente clave en la generación de rayos X, ya que se encarga de transformar la corriente eléctrica continua en una corriente alterna de alta frecuencia necesaria

para el funcionamiento del tubo de rayos X. Por lo tanto, es fundamental seleccionar los componentes adecuados y configurarlos correctamente para garantizar la calidad y precisión de las imágenes generadas, así como reducir la exposición innecesaria a la radiación y garantizar la seguridad del paciente y del personal médico. En esta fase, se describirán los diferentes componentes necesarios y se explicará su funcionamiento y configuración adecuada para el correcto funcionamiento del equipo inversor.

#### **4.3.1 Selección de Interruptores de potencia**

Los IGBTs, o transistores bipolares de puerta aislada, son dispositivos semiconductores que ofrecen una alta capacidad de conmutación y un bajo consumo de energía. Estas características los hacen ideales para su uso en el diseño de inversores de alta frecuencia en equipos de rayos X, donde se requiere una alta eficiencia energética y una rápida conmutación de la corriente eléctrica. Además, los IGBTs tienen una alta capacidad de bloqueo de voltaje, lo que los hace adecuados para operar en circuitos con altas tensiones. Otra ventaja de los IGBTs es que pueden soportar altas temperaturas, lo que es crucial en aplicaciones médicas donde se requiere una alta fiabilidad y durabilidad del equipo.

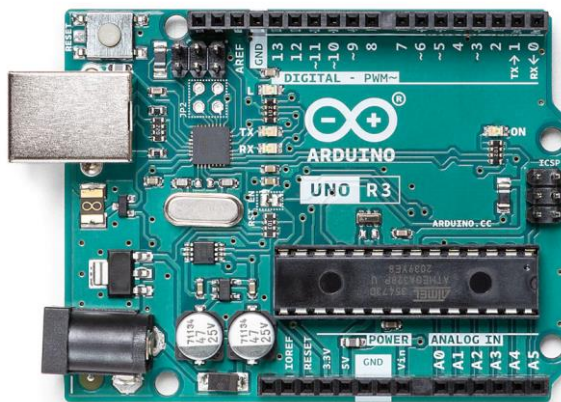
Es por eso que el tipo de componente seleccionado como interruptor de potencia son los IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) ya que son dispositivos semiconductores de potencia que combinan las ventajas de los MOSFETs y los BJTs en un solo dispositivo. Además, los IGBTs tienen una baja resistencia en conducción, lo que reduce las pérdidas de energía y aumenta la eficiencia del sistema. El modelo de IGBT seleccionado para la aplicación en un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X como lo es el de la empresa de BIOSERSALUD C.A es el de SIM150D06AV1. Ver figura 18. El cual es capaz de conmutar a la velocidad a la cuál conmutan las señales de control PWM, estas están en el rango de 50kHz - 60kHz. Además, es capaz de soportar la corriente que es transmitida a la carga conectada en los terminales del inversor, esta corriente en el caso de carga máxima será de 88 A<sub>rms</sub>. Alimentado por un voltaje de 500 VDC entre los terminales de entrada de inversor.



**Figura 18.** SemiWell half bridge IGBT Module (SIM150D06AV1)  
Fuente: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=SIM150D06AV1>

#### 4.3.2 Generación de las señales de control PWM

Se seleccionó un microcontrolador Arduino UNO ver figura 19. Como base para la generación de señales PWM en el equipo inversor debido a su versatilidad, bajo costo y facilidad de uso. El microcontrolador Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto que permite la programación de una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la generación de señales PWM. La generación de señales PWM es fundamental en el control de la frecuencia y amplitud de la corriente alterna suministrada a la carga, lo que permite controlar la intensidad y el tiempo de exposición a los rayos X. La plataforma Arduino ofrece una gran variedad de pines digitales y analógicos que permiten generar señales PWM con alta precisión y estabilidad. Además, el uso de un microcontrolador programable permite una mayor flexibilidad en el control del equipo inversor, lo que facilita su integración con otros sistemas y dispositivos electrónicos.



**Figura 19.** Placa Arduino Uno  
Fuente: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

Para la generación de las señales PWM mediante el Arduino se ha temporizador integrado de 16 bits que se puede utilizar para una variedad de funciones, incluyendo la generación de señales

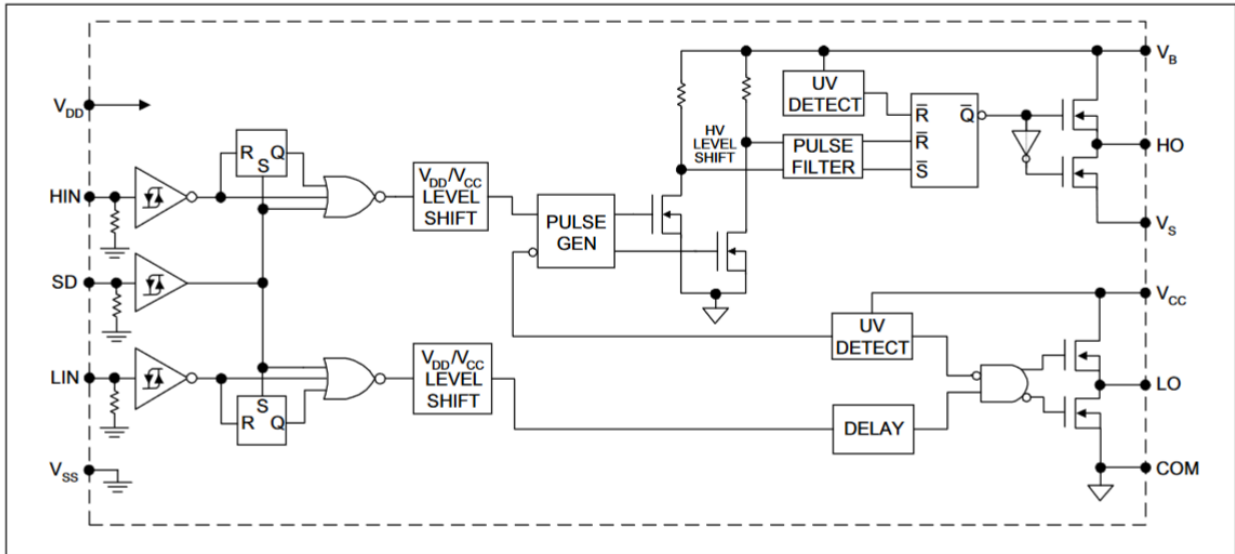
PWM y la medición del tiempo transcurrido. Este temporizador consta de dos registros de 8 bits (TCNT1H y TCNT1L) que se pueden combinar para formar un registro de 16 bits que se utiliza para contar el tiempo. Además, el Timer 1 tiene varios modos de operación, incluyendo modo normal, modo CTC (Clear Timer on Compare Match) y modo PWM (Pulse Width Modulation). En el modo normal, el temporizador cuenta desde 0 hasta su valor máximo, que depende de la frecuencia del reloj del microcontrolador y del preescaler configurado. En el modo CTC, el temporizador cuenta hasta un valor específico y luego se reinicia automáticamente. En el modo PWM, el temporizador se utiliza para generar una señal PWM con una frecuencia y un ciclo de trabajo específicos.

El modo utilizado para trabajar con el timer 1 del Arduino para este proyecto fue el modo de Fase y Frecuencia Corregido (Phase and Frequency Correct PWM). En este modo, el temporizador cuenta desde 0 hasta su valor máximo y luego retrocede hasta 0 antes de comenzar de nuevo, creando una onda de PWM simétrica. Durante la cuenta hacia arriba, la salida PWM aumenta su ciclo de trabajo a medida que el valor del temporizador aumenta, y durante la cuenta hacia abajo, disminuye su ciclo de trabajo a medida que el valor del temporizador disminuye. Este modo es útil para aplicaciones en las que se necesita una onda PWM con una frecuencia simétrica, como en el control de motores y en la regulación de voltaje. Además, este modo también permite la corrección de fase, lo que significa que se puede ajustar la fase de la señal PWM en relación con otra señal.

#### **4.3.3. Acondicionamiento de la Señal de los IGBTs**

El IR2110 es un controlador de puerta de alta y baja tensión que se utiliza comúnmente en equipos inversores de alta frecuencia debido a sus características de alto rendimiento y su capacidad para manejar altas corrientes. Este controlador de puerta es capaz de proporcionar una alimentación de alta tensión a los transistores de potencia, permitiendo así el control de la frecuencia y la amplitud de la corriente alterna suministrada a la carga. El IR2110 tiene una entrada lógica compatible con los microcontroladores, lo que permite su integración con otros sistemas electrónicos. Además, este controlador tiene una alta inmunidad al ruido eléctrico, lo que garantiza un funcionamiento estable y confiable incluso en entornos ruidosos. Este controlador tiene una corriente máxima de salida de 2A, lo que lo hace ideal para aplicaciones de equipos inversores con altas corrientes. Además, el IR2110 tiene un tiempo muerto ajustable que permite evitar las pérdidas por conmutación.

En la figura 18. Se puede apreciar en ambos terminales de salida del componente IR2110 el circuito de salida totem-pole este circuito que consiste en dos transistores bipolares, uno NPN y otro PNP, conectados en cascada para crear una salida de señal de alta potencia. La configuración totem-pole permite una mayor eficiencia y velocidad de conmutación que otros tipos de circuitos, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una alta potencia y velocidad. En el anexo D se encuentra el datasheet del elemento.



**Figura 20.** Diagrama de bloques funcional del IR2110  
Fuente: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=IR2110>

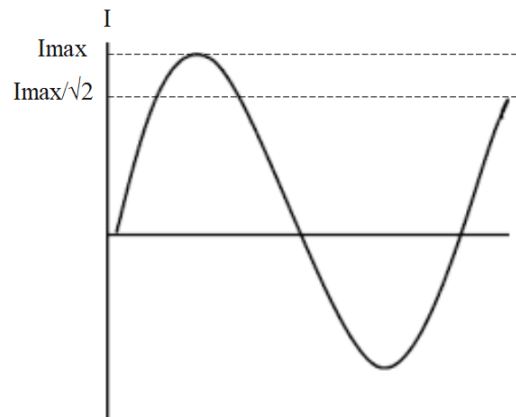
#### 4.3.4 Circuito integrado regulador de voltaje

Para entregar el voltaje de entrada del IR2110 con el que serán activados los interruptores de potencia, se utilizará el componente 7815. El 7815 es un regulador de voltaje lineal de tres terminales que se utiliza comúnmente en circuitos electrónicos para estabilizar la tensión de entrada y ofrecer una tensión de salida constante de +15V. Este componente es capaz de manejar una corriente máxima de 1A y tiene una caída de voltaje de entrada a salida de alrededor de 2V. El 7815 es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren una fuente de alimentación estable y confiable, como en circuitos de audio, amplificadores, fuentes de alimentación para microcontroladores y otros dispositivos electrónicos que requieren un suministro estable y constante. Así mismo para el caso de la alimentación del Arduino por el puerto  $V_{in}$  utilizará el componente 7805. El 7805 es un regulador de voltaje lineal de tres terminales que se utiliza para

estabilizar la tensión de entrada y ofrecer una tensión de salida constante de +5V en circuitos electrónicos.

#### 4.3.5 Selección de cableado

La selección adecuada de los cables en equipos inversores de alta potencia es esencial para garantizar una operación segura y confiable del equipo. La selección incorrecta de los cables puede provocar fallos en el sistema, cortocircuitos, sobrecalentamiento y otros problemas que pueden poner en peligro la seguridad del personal y dañar el equipo. Por lo tanto, es crucial seleccionar cables con las características adecuadas, como la capacidad de carga, la resistencia térmica y la flexibilidad, para garantizar un funcionamiento óptimo del equipo inversor de alta potencia. La selección de los cables fue hecha a partir de lo recomendado por el código eléctrico nacional en la tabla de ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 V (310.16). Para hacer la selección del cable por el que circularán las altas corriente se tomó el valor de corriente pico de la onda senoidal de la salida del inversor.



**Figura 21.** Diagrama de la corriente alterna eficaz  
Fuente: Pinto R. (2023)

Como el inversor cuenta con dos caminos por los que circulará la corriente hacia la carga, esto debido a la estructura en forma de puente completo que posee el inversor. Y a pesar de que el ancho de pulso varía debido a la modulación PWM, la suma respectiva de los tiempos en los que está encendido y la suma de los tiempos apagado, corresponde a un 50 por ciento de ciclo útil. Por puente del inversor.

Esto dará unos valores de corriente momentánea en el cableado tal que:

$$I_{pico} = 125A \quad (3.1)$$

$$I_{rms} = \frac{I_{pico}}{\sqrt{2}} = 88.388 A \quad (3.2)$$

$$I_{rms} \times DutyCycle = 88.388A \times 0.5 = 44.194A \quad (3.3)$$

Con ese valor de corriente momentánea que va a pasar por el conductor del inversor, se dirigió a la tabla (310.16) del código eléctrico nacional para seleccionar el cableado correspondiente. Dicha tabla se encuentra en el anexo C. a partir de la tabla se obtuvo que el conductor correspondiente debe ser el AWG #8 THW.

#### **4.4 Fase IV: “Simulación de la propuesta de diseño del inversor de alta frecuencia en entornos de simulación de proyectos electrónicos asistidos por computadora”**

La simulación es una herramienta fundamental en el proceso de diseño y desarrollo de sistemas electrónicos, ya que permite evaluar el rendimiento y el comportamiento del sistema antes de su construcción física. En este caso, la simulación se centra en el inversor de alta frecuencia, que es un componente clave en la generación de rayos X. La simulación permitirá evaluar el rendimiento del inversor en diferentes condiciones y configuraciones, así como identificar posibles mejoras y optimizar el diseño en el caso de que se desee hacer una construcción física. Se utilizarán herramientas de simulación específicas para proyectos electrónicos asistidos por computadora, las simulaciones presentadas en este documento serán realizadas en el programa Proteus de Labcenter Electronics ltd, el cual es un programa de diseño y simulación de circuitos electrónicos que se utiliza ampliamente en la industria y la educación. Posee algoritmos avanzados de simulación y herramientas de análisis de circuitos. La biblioteca de componentes de Proteus es muy extensa y actualizada, lo que permite a los usuarios diseñar y simular circuitos complejos con gran precisión. Además, el programa utiliza algoritmos avanzados para simular el comportamiento de los componentes en tiempo real, lo que garantiza resultados precisos y fiables.

Para realizar la programación del Arduino se utilizó el entorno de desarrollo integrado que proporciona la empresa Arduino de manera gratuita. Este entorno de desarrollo es una herramienta que permite escribir, compilar y cargar el código en la placa. Este entorno es muy intuitivo y fácil de usar, ya que cuenta con una interfaz gráfica que facilita la creación de programas en lenguaje C++.

##### **4.4.1 Sistema de generación de las señales PWM**

Se decidió utilizar un Arduino para controlar el sistema de control y actuadores. Para poder simular el comportamiento del Arduino en el software de diseño electrónico Proteus, se hizo uso de las librerías de Simulino, una librería externa de Proteus que permite simular el funcionamiento

de un Arduino. Estas librerías permiten simular el código y la funcionalidad de un Arduino en el entorno de Proteus, lo que facilitó enormemente la tarea de verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación física. Además, el uso de Simulino permite realizar pruebas y ajustes en el código sin necesidad de tener el hardware físico conectado, lo que se tradujo en un ahorro significativo de tiempo y recursos.

#### 4.4.1.1 Temporizador de 16 bits con PWM

Es una de las características que posee la tarjeta ATmega328p. Este temporizador es capaz de medir intervalos de tiempo con una precisión de microsegundos, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren un alto nivel de precisión en el control del tiempo. El Timer 1 se puede configurar de varias maneras diferentes, lo que le permite adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones. Además, el Timer 1 posee configuraciones de que generan señales PWM con control de fase y frecuencia corregida lo que permite a los desarrolladores controlar la velocidad o intensidad de dispositivos eléctricos. El Timer1 es un temporizador de 16 bits, lo que significa que puede almacenar un valor de contador máximo de 65535. Una vez que un contador alcanza su máximo valor, este volverá a cero.

##### 4.4.1.1.1 Configuración del modo de trabajo del timer 1

Para configurar el comportamiento que tendrán los pines OC1A y OC1B se debe de alterar el registro TCCR1A el cual es el encargado de determinar la conducta que tendrá cada uno de los pines con los que trabaja el timer 1. Este registro también es el encargado de configurar el modo de generación de ondas con el que se desee a trabajar. En la figura 22. se puede apreciar el registro TCCR1A junto a todos los bits que conforman su registro.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x80)	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Figura 22.** Registro de control TCCR1A

Fuente: ATmega328P datasheet

Se empieza configurando el modo operación con el trabajará el timer 1 esta conjuración corresponde a los pines WGM10 y WGM11 en el registro TCCR1A. Debido a las necesidades de controlar la fase y la frecuencia, debido a las características del proyecto. Para escoger el modo de

trabajo PWM, fase y frecuencia corregida se dirige a la tabla 2. En la que se muestran todos los modos de trabajo con los que configurar el timer 1.

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1x at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, phase correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, phase correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, phase correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, phase and frequency correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, phase and frequency correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, phase correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, phase correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

**Tabla 2.** Descripción de bits del modo de generación de ondas

Fuente: ATmega328P datasheet

Para trabajar en el modo 8, PWM, fase y frecuencia corregida se determinará en los pines 0 y 1 del registro TCCR1A un valor binario de 0 en cada uno de los bits. Una vez se haya determinado el modo de trabajo se configurará el modo de comparación de las salidas de los pines OC1A y OC1B para ellos se debe de dirigir a la tabla 3.

COM1A1/COM1B1	COM1A0/COM1B0	Description
0	0	Normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
0	1	WGM13:0 = 9 or 11: Toggle OC1A on compare match, OC1B disconnected (normal port operation). For all other WGM1 settings, normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
1	0	Clear OC1A/OC1B on compare match when up-counting. Set OC1A/OC1B on compare match when down counting.
1	1	Set OC1A/OC1B on compare match when up-counting. Clear OC1A/OC1B on compare match when down counting.

**Tabla 3.** Descripción de bits modo de comparación de salida, PWM, fase y frecuencia corregida.

Fuente: ATmega328P datasheet

Para el funcionamiento de un inversor con modulación bipolar y de puente completo, se necesitan dos señales de control, una la inversa de la otra, para activar la apertura de los interruptores de potencia, Es por es que para este caso se configuró el pin OC1A como una salida normal y el pin OC1B como una salida invertida. Dichas configuraciones corresponden a los valores de 10 para los pines 7 y 6 respectivamente y 11 para los pines 5 y 4 respectivamente de igual manera.

En la figura 23. Se puede observar el registro TCCR1B con él se puede completar la configuración del modo de operación del timer 1, ya que en el modo 8 de operación, PWM, fase y frecuencia corregida indica que los pines WGM13 y WGM12 deben estar configurados en los valores de 10 respectivamente. También en el registro TCCR1B se puede configurar el escalador de reloj interno del microchip ATmega328p de Arduino.

Bit (0x81)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1B
	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Figura 23.** Registro de control TCCR1B  
fuente: ATmega328P datasheet

Para otorgar una mayor resolución se optó por escoger un valor de pre-escalador de valor 1, que corresponde a los bits CS12, CS11 y CS10 en un valor de 001 respectivamente.

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	clk <sub>I/O</sub> /1 (no prescaling)
0	1	0	clk <sub>I/O</sub> /8 (from prescaler)
0	1	1	clk <sub>I/O</sub> /64 (from prescaler)
1	0	0	clk <sub>I/O</sub> /256 (from prescaler)
1	0	1	clk <sub>I/O</sub> /1024 (from prescaler)
1	1	0	External clock source on T1 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T1 pin. Clock on rising edge.

**Tabla 4.** Descripción de bits selección de reloj interno  
fuente: ATmega328P datasheet

Debido a esa configuración se tendrá una mayor resolución que vendrá dad por:

$$velocidad\ de\ temporizador\ (Hz) = \frac{clk_{I/O}}{1} \quad (3.4)$$

$$velocidad\ de\ temporizador\ (Hz) = clk_{I/O} = 16MHz \quad (3.5)$$

#### 4.4.1.1.2 Configuración del registro de interrupción del timer 1

Al trabajar en el modo de PWM, fase y frecuencia corregida se habilita la variable ICIE1 esta variable habilita una interrupción cada vez que timer se iguale al valor máximo dado por ICR1. Por lo tanto, en el registro TIMSK1. ver figura 24. Se tiene que en el bit 5 se coloca un valor de logico 1. Esta configuración se tiene debido a que en cada ciclo completo que ejecuta la señal de control se necesita variar el ciclo de trabajo para así aumentar discretamente el valor de anchura de los pulsos. El valor máximo en el que está asociada la interrupción de la señal PWM está definido por una ecuación senoidal con la cual se puede ajustar valores como el ciclo útil.

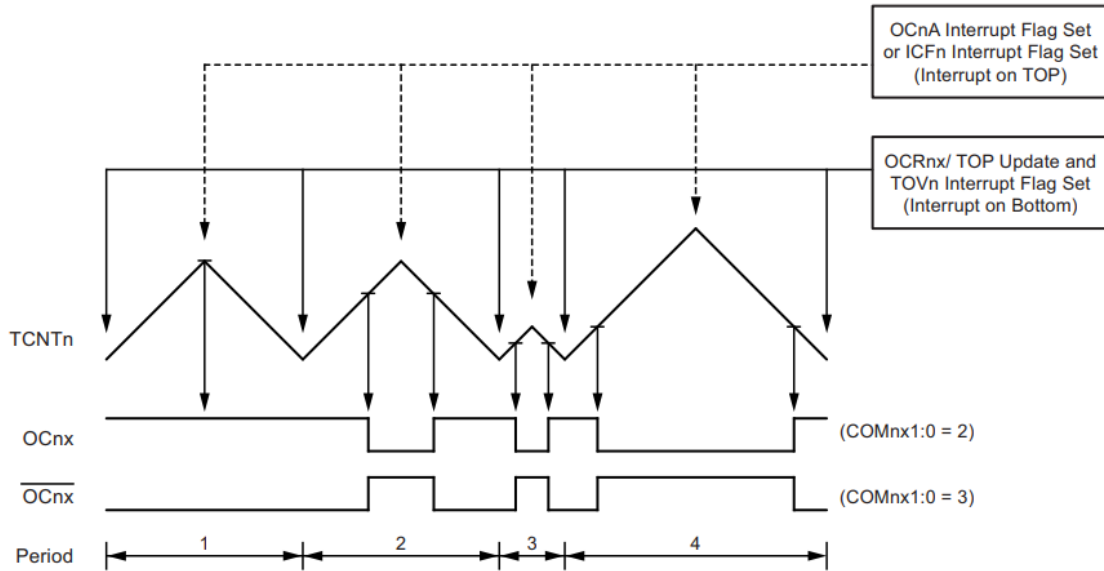
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6F)	-	-	ICIE1	-	-	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	TIMSK1
Read/Write	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Figura 24.** Registro de interrupciones del timer 1

fuelle: ATmega328P datasheet

#### 4.4.1.2 Modo PWM fase y frecuencia corregida.

El modo de fase y frecuencia corregida del Timer 1 del Arduino es una técnica de control de tiempo que permite ajustar la frecuencia de la señal de salida del temporizador, mientras se mantiene una relación constante entre el ciclo de trabajo y la frecuencia. En este modo, el temporizador cuenta hacia arriba y hacia abajo alternativamente, lo que produce una forma de onda simétrica en la que la mitad del ciclo de trabajo se produce en una cuenta ascendente y la otra mitad en una cuenta descendente. Esto significa que, si se cambia el valor del registro OCR1A, que determina el punto en el que el temporizador se reinicia, se puede ajustar la frecuencia de la señal sin afectar la relación entre el ciclo de trabajo y la frecuencia. En resumen, este modo permite una mayor flexibilidad en el control del tiempo, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una precisión en la frecuencia y el ciclo de trabajo.

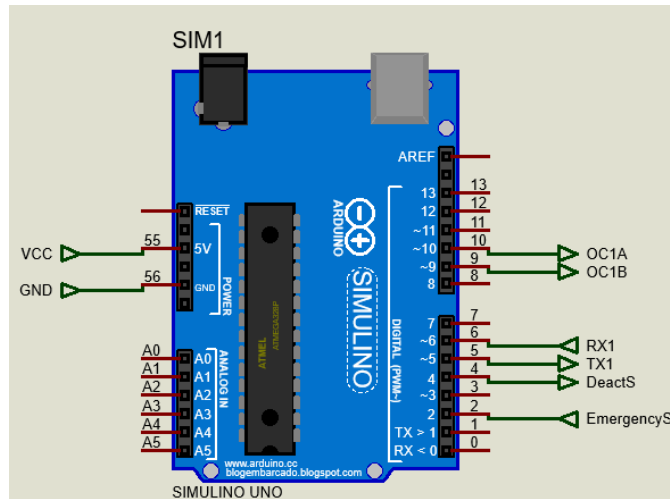


**Figura 25.** Diagrama temporal del modo PWM fase y frecuencia corregida  
Fuente: ATmega328P datasheet

#### 4.4.2 Sistema de control implementado con Arduino

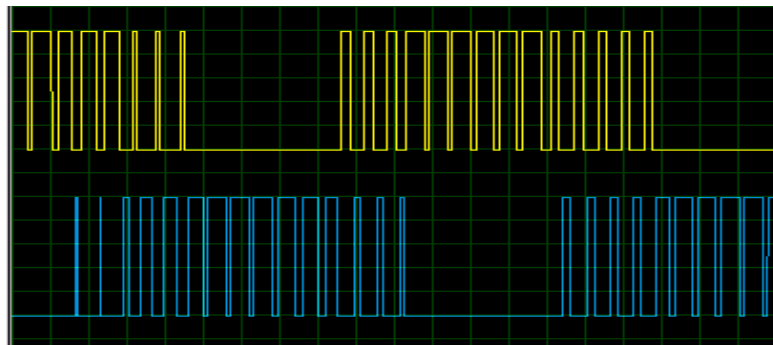
El sistema de control se ha diseñado a partir de un Arduino, utilizando el timer 1 con el que cuenta el componente Arduino para generar las señales de control de alta frecuencia mediante modulación bipolar. Que serán enviadas a un circuito driver, el cual es el encargado de que las señales control que vienen del Arduino saturan a los IGBTs del puente H de manera efectiva. En la figura 26. Se pueden apreciar los pines utilizados del Arduino, El pin de entrada digital EmergencyS es el encargado de desactivar la ejecución del programa del Arduino en cualquier instante de tiempo. Y la salida digital DeactS es la encargada de activar o desactivar los componentes IR2110 los cuales acondicionan la señal de control para saturar a los IGBTs, al entregar un nivel de uno lógico se desactivan los IGBTs.

Para cumplir con la generación de una señal de salida del inversor de alta frecuencia, se tienen que generar señales de control PWM de altísima frecuencia. Para el caso en cuestión se utilizó una señal triangular de 16.35 kHz, esta señal favorece la resolución más clara de la onda. El valor de 16.35 kHz es el valor máximo que se puede extraer de la placa de Arduino como valor de triangular. La frecuencia de la senoidal varía en cada semiciclo, pero su valor de amplitud se varía dependiendo de lo requerido por el usuario.



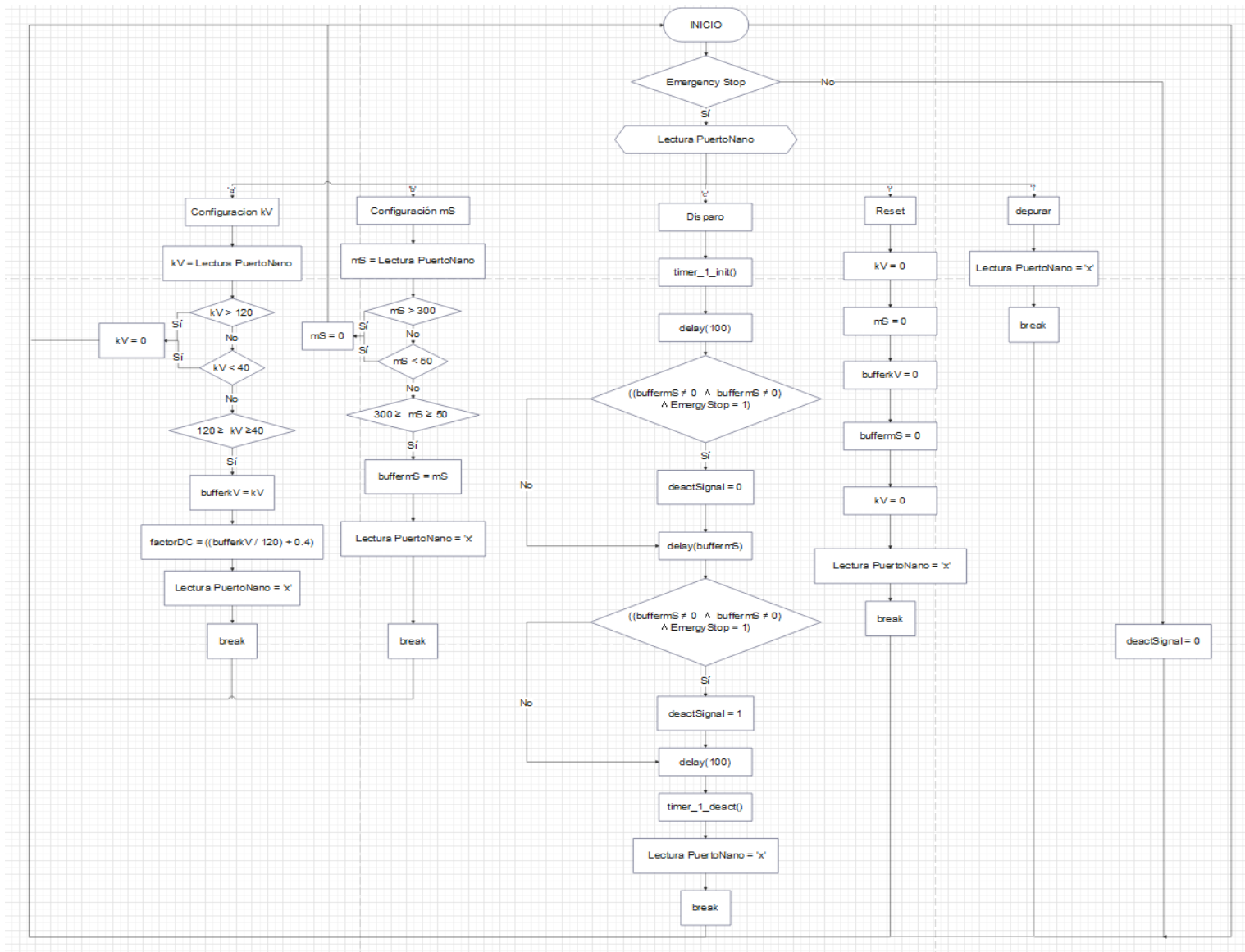
**Figura 26.** Esquema de conexión del Arduino UNO  
Fuente: Pinto R. (2023)

La figura 27. Muestra la simulación de la salida de los pines OC1A en color amarillo y OC1B en color azul. Las cuales son las señales de control PWM que son enviadas al circuito driver. La frecuencia de la señal PWM en modulación bipolar para cada oscilador es de 16kHz.



**Figura 27.** Simulación de las señales PWM en Proteus  
fuente: Pinto R. (2023)

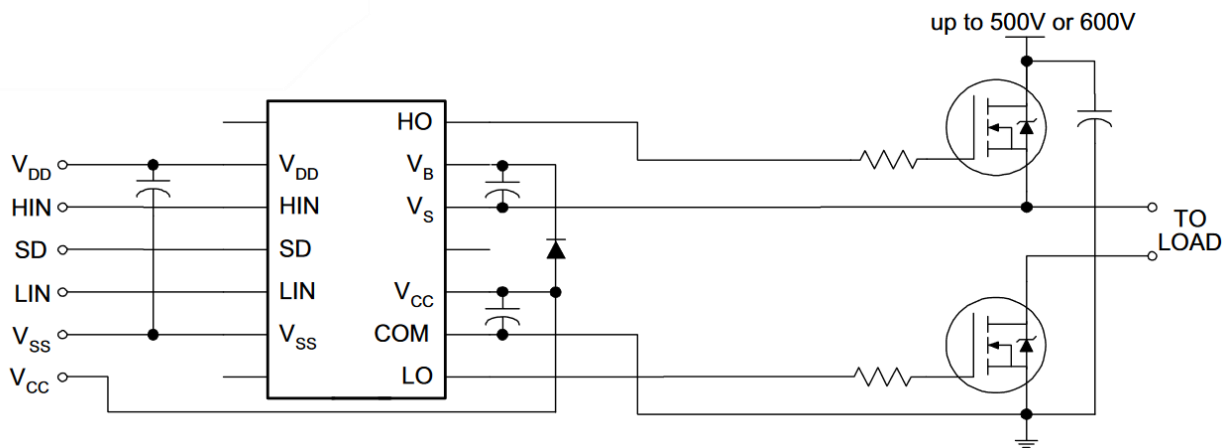
En la figura 28 se puede apreciar el diagrama de flujo que ejemplifica de manera grafica el proceso del software diseñado para la placa Arduino y el chip ATmega328P.



**Figura 28.** Diagrama de Flujo del Programa de Arduino  
 fuente: Pinto R. (2023)

### 4.4.3 Etapa de acondicionamiento de las señales de los IGBT

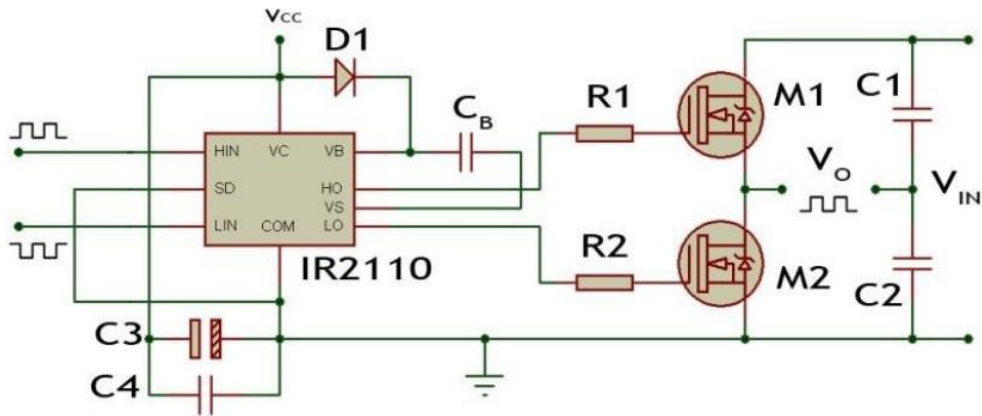
El IR2110 consta de dos etapas principales: una etapa controladora y una etapa driver. La etapa controladora recibe la señal de entrada del microcontrolador o del circuito integrado correspondiente y la procesa para generar una señal de salida adecuada para la operación que se requiera normalmente controlar MOSFETS o IGBTs. La etapa driver, por otro lado, recibe esta señal de salida y la amplifica para controlar los transistores de potencia en el puente H. En una etapa driver, el IR2110 es responsable de proporcionar la energía necesaria para activar los transistores MOSFET o IGBT del puente H. Esto se logra mediante el uso de un circuito interno que utiliza una fuente de alimentación separada para generar una tensión elevada, necesaria para activar los transistores. Además, el IR2110 también tiene una sobrecarga térmica y protección contra cortocircuitos, lo que lo hace ideal para entornos industriales donde la seguridad es una preocupación importante.



**Figura 29.** Conexión típica de driver IR2110  
fuente: IR2110 datasheet International rectifier

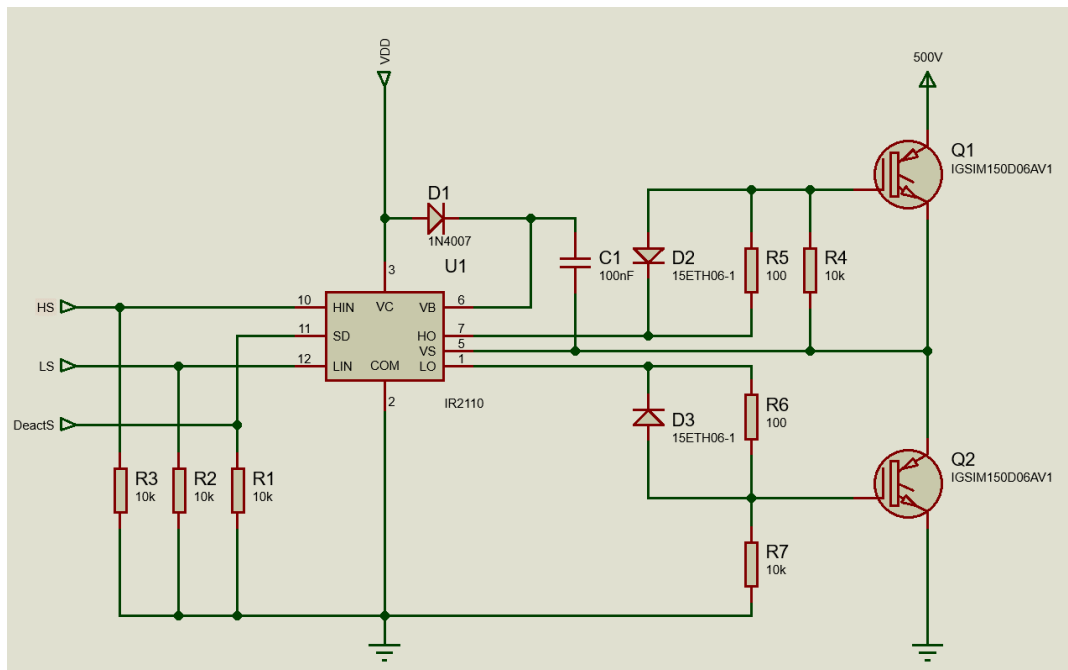
#### 4.4.3.1 Esquema de la etapa de acondicionamiento de los IGBTs

Con base en el esquema propuesto por el fabricante del componente, International Rectifier y también en base al esquema de un estudio relacionado con el tema de desarrollo de inversores en los cuales también se usó el componente IR2110 para la etapa de acondicionamiento de las señales, se puede apreciar en la figura 25. Se realizó el diseño de la etapa driver.



**Figura 30.** Esquema circuital de driver IR2110 para aplicaciones en inversores  
fuente: Diseño de inversor trifásico para sistemas fotovoltaicos residenciales con capacidad menor a 3kW

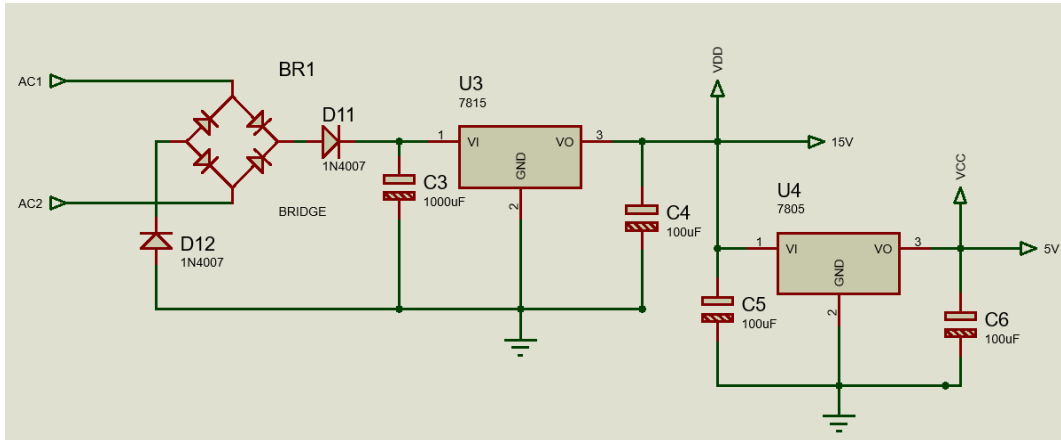
En el diseño final se realizaron ciertas configuraciones que divergen de otras investigaciones y de la configuración del fabricante, para trabajar en un inversor con una configuración de puente completo en alta frecuencia y con altas corrientes, Y así garantizar la saturación de los IGBTs a partir de las señales de control según los valores requeridos en el datasheet para saturar el interruptor de potencia. Y así mismo mejorar la carga y descarga de los pines de compuerta de los IGBTs debido a la composición interna del IR2110.



**Figura 31.** Diagrama Esquemático de la etapa driver mediante IR2110  
fuente: Pinto R. (2023)

#### 4.4.4 Fuente de alimentación

Para asegurar los valores de alimentación de 15 V, se decidió utilizar como regulador de voltaje el componente 7815, el cual es un componente regulador de voltaje positivo. Además, para garantizar la alimentación del Arduino se utilizó el componente 7805 el cual es un regulador de voltaje positivo de 5V. El esquema de conexión de la fuente se muestra en la figura 32.

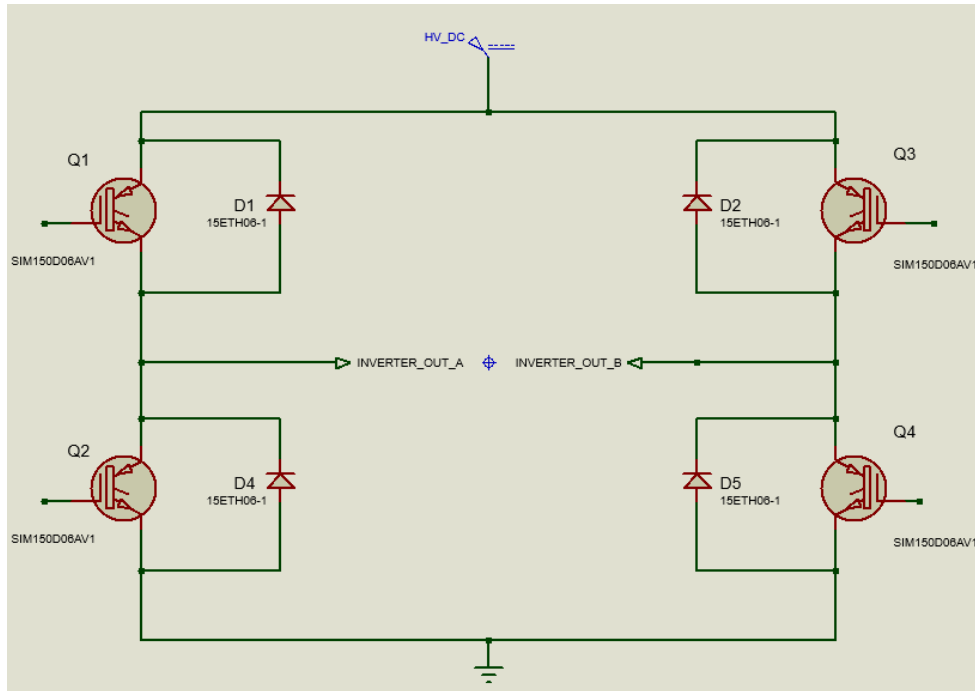


**Figura 32.** Esquema de conexión de la fuente de alimentación

Fuente: Pinto R. (2023)

#### 4.4.5 Etapa del puente H

la configuración de puente H, permite una mayor flexibilidad en la forma en que se controla el inversor. Al tener cuatro dispositivos de conmutación, se pueden implementar diferentes técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM) para controlar el voltaje y la corriente que se suministran a la carga. Esto permite una mayor precisión en el control del inversor y, por lo tanto, una mayor estabilidad en el suministro de energía a la carga. Otra ventaja importante es que la configuración de puente completo permite una mayor capacidad para manejar cargas inductivas o capacitivas. En comparación con otras configuraciones, esta opción tiene una mejor capacidad para manejar cargas inductivas debido a su capacidad para cambiar rápidamente la polaridad del voltaje suministrado a la carga. Además, esta configuración también puede manejar cargas capacitivas debido a su capacidad para descargar rápidamente los capacitores conectados a la carga.

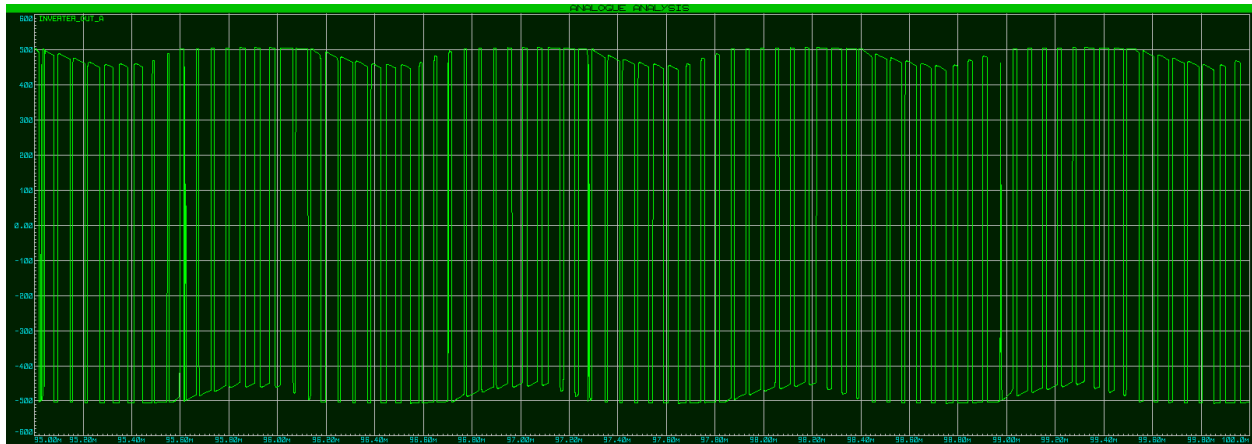


**Figura 33.** Diagrama esquemático del puente H  
fuente: Pinto R. (2023)

A un lado de los IGBTs se encuentra en antiparalelo un 15ETH06-1 el cual es un diodo que se seleccionó a partir de la característica de operación del equipo en términos de voltaje y corriente. El cual protege a los IGBTs del flujo de corrientes inversas generadas por cargas inductivas. En el anexo E se encuentra el datasheet del componente.

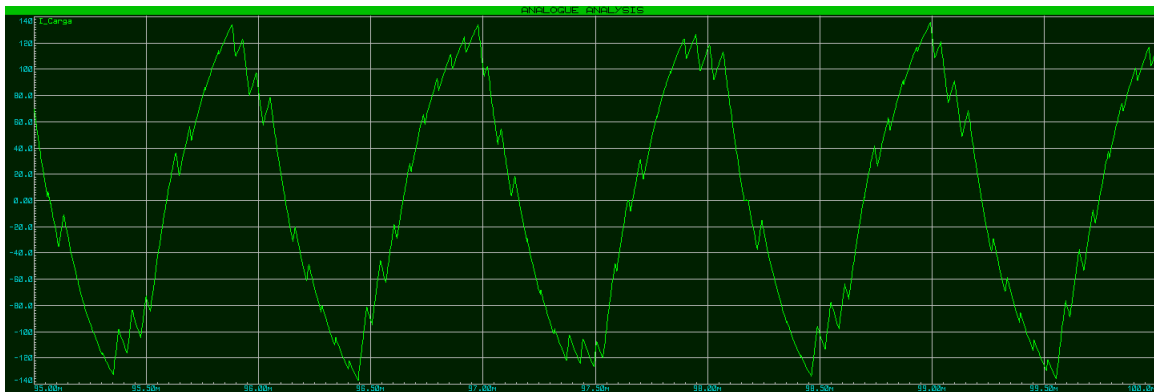
#### 4.4.5.1 Salida del Inversor

En la figura 34. Se puede apreciar la diferencia de potencial entre los puntos INVERTER\_OUT\_A y INVERTER\_OUT\_B, en dicha figura se observa la suma del efecto de las señales de control. El voltaje pico de esta señal 500V, eso dependerá del voltaje de entrada DC al que esté alimentado el inversor. En caso de que se desee que funcione a un nivel de voltaje DC distinto se deben realizar ajustes en el parámetro duty-cycle en la programación del Arduino.



**Figura 34.** Simulación del voltaje en la salida del inversor en Proteus  
fuente: Pinto R. (2023)

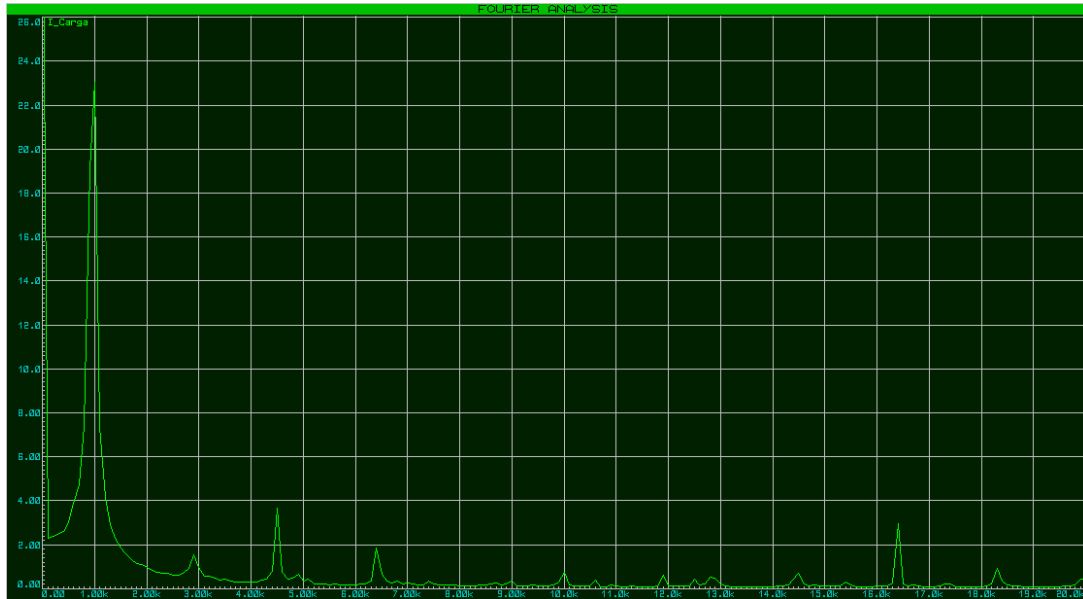
Para la simulación de la corriente en la carga en la salida del inversor que se observa en la figura 35. Se tuvo que representar la carga a la que estaría acoplado el inversor a partir de los datos de referencia de equipos de rayos X de alta frecuencia, dichos valores son solo una representación promedio para otorgar una visión de la potencia que maneja el inversor el inversor. La frecuencia de la señal es de 1kHz variable que se puede ajustar en caso de que se requiera, alterando la programación de Arduino, más específicamente la frecuencia de la senoidal de comparación para la generación de la señal PWM. La potencia a la que está trabajando el inversor en la implementación del equipo sería de 40 kW con un máximo de potencia que podría manejar de 60 kW.



**Figura 35.** Simulación de corriente en la carga en la salida del inversor en Proteus  
Fuente: Pinto R. (2023)

En la figura 36 se puede observar el espectro de frecuencia la señal de corriente. En ella se puede deslumbrar que el pico de frecuencia más alto se encuentra alrededor de los 1kHz, la cual es la frecuencia deseada de operación. Y en forma de pequeños picos que se presentan a la derecha

del pico de frecuencia fundamental, se puede apreciar otros más pequeños que son los responsables de deformar la señal senoidal pura de corriente deseada.



**Figura 36.** Simulación del espectro de frecuencia de corriente en la salida del inversor en Proteus

fuelle: Pinto R. (2023)

#### 4.4.6 Filtro pasa bajo

Debido a que la señal de salida de corriente del inversor que se observa en la figura 33. Posee una distorsión considerable la cual se puede apreciar en forma de un espectro de frecuencia en la figura 34. Se necesita de filtro que rechace la banda de frecuencias superiores a los 1kHz de frecuencia de la señal de corriente en la carga. Esto se consigue mediante un filtro pasa bajos. El filtro pasa bajo se utiliza en la salida de un inversor para eliminar las altas frecuencias no deseadas presentes en la señal de salida. Cuando un inversor convierte una señal de corriente continua (DC) en una señal de corriente alterna (AC), se generan armónicos y ruido en la señal. Estas altas frecuencias no deseadas pueden causar interferencia electromagnética y afectar el rendimiento de los dispositivos conectados a la salida del inversor. El filtro pasa bajo permite el paso de las frecuencias bajas y atenúa las frecuencias altas lo que reduce el ruido y los armónicos presentes en la señal de salida del inversor. Los filtros electrónicos son circuitos normalizados por lo tanto en el caso de que se desee ajustar a un valor de frecuencia de corte distinto se deben de ajustar los coeficientes de los componentes. El orden del filtro fue calculado a partir del tipo de respuesta que se quiere del filtro, aunque posteriormente esa respuesta será afectada por la resistencia del filtro la cual ayuda a atrasar la frecuencia de corte y a disminuir los valores de los componentes.

El orden de filtro se calculó a partir de una variante de las ecuaciones de Kaiser:

$$N = \frac{\log_{10}(10^{\frac{A}{10}} - 1)}{2 \log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)} \quad (4.1)$$

Donde;

N: Indica el orden del filtro.

A: Decibels de respuesta del filtro.

$\omega_c$ : Frecuencia corte.

$\omega$ : Frecuencia en la que llega a A decibeles.

Según los valores deseados y teniendo en cuenta que la respuesta del filtro será atrasada. Se calculó con los siguientes valores.

$$N = \frac{\log_{10}(10^{\frac{20}{10}} - 1)}{2 \log_{10}\left(\frac{40kHz}{20kHz}\right)} = 3.3 \approx 4 \quad (4.2)$$

Para determinar los valores de los coeficientes para luego calcular el valor de los componentes del filtro se utilizó la siguiente ecuación:

$$g_k = 2 \sin\left(\frac{2(k-1)\pi}{2 * N}\right) \quad (4.3)$$

$$L_1 = \frac{g_1 * R_o}{2\pi * 20kHz} \quad (4.4)$$

$$C_2 = \frac{g_2 * R_o}{2\pi * 20kHz} \quad (4.5)$$

$$L_3 = \frac{g_3 * R_o}{2\pi * 20kHz} \quad (4.6)$$

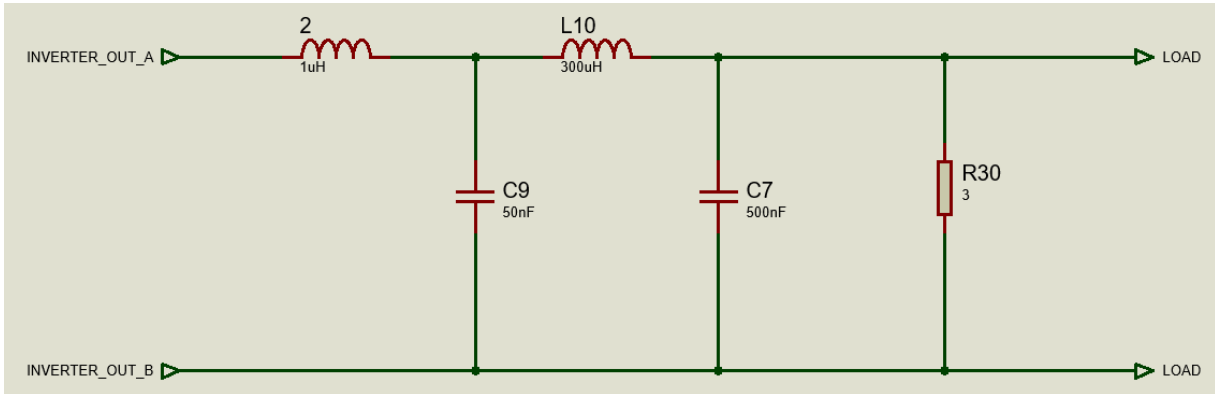
$$C_4 = \frac{C_4 * R_o}{2\pi * 20kHz} \quad (4.7)$$

Donde;

$R_o$  : Resistencia de salida en la frecuencia final del filtro a la frecuencia deseada.

En la figura 37. Se puede apreciar el filtro pasa bajos de cuarto orden diseñado, con una resistencia agregada para disminuir la magnitud de los componentes inductivos y capacitivos de entrada y atrasar la frecuencia de corte para que esta esté más cercana a los 2kHz y así obtener una

respuesta más adecuada para la implementación sin disminuir la magnitud de la frecuencia fundamental.



**Figura 37.** Diagrama esquemático del filtro pasa bajo

Fuente: Pinto R. (2023)

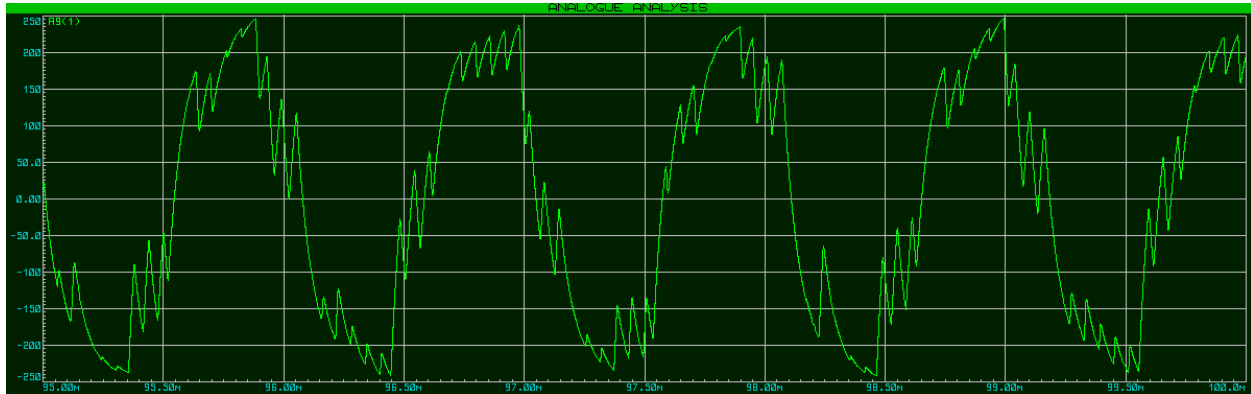
En la figura 38 se puede apreciar la simulación de la respuesta en frecuencias del filtro diseñado. En él se puede observar que la frecuencia de corte final está en alrededor de los 1.6kHz. con este diseño se pretende eliminar y asemejar más a una senoidal pura la señal de corriente en la carga.



**Figura 38.** Simulación de repuesta de frecuencia de filtro pasa bajos

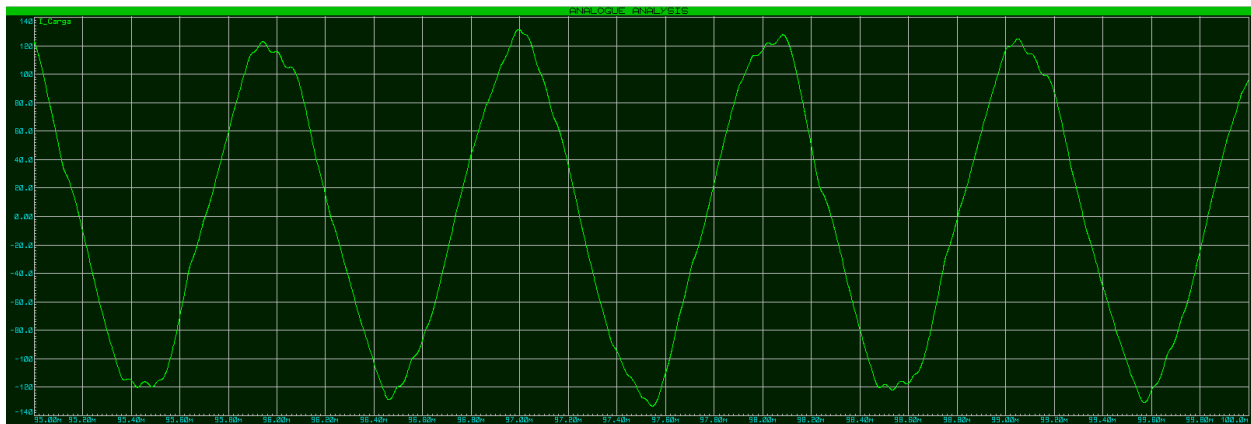
Fuente: Pinto R. (2023)

Ahora se podrá mostrar como el filtro modificó las señales de voltaje, corriente y el espectro de frecuencia de la salida. Empezando por el voltaje el cual se puede apreciar en la figura 39.



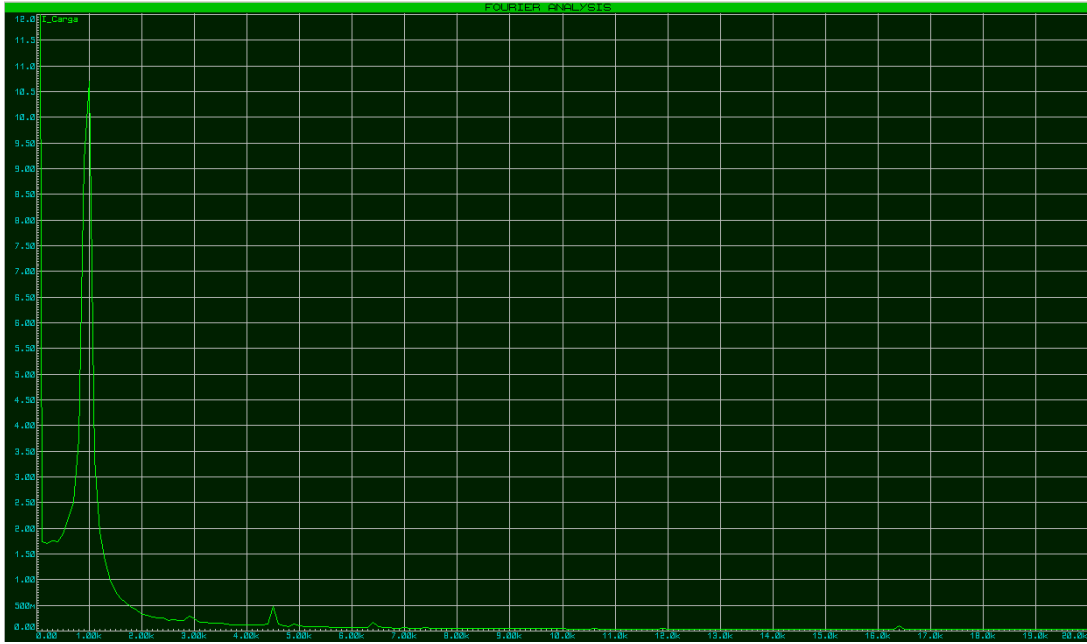
**Figura 39.** Simulación del voltaje en la salida del inversor en Proteus  
fuente: Pinto R. (2023)

En la simulación de la corriente que se observa en la figura 40. Se puede percibir que es más parecida a una senoidal, el cual era el objetivo que se buscaba con la implementación del filtro. A pesar de que se sigan presentando distorsiones, éstas ya representan una pequeña parte de la señal.



**Figura 40.** Simulación de corriente en la carga con filtro en la salida del inversor en Proteus  
Fuente: Pinto R. (2023)

Para analizar el efecto que produjo el filtro sobre los armónicos de la señal de corriente en la carga en la salida del inversor se realizó la simulación de la el espectro de frecuencias de la señal de la figura 40. dicha simulación se puede apreciar en la figura 41. En la que se puede distinguir como los armónicos que se encontraban a la derecha de la frecuencia fundamental han sido disminuidos y otros mitigados.



**Figura 41.** Simulación del espectro de frecuencia de corriente con filtro en la salida del inversor en Proteus  
Fuente: Pinto R. (2023)

#### **4.5 Fase V: “Propuesta de acople del inversor en alta frecuencia al equipo actual”**

Para que la propuesta de diseño sea controlable por el equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A. se debe de realizar una comunicación entre el equipo propiamente y la propuesta, está se realizará basándonos en la existencia de un Arduino en el equipo que se encarga de comunicarse con una interfaz inalámbrica en la cual se ajustan los valores a los que trabajará el equipo de rayos X. Estos valores son necesarios para el ajuste del inversor propuesto, por lo tanto, se necesitará crear un enlace mediante el cual se soliciten los datos al Arduino de comunicación mediante la librería software serial.

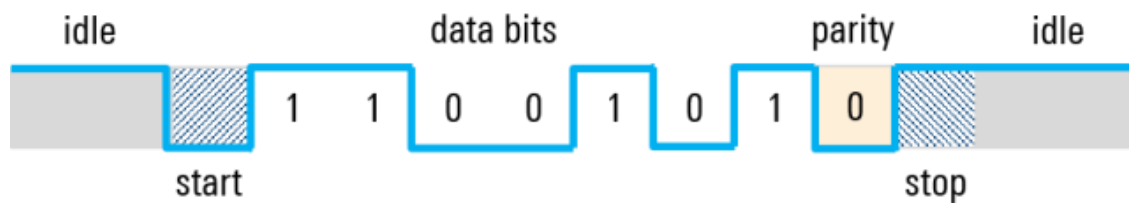
##### **4.5.1 Comunicación por software serial**

La librería Software Serial de Arduino es una herramienta muy útil para cualquier proyecto que requiera la comunicación serial con otro dispositivo de manera asíncrona. Esta librería permite que el microcontrolador de Arduino se comunique con otro dispositivo, en este caso una placa Arduino nano a través de los pines digitales, sin la necesidad de utilizar los pines RX y TX habituales. Esto es especialmente útil cuando se necesita utilizar estos pines para otras funciones, como, por ejemplo, la comunicación con un módulo Bluetooth o un sensor de ultrasonido. La librería Software Serial se utiliza para crear puertos serie virtuales en los pines digitales de Arduino, lo que significa que se pueden comunicar con múltiples dispositivos serie al mismo

tiempo. Además, esta librería es muy fácil de usar y se puede configurar para diferentes velocidades y formatos de datos.

#### 4.5.1.1 Protocolo de comunicación UART

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) es un protocolo de comunicación serial asíncrona que se utiliza en muchos dispositivos electrónicos. El UART se utiliza para enviar y recibir datos entre dos dispositivos a través de dos líneas de comunicación: la línea de transmisión (TX) y la línea de recepción (RX). En el caso de estudio se utilizó una configuración full-dúplex. En la figura 42 se puede apreciar el formato de envío de datos de la comunicación UART.



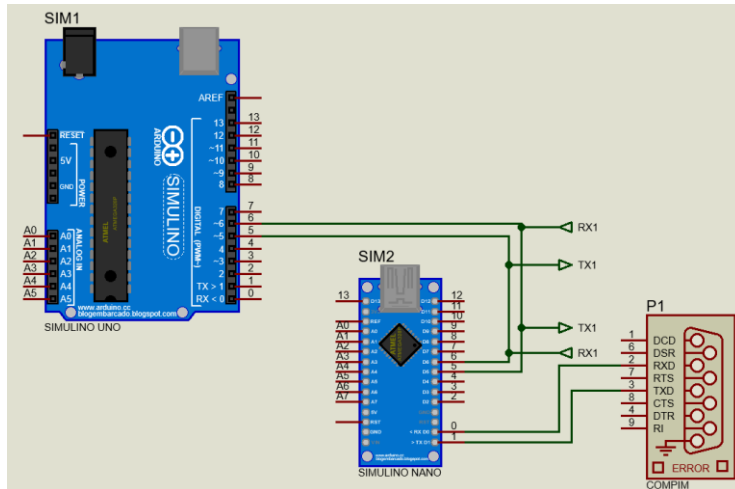
**Figura 42.** Formato de datos de la comunicación UART

Fuente: [https://www.rohde-schwarz.com/understanding-uart\\_254524.html](https://www.rohde-schwarz.com/understanding-uart_254524.html)

Las tramas de la comunicación UART se componen de, bits de inicio; debido a que el tipo de comunicación de protocolo UART es asíncrono se necesitan de un conjunto de bits que le indican al receptor la inminente llegada de datos. Una vez que se han enviados los bits de inicio se procede a enviar el paquete de datos del usuario. Luego se puede tener de manera opcional un bit de paridad que es usado para la detección de errores que pueden haber ocurrido en la transmisión de la información. Este bit se encuentra entre el final de los bits de datos y el bit de parada. Después de que se envíen los bits de datos y el bit de paridad, el bit de parada indica el fin de datos de usuario.

#### 4.5.2 Conexión y configuración de los puertos

En la figura 43. se puede apreciar cómo es la conexión full duplex entre las dos placas de Arduino en el entorno de Proteus con esta configuración es posible enviar datos en ambas direcciones al mismo tiempo entre las placas Arduino Uno y Arduino Nano. Y cualquier otro componente que se pueda comunicar mediante puerto serial. El Puerto DE-9 que se aprecia en la imagen funciona como una representación práctica para la simulación de la conexión bluetooth del Arduino Nano mediante puerto serial virtual.



**Figura 43.** Esquema de conexión de la comunicación por Software serial  
Fuente: Pinto R. (2023)

Para la activación de los pines de comunicación se tuvo primeramente que incluir la librería software serial en la programación del Arduino. En el orden de activar los pines de transmisión y recepción se tienen ciertos comandos reservados al haber incluido la librería software serial para crear este puerto serial virtual. Una vez creado este puerto los comandos para manipularlo no difieren del puerto serial nativo de Arduino. En la figura 44 se puede percibir el código con el esta comunicación fue ejecutada.

```

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial PuertoNano(5, 6);

int kV = 0;
int mS = 0;
int bufferkV = 0;
int buffermS = 0;
char LecturaPuertoSerial;
char LecturaPuertoNano;

void setup () {
  PuertoNano(9600);
  Serial.begin(9600);
}

void loop () {
  if (digitalRead(EmergencyStop) == HIGH) {
    digitalWrite(4,HIGH);
    if (Serial.available()) {
      LecturaPuertoSerial = Serial.read();
      // PuertoNano.write(a);
    }
    if (PuertoNano.available()){
      LecturaPuertoNano = PuertoNano.read();
      // Serial.write(b);
    }
  }
}

```

**Figura 44.** Estructura de Comunicación en el entorno IDE Arduino  
Fuente: Pinto R. (2023)

#### **4.6 Fase VI: “Análisis de la factibilidad económica y técnico-operativa de la implementación del inversor en alta frecuencia respecto al precio estimado de venta”**

Se llevarán a cabo distintos estudios para evaluar la factibilidad económica y técnico-operativa de la implementación de un equipo inversor de alta frecuencia en un equipo de rayos X en la empresa BIOSERSALUD C.A. Este análisis será crucial para determinar si la inversión en este tipo de tecnología es viable y rentable a largo plazo. Durante el estudio, se tendrán en cuenta diversos factores, como los costos de adquisición y mantenimiento del equipo, los posibles beneficios en términos de mejora de la calidad del producto y reducción de riesgos, así como la capacidad de adaptación y compatibilidad del equipo con los procesos existentes. Además, el nivel de formación requerido para operar el equipo con seguridad y eficacia. Es importante realizar este análisis para asegurar que cualquier inversión realizada sea sostenible a largo plazo y pueda generar beneficios significativos para la empresa.

##### **4.6.1 Análisis de factibilidad económica**

El objetivo principal es evaluar si el costo de adquirir y operar el inversor puede ser justificado por los beneficios adicionales que se obtendrán al utilizar el equipo mejorado. Para lograr este objetivo, se considerarán varios factores clave, como el costo del inversor, los costos de mantenimiento y reparación, y los beneficios económicos y no económicos que se derivan de su uso. Con este análisis, se espera proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informada sobre la implementación del inversor de alta frecuencia en el equipo de rayos X

##### **4.6.1.1 Costo de inversión**

El inversor de alta frecuencia es una tecnología avanzada que permite el control preciso y eficiente del suministro de energía eléctrica al equipo, lo que se traduce en un menor consumo de energía y una mayor vida útil del equipo. Sin embargo, la adquisición e instalación del inversor puede tener un costo significativo. Por lo tanto, es importante evaluar cuidadosamente los costos y beneficios a largo plazo antes de tomar una decisión. se analizará detalladamente el costo de inversión del inversor de alta frecuencia, incluyendo el costo inicial de adquisición.

En la tabla 5. Se puede apreciar la suma de la inversión en dólares de cada uno de los componentes que incluye la propuesta de diseño, estos costos no incluyen el valor agregado de importación en caso tal de que no se tenga la disponibilidad de un componente en el territorio nacional. Dicha tabla funciona como una referencia a la hora de analizar la factibilidad de la adquisición de los componentes, no pretende ser una representación precisa de los costos a los que

se podrían adquirir dichos componentes en el caso de que se quiera llevar a cabo la implementación de la propuesta.

LISTA DE COMPONENTES REQUERIDOS					
Nº	DESCRIPCIÓN	MODELO	CANT	PRECIO/U (m)	NETO
1	Modulo encapsulado de IGBT	SIM150D06AV1	2	125	250,00
2	Placa de Arduino	Arduino Uno	1	12	12,00
3	Driver de accionamiento	IR2110	2	2	4,00
4	regulador de voltaje de 15 voltios	7815	1	1,5	1,50
5	regulador de voltaje de 5 voltios	7805	1	0,5	0,50
7	cableado	Cableado AWG #8 THHW	1.25 (m)	1.61	2,00
8	capacitores cerámicas y electrolíticos	Capacitores	8	0,3	2,40
9	resistencias	Resistencias	14	0,2	2,80
10	inductores	Inductores	3	0,2	0,60
11	diodos para los interruptores de potencia	15ETH06-1	4	8	32,00
12	diodos de baja potencia	1N4007	4	0,2	0,80
13	Zócalo	Zócalo 14 pines	4	0.6	2,40
14	Placas	Placas PCB	1	50	50,00
15	Carcasa	15 cm x 15cm	1	25	25,00
<b>TOTAL</b>					<b>390,00</b>

**Tabla 5.** Costos referenciales de componentes del prototipo.

Fuente: Pinto R. (2023)

Entre los componentes que se observa que en la tabla de costos de componentes del prototipo, el Arduino supone un ahorro significativo debido a que el mismo representa la totalidad de la etapa de control del inversor de alta frecuencia. Y posee la capacidad de realizar acciones complejas con mucha fiabilidad. Por otra parte, los transistores elegidos para esta propuesta son componentes que, al trabajar a tan altas corrientes y altas frecuencias, afecta de manera significativa y directa en su precio. Basándose en lo previamente expuesto sobre el costo de adquisición de los componentes del prototipo, este costo es considerablemente bajo en comparación con los costos de comercialización de equipos existentes en el medio, los cuales oscilan en valores de entre 1500 dólares y 2500 dólares dependiendo del modelo y las capacidades del mismo. Se puede apreciar una diferencia entre los costos de modelos en el mercado con los costos propuestos del prototipo, lo cual representa un margen de ganancia, que permite ofrecer un producto competitivo.

#### **4.6.2 Análisis de factibilidad técnico-operativo**

El diseño propuesto al ser realizado con la tecnología de Arduino facilita la posibilidad de aplicar mejoras al diseño, debido a que es un componente reconocido para técnicos del área relacionada. Y en caso tal de que se quiera realizar alguna modificación al código no supondrá una dificultad ya que hay mucha información y mucho personal capacitado para manejar al componente. Además, no supone un problema a la hora de ubicar en el equipo. Esto por su tamaño que es muy reducido el cual es de 68.6mm x 53.4mm. Como el equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A. cuenta con un dispositivo Arduino que se encarga de comunicarse con una tableta mediante tecnología bluetooth para enviar los datos operación del equipo al equipo propiamente, Es una implementación sencilla el acople de ambas placas de Arduino y su intercambio de información.

Puesto que, como se dijo antes el equipo de Arduino posee un Arduino encargado de comunicarse mediante un panel de control con el operador. Y como dicho Arduino se comunicaría con el Arduino del diseño propuesto para obtener los valores de operación pertinentes. El modo de operación no será alterado de ninguna forma debido a que seguirá recibiendo los datos a partir de la tableta que funciona como panel de control a distancia a través de una conexión bluetooth enviando datos al Arduino que posee el equipo y luego al Arduino de la propuesta de diseño.

## CONCLUSIONES

Con lo expuesto en este proyecto se puede evidenciar la existencia de muchos equipos de rayos X con tecnologías desactualizadas como con las que opera el equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A. A pesar de que el equipo de rayos X sea capaz de operar y cumplir la función para la cual fue diseñado, este lo hace en baja frecuencia. Lo cual repercute en el desempeño del equipo, tanto en la cantidad de radiación emitida al paciente, como el desgaste del equipo, su tamaño y peso. Con respecto a los objetivos planteados en esta investigación, se puede llegar a la conclusión de que fueron cumplidos, en el final de esta investigación se generó la propuesta de diseño necesaria para cumplir con los objetivos de la investigación. Pero a pesar de que la propuesta de diseño cumpla con los objetivos planteados se ha determinado que existe un rango de mejora y perfección de la propuesta de diseño. Inclusive esta investigación podría funcionar como precedente para la realización de otras investigaciones más complejas sobre el área. Sobre dichas mejoras se llegó a la conclusión de que una mejora significativa sería la implementación de un microcontrolador que funciona a altísima frecuencia, para así generar señales de control mucho más rápidas. Esta implementación requeriría un estudio sobre la selección de componentes capaces de trabajar en dicha frecuencia. Finalmente, en lo referente a los costos de adquisición de los componentes que forman parte de la propuesta de diseño del inversor, se aprecia una gran divergencia entre la propuesta de diseño y los equipos inversores que se encuentran en el mercado desde el 15 por ciento hasta el 25 por ciento de los valores de equipos con características similares.

## RECOMENDACIONES

- Implementación del diseño de inversor propuesto en el presente trabajo de investigación, debido a que es una implementación con un gran aporte a la electromedicina.
- Analizar el desempeño del tubo de rayos X en el transcurso de su uso, debido a su vida útil limitada. Con motivo de tener un registro de los efectos que producen la implementación en el equipo.
- Implementar un sistema de inicialización que confirme el correcto funcionamiento de los componentes antes de energizar la etapa de potencia. Por razón de integrar una barrera más en la seguridad de operación del equipo.
- Asegurar un vasto inventario de los circuitos integrados necesarios para funcionamiento del equipo inversor, en caso de ser necesario reemplazarlo.
- Examinar la posibilidad de implementación de la tecnología CoolMos en el equipo inversor, con motivo de en un seguir expandiendo las capacidades de operación del equipo en términos de frecuencia.
- Realizar un mantenimiento preventivo periódico al equipo en general para garantizar el correcto funcionamiento del equipo y de esta manera prevenir fallas electrónicas.
- Desarrollo de un disipador particular para el diseño planteado dependiendo de las características de montaje del equipo específico.

## REFERENCIAS

- Arias G, Fidas (1997). **El proyecto de investigación introducción a la metodología científica**. 7ª edición. Caracas. Universidad central de Venezuela. (2016). Caracas, Venezuela.
- Atmel Corporation (2015) **ATmega328P DATASHEET** Technology Drive, San Jose, California
- Beňová, Mariana. Dobrucký, Branislav (2011) **Analysis and simulation of LCTLC Resonant Inverter with Multifunction Output**. Dept. of Electromagnetic and biomedical engineering, University of Žilina. Žilina, Slovakia.
- Brogeras, Beatriz (2011). **Diseño y Validación del Control Digital de un Inversor de Potencia en Ejes de Referencia Síncronos Conectado a Red**. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España.
- Blanco, Rainier. Peraza, Cesar. Gonzalez-longatt, Francisco. Villanueva, Carlos. Díaz, José. (2005) **Control de Inversores en Sistemas de Generación Distribuida**. Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela.
- Carrillo, Jesús (2019) **Propuesta para el diseño de un electrobisturí para cirugías superficiales**. Universidad José Antonio Páez. Carabobo, Venezuela.
- Cano, Juan. Gallego, Juan. y Muñoz, Nicolas (2015) **Deducción de Pérdidas de Potencia por Conducción en Inversores Modulación Senoidal de Ancho de Pulso, SPWM**. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Del Rio, Pedro (2018). **Control de inversor en puente completo mediante modulación SPWM**. Universidad técnica federico santa maría. Valparaíso, Chile.
- Deng, Songquan. Mao, Hong. Mazumdar Joy. Batarseh, Issa. Khairul Islam, Kazi. (2003) **A New Control Scheme for High-frequency Link Inverter Design**. University of Central Florida. Orlando, Florida.
- Dewan S.B. Straughen A. (1975) **Power semiconductor circuits**. 1ª Edición. New York University of Toronto. (1975) Toronto, Canadá
- Federación española de empresas de tecnología sanitaria (2019) **Perfil tecnológico hospitalario y propuestas para la renovación de tecnologías sanitarias**. Madrid, Villanueva.
- General Electric Medical Systems (1999) **Silhouette VR Diagnostics**. 1ª Revisión. Chicago, United States of America.

- General Electric Medical Systems (2005) **Operating Manual AMX – II X – Ray Unit**. Chicago, Estados Unidos de America.
- Gutiérrez Torres, Jairo Luis. Ramírez C, Miguel E. Torres Castillo, Rodolfo. (2017) **Inversor spwm de alta eficiencia y baja distorsión armónica** Universidad Nacional abierta y a Distancia. Bogotá, Venezuela.
- Hart W, Daniel (1997) **Electrónica de potencia**. 1ª Edición. Madrid, España. Valparaíso University. (2001). Indiana, Estados unidos de América.
- Hurtado de Barrera, Jaqueline (2010) **Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia**. 4ª Edición. Centro Internacional de Estudios Avanzados Sypal. (2010) Caracas, Venezuela.
- Malpica, Wilmer. Pérez, Julián. Pérez, Tamara. (2012) **Rectificador/inversor trifásico usando modulación espacial vectorial**. Universidad central de Venezuela. caracas, Venezuela
- Martins, Feliberto. Palella, Santa. (2003) **Metodología de la investigación cuantitativa**. 2ª Edición. Fondo editorial de la universidad pedagógica experimental libertador. (2006). Caracas, Venezuela.
- Medina, Luis (2016) **Inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia para motores de inducción monofásicos**. Posgrado Interinstitucional en ciencia y tecnología. Querétaro, México.
- Mishra, Priya. y Arpit, Verma. (2020) **Analysis of Voltage Source Inverter and its Applications**. Department of Electrical and Electronics, Pranveer Singh Institute of Technology, Kanpur, India.
- Pérez, Alexis (2002) **Guía metodológica para anteproyectos de investigación**. 3ª Edición. Fondo editorial de la universidad pedagógica experimental libertador. (2009) Caracas, Venezuela.
- Rubio, Maria (2004) **El análisis documental: indización y resumen en bases de datos especializadas**. Instituto de información y documentación en ciencia y tecnología.
- Sabino, Carlos (1974) **El proceso de investigación**. (1992) Caracas, Venezuela.
- Silveira Cavalcante, Fabiana (2006) **High output voltage series-parallel resonant DC-DC converter for medical X-Ray imaging Applications** Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich. Zürich, Suiza.

- Silveira Cavalcante, Fabiana. Kola W, Johann. (2005) **Small-Signal Model of a 5kW High-Output Voltage Capacitive-Loaded Series-Parallel Resonant DC-DC Converter.** Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich. Zürich. Zürich, Suiza.
- Sun, Junming. Takano, Hiroshi. Ogura, Izumi, Nakaoka, Mutsuo. (1999) **Latest High-Voltage Transformer-Linked PWM DC-DC Converter for X Ray Power Generator and Its Unique Digital Control Scheme.** Hitachi Medical Corporation, Tokyo Metropolitan University of Health Science, Yamaguchi University. Yamaguchi, Japón.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (1990) **Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales.** 5ª Edición. Fondo editorial de la universidad pedagógica experimental libertador. (2016) Caracas, Venezuela.
- Urdaneta, Luis (2011) **Implementación de un módulo de control de arranque y velocidad para un motor de inducción en un vehículo tipo kart.** Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
- Vázquez G. Ramón (2021) **Diseño e implementación de un inversor monofásico de 500 VA de bajo coste.** Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España
- Young Min Seo, Min Soo Byun (2016) **High-Frequency wave type of X-Ray generator.** DRGEM CORP, Gwangmyeong, Corea del Sur.

## APÉNDICE A



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

### **ESTIMADO PROFESOR (A):**

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en la Empresa BIOSERSALUD C.A., ubicada en Av. Cedeño, Valencia, Carabobo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos van a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: Reseñar el equipo actual de Rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A., de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

### **AUTOR:**

Pinto, Reymon

C.I.: 27.594.907

### **TUTOR:**

Mendoza, Wilfredo

C.I.: 22.744.494



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

### CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

**OBJETIVO GENERAL:** Proponer el diseño de un inversor de alta frecuencia para un equipo de rayos X que cumple con todos requisitos de seguridad y funcionalidad para su implementación en la empresa BIOSERSALUD C.A.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Reseñar el equipo actual de Rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A.	Reseña del Equipo	Dimensiones	Dimensiones del Equipo	1	Entrevista
		Tecnología	Tecnología de Alimentación	2	
			Tecnología de control	3	
			Tecnología de comunicación	4	
			Tubo de rayos X	5	
		Seguridad	Mantenimiento	6	



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

<b>INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Indique su función dentro de la empresa</b></li><li>• <b>Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas</b></li><li>• <b>Responda de manera objetiva</b></li><li>• <b>En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario</b></li></ul>	

<b>N°</b>	<b>Guion de entrevista</b>
<b>1</b>	¿Cuáles son las dimensiones que tiene el inversor del equipo de rayos X?
<b>2</b>	¿Qué tecnología de alimentación tiene el equipo de rayos X?
<b>3</b>	¿Qué tecnología de control tiene el inversor del equipo de rayos X?
<b>4</b>	¿Qué tecnología de comunicación tiene la interfaz inalámbrica del equipo de rayos X?
<b>5</b>	¿Qué características técnicas tiene la alimentación del tubo de rayos X?
<b>6</b>	¿qué protocolo de mantenimiento fueron aplicados al equipo de rayos X?



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		

Fecha: 16/02/2022

  
Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Civil.
--	------------------



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		

Fecha: 16/02/2022

  
 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	DIRECTOR ACADÉMICO DE LA ESCUELA DE ARQUITECTURA - FACULTAD DE INGENIERÍA
--	---



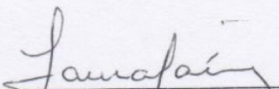
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		

Fecha: 16/02/2022

  
Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Decana de Ingeniería, Doctora en Ingeniería. Ingeniero Químico
--	--

## **APÉNDICE B.** Entrevista con los técnicos de la empresa BIOSERSALUD C.A.

Con la finalidad de realizar un estudio sobre las características necesarias de la etapa inversora del equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A y que deben ser cubiertas por el diseño actualizado, se ha decidido hacer una entrevista estructurada con el Téc. Andrés Silvera, la cual se encuentra plasmada a continuación:

- ¿Cuáles son las dimensiones que tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“Sí tomáramos como referencia el General Electric virtual silhouette, te va a dar un módulo de 70 cm. El generador del equipo de rayos X si muy los fabricantes los hacen muy pequeños ellos escatiman en potencia que puedan manejar esos inversores que en tamaño. ...Hay módulos que yo calcula de 70cm x 30cm que son módulos donde ya viene toda la etapa hablando propiamente de la colocación de los inversores.
- ¿Qué tecnología de alimentación tiene el equipo de rayos X?  
“Va a depender mucho del equipo en específico por ejemplo el General Electric virtual silhouette trabaja en una red de 440V y de hecho el todo lo ajusta a partir de 440V, Hay alternativas como el Siemens control X que trabajan en 220V trifásico e inclusive podría trabajar en 220V monofásico. Normalmente va a depender es de eso, lo que si tienes que estar consciente y también es un punto de quiebre es el calibre de los cables con los que vas a alimentar, normalmente estamos hablando que dependiendo del equipo tu podrías estar en un cable de calibre 6 o cable de calibre 4. El equipo no va a consumir potencia de manera continua sí está encendido consumirá menos de 1A para alimentar la electrónica, pero cuando va a hacer el disparo ya allí por ejemplo vas a estar entre 40A o 60A.”
- ¿Qué tecnología de control tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“tomando en cuenta el General Electric virtual silhouette, hay varios lazos, uno de ellos el de potencia que lo maneja propiamente un PLD que dentro del mismo tiene su programación de un microprocesador que va supervisando varias etapas, de hecho, él tiene como un pld nada más para la del inversor. Que es lo que yo veo crítico, primero que tu no vas a excitar directamente con el pld o el microcontrolador al igbt, necesitas una etapa de acondicionamiento, una etapa driver, eso lo haces con transistores de menor potencia pero que te aseguran que vas a poder saturar al igbt. ...aparte de eso tienes el aislamiento galvánico que evita que si hay un problema con los igbt que se dañe de aguas hacia abajo y que la parte controladora no sufra.”
- ¿Qué tecnología de comunicación tiene la interfaz inalámbrica del equipo de rayos X?  
“En este caso en lo que se tenía era una aplicación en el sistema operativa Android a través del MIT app inventor esa programación se hizo se compilo y se probó y

posteriormente para comunicarla en el caso específico de BIOSERSALUD al Arduino se utilizaba a través de una interfaz bluetooth también se podría hacer a través de interfaz wifi hay muchas alternativas en su momento se decidió que lo más estable era hacerlo a través de una conexión bluetooth que es una comunicación punto a punto sin mayores problemas en caso práctico se comporta como un puerto serial.”

- ¿Qué características técnicas tiene la alimentación del tubo de rayos X?

“Cuando se habla del tubo de rayos, cuando se quiere alimentar son varias alimentaciones. Entre el tubo de rayos X el equipo de rayos X está de por medio llamémoslo así un transformador, el voltaje que se induce a ánodo cátodo del tubo este voltaje te puede ir desde los 40kv hasta los 120kv a la salida de esa transformación cuando tu elevas a los kv hay un rectificador de alta tensión es la única forma de ponerlo allá ya que si lo pusieses adelante no podrías inducir de manera eficiente con el transformador entonces se tiene que hacer a la salida y eso te funciona tanto en baja como en alta frecuencia ya por ahí tenemos una limitación que va desde los 40 kv hasta los 120 kv.”

- ¿Qué protocolo de mantenimiento fueron aplicados al equipo de rayos X?

“Lo legal o lo recomendable es normalmente su mantenimiento de calibración cada 6 u 8 meses, el problema es que eso depende muy bien de que el propietario del equipo tenga la disposición de hacerlo. no obstante, nosotros tuvimos equipos de rayos X que estuvieron trabajando dos años sin ningún tipo de problema normalmente allí lo que falla es la ampolla, que es el tubo de rayos X. ya que tiene una cantidad de disparos y una cantidad de trabajo, debido al estrés al que está sometido es muy normal que el termine quebrándose.”

Con la finalidad de realizar un estudio sobre las características necesarias de la etapa inversora del equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A y que deben ser cubiertas por el diseño actualizado, se ha decidido hacer una entrevista estructurada con el Ing. Luis Chacón, la cual se encuentra plasmada a continuación:

- ¿Cuáles son las dimensiones que tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“Varía de acuerdo al equipo, como referencia de puede tener dimensiones de 20x20 cm.”
- ¿Qué tecnología de alimentación tiene el equipo de rayos X?  
Varía según el equipo, en biosersalud se ha trabajado equipos con distinta alimentación, por ejemplo, en un caso la alimentación era de 110V, mientras que en otro su alimentación era de 220V bifásico o monofásico.
- ¿Qué tecnología de control tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“Varía según el equipo, por ejemplo, en un equipo AMX3, trabaja a 500 Hz, en donde la etapa final se realiza con SCR, mientras que en un equipo Control X, se emplea un puente H con IGBT.”
- ¿Qué tecnología de comunicación tiene la interfaz inalámbrica del equipo de rayos X?  
“La tecnología de comunicación inalámbrica que se tiene en los controles de los equipos elaborados en biosersalud es el Bluetooth, dado por un Arduino y un módulo Bluetooth de Arduino HC-05, con el que se conecta a un celular a través de una app celular desarrollada en MIT app inventor. De esta manera el Arduino recibe los datos e interacciones del usuario para reflejar los mismos en la operación del equipo.”
- ¿Qué características técnicas tiene la alimentación del tubo de rayos X?  
“El tubo se alimenta entre ánodo y cátodo en el orden de los Kv de DC, de forma variable según la penetrabilidad del rayo desde 40 Kv a 120 Kv, para ello la red llega primero a un auto transformador para regular el voltaje, luego llega al primario de un transformador elevador dentro de un tanque, que dependiendo de la alimentación con el que trabaje, eleva por ejemplo de 110V a 120kV, luego pasa por un puente rectificador, luego se toma positivo hacia el ánodo y negativo hacia el cátodo, a través de unos cables de alta tensión, que se conectan a través de unos cachos en el tubo. Estos cachos tienen 3 pines, en el caso de cátodo se conecta a uno de los pines denominado común y en el ánodo a los 3 pines que están unidos. Por otro lado, se tiene la alimentación del filamento del tubo, para ello la red pasa por una etapa reductora, por ejemplo sería por el orden de los 12V, de igual manera de forma variable, aquí se tienen dos transformadores unidos en común, uno para filamento largo y otro para el corto, en donde el secundario va hacia el cacho

negativo (cátodo), el común se conectar en el pin común, mientras que el de filamento corto a pin XS filamento largo XL, según esta alimentación se tiene los mA, referidos a la "cantidad de rayos x."

- ¿Qué protocolo de mantenimiento fueron aplicados al equipo de rayos X?  
“Cómo plan de mantenimiento se puede tener como referencia 1-2 intervenciones al año. Se debe verificar el estado de todos los elementos electromecánicos, lijar el contacto, quitando el carbón que se forma por el consumo que tienen los contactos, revisar los relés, limpiar la superficie de contacto del autotransformador. De igual manera inspeccionar y limpiar las fuentes de alimentación, además de inspección visual en general. La regularidad recomendable, no se cumple todo el tiempo, a su vez teniendo en cuenta la disponibilidad del cliente.”

Con la finalidad de realizar un estudio sobre las características necesarias de la etapa inversora del equipo de rayos X de la empresa BIOSERSALUD C.A y que deben ser cubiertas por el diseño actualizado, se ha decidido hacer una entrevista estructurada con el Ing. Alido chang, la cual se encuentra plasmada a continuación:

- ¿Cuáles son las dimensiones que tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“Eso dependerá del modelo del equipo con el que se esté trabajando, pero normalmente son módulos de treinta por treinta centímetros, pero esos datos son normalmente una referencia para el trabajo”
- ¿Qué tecnología de alimentación tiene el equipo de rayos X?  
“Todo eso varía dependiendo del equipo aquí en biosersalud hemos trabajado con equipos van desde 110 voltios hasta 220 voltios. Bifásicos y monofásicos que a efectos prácticos son parecidos, pero se diferencian de un sistema trifásico”
- ¿Qué tecnología de control tiene el inversor del equipo de rayos X?  
“Este tipo de cosas siempre varían dependiendo del equipo del que se esté hablando por ejemplo para que sea tomado como referencia el equipo Virtual Silhoutte es un modelo el cual cuenta con un medio puente con condensadores ellos explican que en ese modelo se escogió eso debido al nivel de potencia con el que se trabajan si quieres trabajar con más potencia ya utilizan un puente completo. Los de medio puente suelen verse más en equipos portátiles.”
- ¿Qué tecnología de comunicación tiene la interfaz inalámbrica del equipo de rayos X?  
“Bueno aquí en biosersalud normalmente lo que se tiene en cuanto a la comunicación a distancia son modulos bluetooth implementados con Arduino y otra tarjeta añadida. Los datos se pueden enviar en un dispositivo que cuenta con una app desarrollada por el MIT.”
- ¿Qué características técnicas tiene la alimentación del tubo de rayos X?  
“Los valores de alimentación del tubo de rayos X dependen del tipo de estudio que se quiera realizar no es la misma alimentación que se aplica para hacer una radiografía de una mano a la de un tórax, pero desde un punto de vista general suelen ir desde los 40kV hasta los 120kV. Otro factor que hay que tener en cuenta es el tiempo eso afecta al resultado de la radiografía si el tiempo es muy alto puede generar imágenes sobresaturadas y si es muy bajo imágenes opacas”
- ¿Qué protocolo de mantenimiento fueron aplicados al equipo de rayos X?  
“Aquí en biosersalud se debe de cumplir con un monitoreo del estado de los equipos en el que la brecha de tiempo entre ellas no supere los 9 meses esto muchas veces depende de los intereses del cliente. Pero en el caso de proceder se aseguran los contactos eléctricos seguros, monitorear las fuentes de alimentación y revisión de las ampollas del rayos X que son un componente que al estar sometido a tanto estrés son propensas a dañarse”

ANEXO A. Tabla 310-16 del código eléctrico nacional

**Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.**

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver <a href="#">Tabla 310-13</a> )						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO 0 ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60		0,58	0,71		0,58	0,71	56-60
61-70		0,33	0,58		0,33	0,58	61-70
71-80			0,41			0,41	71-80

**IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF**

**HIGH AND LOW SIDE DRIVER**

**Features**

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground ±5V offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

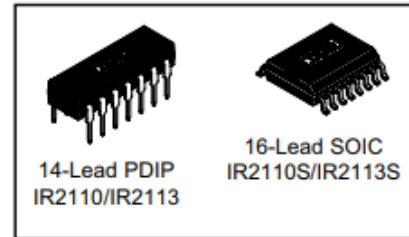
**Product Summary**

$V_{\text{OFFSET}}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

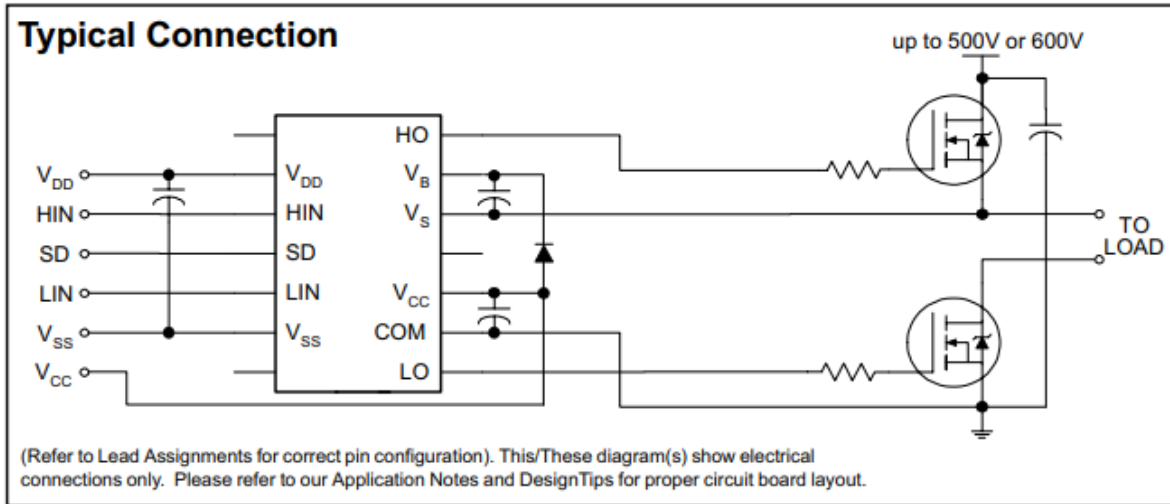
**Description**

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

**Packages**



**Typical Connection**



## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25		
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3		
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4 to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>BS</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

## Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	— —	— —	— —		10 20

## Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IH}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
$V_{OH}$	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low level output voltage, $V_O$	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	16	—	—	50	$\mu A$	$V_B = V_S = 500V/600V$
$I_{QBS}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QDD}$	Quiescent $V_{DD}$ supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0	$V_{IN} = 0V$	
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
$I_{O+}$	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$ , $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$ , $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$



15ETH06  
15ETH06S  
15ETH06-1

Hyperfast Rectifier

Features

- Hyperfast Recovery Time
- Low Forward Voltage Drop
- Low Leakage Current
- 175°C Operating Junction Temperature
- Single Die Center Tap Module

$t_{rr} = 22\text{ns typ.}$   
 $I_{F(AV)} = 15\text{Amp}$   
 $V_R = 600\text{V}$

Description/ Applications

State of the art Hyperfast recovery rectifiers designed with optimized performance of forward voltage drop, Hyperfast recover time, and soft recovery.

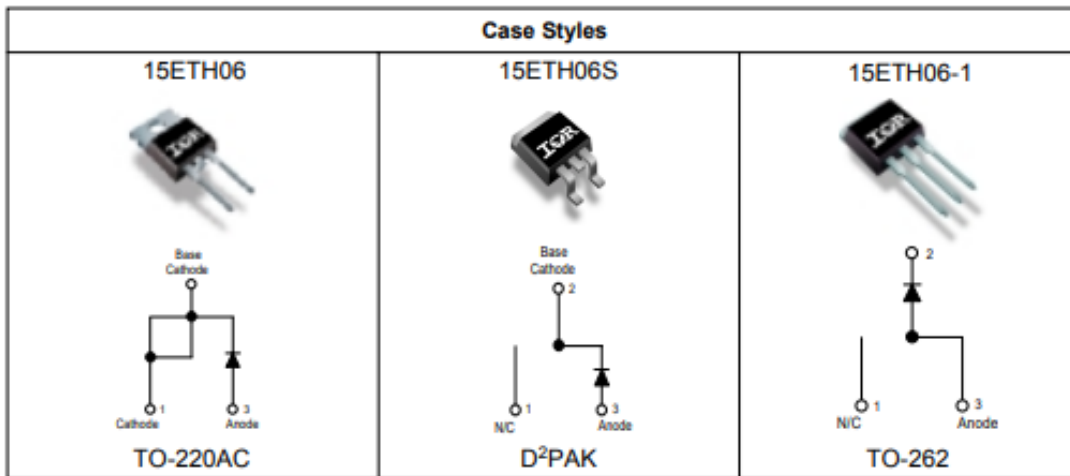
The planar structure and the platinum doped life time control guarantee the best overall performance, ruggedness and reliability characteristics.

These devices are intended for use in PFC Boost stage in the AC-DC section of SMPS, inverters or as freewheeling diodes.

The IR extremely optimized stored charge and low recovery current minimize the switching losses and reduce over dissipation in the switching element and snubbers.

Absolute Maximum Ratings

Parameters	Max	Units
$V_{RRM}$ Peak Repetitive Peak Reverse Voltage	600	V
$I_{F(AV)}$ Average Rectified Forward Current @ $T_C = 140^\circ\text{C}$	15	A
$I_{FSM}$ Non Repetitive Peak Surge Current @ $T_J = 25^\circ\text{C}$	120	
$I_{FM}$ Peak Repetitive Forward Current	30	
$T_J, T_{STG}$ Operating Junction and Storage Temperatures	- 65 to 175	$^\circ\text{C}$



**Electrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)**

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
$V_{BR}, V_r$ Breakdown Voltage, Blocking Voltage	600	-	-	V	$I_R = 100\mu\text{A}$
$V_F$ Forward Voltage	-	1.8	2.2	V	$I_F = 15\text{A}, T_J = 25^\circ\text{C}$
	-	1.3	1.6	V	$I_F = 15\text{A}, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_R$ Reverse Leakage Current	-	0.2	50	$\mu\text{A}$	$V_R = V_R \text{ Rated}$
	-	30	500	$\mu\text{A}$	$T_J = 150^\circ\text{C}, V_R = V_R \text{ Rated}$
$C_T$ Junction Capacitance	-	20	-	pF	$V_R = 600\text{V}$
$L_S$ Series Inductance	-	8.0	-	nH	Measured lead to lead 5mm from package body

**Dynamic Recovery Characteristics @  $T_C = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)**

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions	
$t_{rr}$ Reverse Recovery Time	-	22	30	ns	$I_F = 1\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}, V_R = 30\text{V}$	
	-	28	35		$I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}, V_R = 30\text{V}$	
	-	29	-		$T_J = 25^\circ\text{C}$	
	-	75	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$	
$I_{RRM}$ Peak Recovery Current	-	3.5	-	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$	
	-	7	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$	
$Q_{rr}$ Reverse Recovery Charge	-	57	-	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$	
	-	300	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$	
$t_{rr}$ Reverse Recovery Time	-	51	-	ns	$T_J = 125^\circ\text{C}$	
$I_{RRM}$ Peak Recovery Current	-	20	-			A
$Q_{rr}$ Reverse Recovery Charge	-	580	-			nC

$I_F = 15\text{A}$   
 $di_F/dt = 200\text{A}/\mu\text{s}$   
 $V_R = 390\text{V}$

$I_F = 15\text{A}$   
 $di_F/dt = 800\text{A}/\mu\text{s}$   
 $V_R = 390\text{V}$

**Thermal - Mechanical Characteristics**

Parameters	Min	Typ	Max	Units
$T_J$ Max. Junction Temperature Range	-	-	175	$^\circ\text{C}$
$T_{Stg}$ Max. Storage Temperature Range	-65	-	175	
$R_{thJC}$ Thermal Resistance, Junction to Case Per Leg	-	1.0	1.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{thJA}$ ① Thermal Resistance, Junction to Ambient Per Leg	-	-	70	
$R_{thCS}$ ② Thermal Resistance, Case to Heatsink	-	0.5	-	
Weight	-	2.0	-	g
	-	0.07	-	(oz)
Mounting Torque	6.0	-	12	Kg-cm
	5.0	-	10	lbf.in

① Typical Socket Mount

② Mounting Surface, Flat, Smooth and Greased

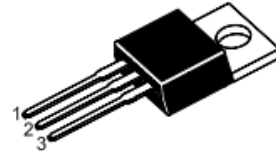
## ANEXO D. Datasheet del 7815

**7815**

### 3-terminal 1 A positive voltage regulator

**Features**

- Output Current up to 1 A
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection



1.Input 2.Common 3.Output  
TO-220 Plastic Package

**Absolute Maximum Ratings (T<sub>a</sub> = 25 °C)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V <sub>I</sub>	35	V
Thermal Resistance Junction-Cases	R <sub>θJC</sub>	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air	R <sub>θJA</sub>	65	°C/W
Operating Temperature Range	T <sub>OPR</sub>	0 to + 125	°C
Storage Temperature Range	T <sub>S</sub>	- 65 to + 150	°C

**Electrical Characteristics**

(0 °C < T<sub>J</sub> < 125 °C, I<sub>O</sub> = 500 mA, V<sub>I</sub> = 23 V, C<sub>I</sub> = 0.33 μF, C<sub>O</sub> = 0.1 μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	V <sub>O</sub>	T <sub>J</sub> = 25 °C	14.4	15	15.6	V	
		5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1 A, P <sub>O</sub> ≤ 15 W V <sub>I</sub> = 17.5 V to 30 V	14.25	15	15.75		
Line Regulation <sup>1)</sup>	Regline	T <sub>J</sub> = 25 °C	V <sub>I</sub> = 17.5 V to 30 V	-	-	300	mV
			V <sub>I</sub> = 20 V to 26 V	-	-	150	
Load Regulation <sup>1)</sup>	Regload	T <sub>J</sub> = 25 °C	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1.5 A	-	-	300	mV
			I <sub>O</sub> = 250 mA to 750 mA	-	-	150	
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	T <sub>J</sub> = 25 °C	-	-	8	mA	
Quiescent Current Change	ΔI <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> = 5 mA to 1 A	-	-	0.5	mA	
		V <sub>I</sub> = 17.5 V to 30 V	-	-	1		
Output Voltage Drift	ΔV <sub>O</sub> /ΔT	I <sub>O</sub> = 5 mA	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	f = 10 Hz to 100 KHz, T <sub>a</sub> = 25 °C	-	90	-	μV	
Ripple Rejection	RR	f = 120 Hz, V <sub>I</sub> = 18.5 V to 28.5 V	54	-	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	I <sub>O</sub> = 1 A, T <sub>J</sub> = 25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	R <sub>O</sub>	f = 1 KHz	-	19	-	mΩ	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	V <sub>I</sub> = 35 V, T <sub>a</sub> = 25 °C	-	250	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	T <sub>J</sub> = 25 °C	-	2.2	-	A	

<sup>1)</sup> Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.



**SEMTECH ELECTRONICS LTD.**



Dated : 17/09/2016 Rev: 01

Typical Performance Characteristics

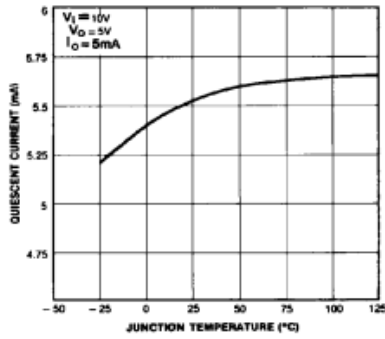


Figure 1. Quiescent Current

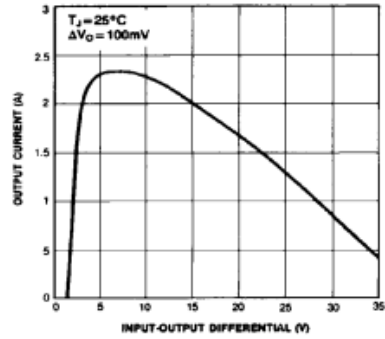


Figure 2. Peak Output Current

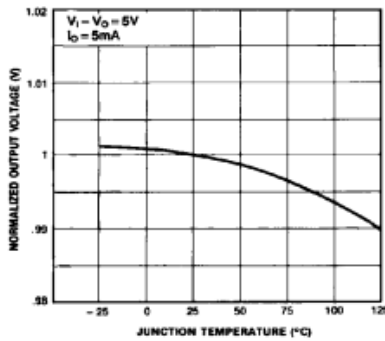


Figure 3. Output Voltage

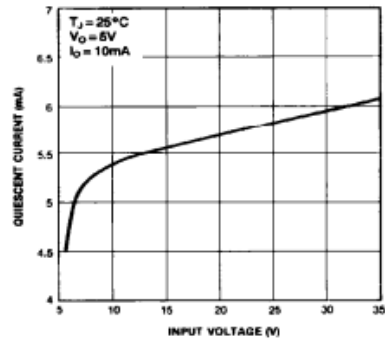


Figure 4. Quiescent Current



SEMTECH ELECTRONICS LTD.



Dated : 17/09/2016 Rev: 01

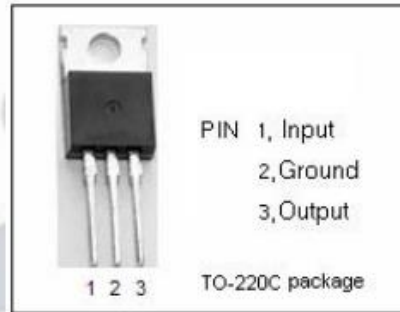


**isc Three Terminal Positive Voltage Regulator**

**7805**

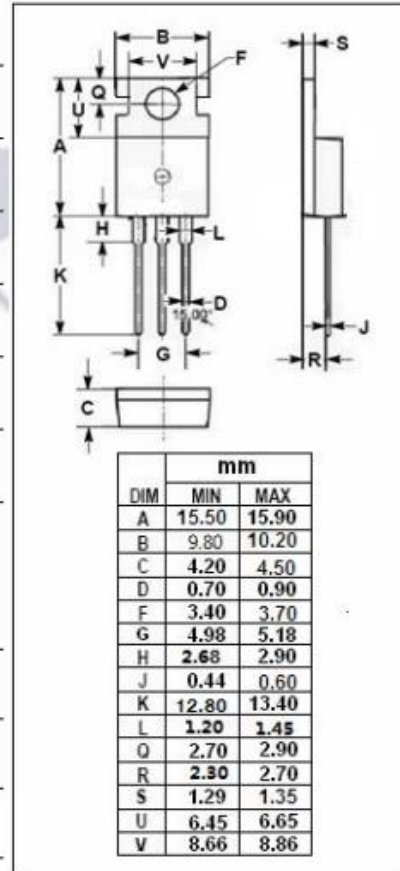
**FEATURES**

- Output current in excess of 1.5A
- Output voltage of 5V
- Internal thermal overload protection
- Output transition Safe-Area compensation
- 100% avalanche tested
- Minimum Lot-to-Lot variations for robust device performance and reliable operation



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(T<sub>a</sub>=25°C)**

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V <sub>i</sub>	DC input voltage	35	V
I <sub>o</sub>	Output current	internally limited	
P <sub>tot</sub>	Power dissipation	internally limited	
T <sub>OP</sub>	Operating junction temperature	0~150	°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature	-55~150	°C



**THERMAL CHARACTERISTICS**

SYMBOL	PARAMETER	MAX	UNIT
R <sub>th j-c</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	3	°C/W
R <sub>th j-a</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	°C/W

**isc Three Terminal Positive Voltage Regulator****7805****• ELECTRICAL CHARACTERISTICS** $T_J=25^{\circ}\text{C}$  ( $V_i=10\text{V}$ ,  $I_o=0.5\text{A}$ ,  $C_i=0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_o=0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
$V_o$	Output Voltage	$V_{in}=20\text{V}$ ; $I_o=500\text{mA}$	4.8	5.2	V
$\Delta V_v$	Line Regulation	$7.5\text{V} \leq V_{in} \leq 20\text{V}$ ; $I_o=0.5\text{A}$		50	mV
$\Delta V_l$	Load Regulation	$5.0\text{mA} \leq I_o \leq 1.5\text{A}$ ; $V_{in}=10\text{V}$		100	mV
$I_q$	Quiescent Current	$V_{in}=10\text{V}$ ; $I_o=1.5\text{A}$		6.0	mA
$\Delta q_1$	Quiescent Current Change	$5.0\text{mA} \leq I_o \leq 1.0\text{A}$ ; $V_{in}=10\text{V}$		0.5	mA
$\Delta q_2$	Quiescent Current Change	$7\text{V} \leq V_{in} \leq 25\text{V}$ ; $I_o=500\text{mA}$		1.3	mA

“HALF-BRIDGE” IGBT MODULE

**Feature**

- Smart field stopper +Trench design technology
- Low VCE (sat)
- Low Turn-off losses
- Short tail current for over 20KHz

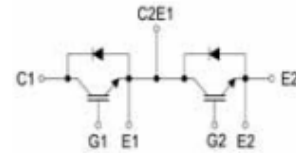
**Applications**

- Motor controls
- VVVF inverters
- Inverter-type welding MC over 18KHZ
- SMPS, Electrolysis
- UPS/EPS, Robotics



Package : V1

**V<sub>CES</sub> = 600V**  
**I<sub>c</sub> = 150A**  
**V<sub>CE(ON)</sub> typ. = 1.5V**  
**@I<sub>c</sub> = 150A**



**Absolute Maximum Ratings @ T<sub>j</sub> = 25 °C (Per Leg)**

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V <sub>CES</sub>	Collector-to-Emitter Voltage	T <sub>c</sub> = 25 °C	600	V
V <sub>GES</sub>	Gate emitter voltage		± 20	V
I <sub>c</sub>	Continuous Collector Current	T <sub>c</sub> = 80 °C (25 °C)	150 (210)	A
I <sub>CP</sub>	Pulsed collector current	T <sub>c</sub> = 25 °C	300	A
I <sub>F</sub>	Diode Continuous Forward Current	T <sub>c</sub> = 80 °C (25 °C)	150 (210)	A
I <sub>FM</sub>	Diode Maximum Forward Current	T <sub>c</sub> = 25 °C	300	A
t <sub>p</sub>	Short circuit test, V <sub>GE</sub> = 15V, V <sub>CC</sub> = 360V	T <sub>c</sub> = 150 °C (25 °C)	6 (8)	µs
V <sub>iso</sub>	Isolation Voltage test	AC @ 1 minute	2500	V
T <sub>j</sub>	Junction Temperature		-40 ~ 150	°C
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature		-40 ~ 125	°C
Weight	Weight of Module		190	g
M <sub>d</sub>	Mounting torque with screw : M5		2.0	N.m
T <sub>d</sub>	Terminal connection torque : M5		2.0	N.m

**Static Characteristics @ T<sub>j</sub> = 25 °C (unless otherwise specified)**

Parameters		Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
V <sub>CE(ON)</sub>	Collector-to-Emitter Saturation Voltage		1.50	1.95	V	I <sub>c</sub> = 150A, V <sub>GE</sub> = 15V
V <sub>GE(th)</sub>	Gate Threshold Voltage		5.8	6.5		V <sub>CE</sub> = V <sub>GE</sub> , I <sub>c</sub> = 4mA
I <sub>CES</sub>	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	5.0	mA	V <sub>GE</sub> = 0V, V <sub>CE</sub> = 600V
I <sub>GES</sub>	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	400	nA	V <sub>CE</sub> = 0V, V <sub>GE</sub> = 20V
V <sub>F</sub>	Forward voltage drop		1.6	1.9	V	I <sub>F</sub> = 150A
R <sub>GINT</sub>	Integrated gate resistor	—	2	—	Ω	

**Electrical Characteristic Values (IGBT / DIODE) @ T<sub>J</sub> = 25 °C (unless otherwise specified)**

Parameters		Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
C <sub>iss</sub>	Input capacitance	—	9200	—	pF	V <sub>CE</sub> = 25V, V <sub>GE</sub> = 0V f = 1 MHz
C <sub>oss</sub>	Output capacitance	—	580	—		
C <sub>rss</sub>	Reverse transfer capacitance	—	270	—		
t <sub>d(on)</sub>	Turn-on delay time	—	125	—	ns	Inductive Switching (125°C) V <sub>CC</sub> = 300V I <sub>C</sub> = 150A, V <sub>GE</sub> = ±15V R <sub>G</sub> = 3.3Ω
t <sub>r</sub>	Rise time	—	30	—		
t <sub>d(off)</sub>	Turn-off delay time	—	340	—		
t <sub>f</sub>	Fall time	—	60	—		
V <sub>BR</sub>	Cathode-Anode breakdown Voltage	600	650	—	V	
I <sub>RM</sub>	Maximum Reverse Leakage Current	—	—	250	μA	V <sub>R</sub> = 600V
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	130	—	ns	I <sub>F</sub> = 150A, V <sub>R</sub> = 300V
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	6.9	—	μC	di / dt = 2100A / μs

**Thermal Characteristics**

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
R <sub>θJC</sub>	Junction-to-Case (IGBT Part, Per 1/2 Module)	-	-	0.44	°C/W
R <sub>θJC</sub>	Junction-to-Case (Diode Part, Per 1/2 Module)	-	-	0.77	
R <sub>θCS</sub>	Case-to-Heat Sink (Conductive grease applied)	-	0.05	-	

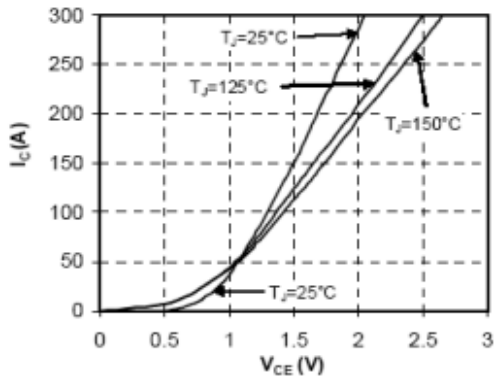


Fig 1. Typ. IGBT Output Characteristics

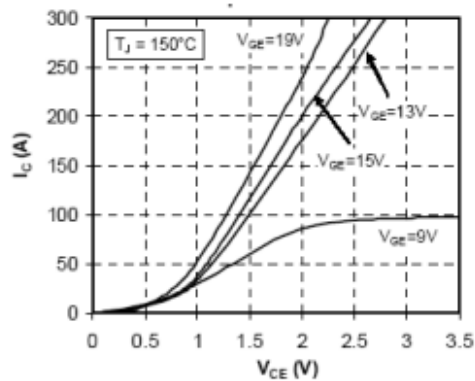


Fig 2. Typ. IGBT Out Characteristics