

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE  
SOFTWARE CON INTERFAZ GRÁFICA  
PARA LA MEDICIÓN DE LOS  
PARÁMETROS DE ANTENAS EN EL  
LABORATORIO DE ANTENAS DE LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

Andrés Fabián Garzón Sánchez

Ivan Mauricio Ochoa Salamanca

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
COMITÉ DE GRADO  
BOGOTÁ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE  
SOFTWARE CON INTERFAZ GRÁFICA  
PARA LA MEDICIÓN DE LOS  
PARÁMETROS DE ANTENAS EN EL  
LABORATORIO DE ANTENAS DE LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

Andrés Fabián Garzón Sánchez

Ivan Mauricio Ochoa Salamanca

Estudiantes

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

---

Tutora de Tesis:  
Angélica María Salazar Madrigal

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
COMITÉ DE GRADO  
BOGOTÁ

# Índice

<b>1. TITULO</b>	<b>7</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>3. PROBLEMA</b>	<b>10</b>
<b>4. ANTECEDENTES</b>	<b>12</b>
<b>5. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>6. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>14</b>
<b>7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>15</b>
<b>8. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>16</b>
<b>9. MARCO TEÓRICO</b>	<b>18</b>
9.1. HISTORIA DE LAS ANTENAS . . . . .	18
<b>10. DEFINICIÓN ANTENA</b>	<b>20</b>
<b>11. CLASIFICACIÓN DE ANTENAS</b>	<b>22</b>
11.1. Clasificación según la geometría . . . . .	22
11.2. Clasificación según su comportamiento . . . . .	24
11.3. Impedancia de entrada . . . . .	25
11.4. Eficiencia de radiación . . . . .	27
11.5. Intensidad de radiación . . . . .	28
11.6. Diagrama de radiación . . . . .	30
11.7. Directividad . . . . .	34
11.8. Ganancia . . . . .	37
<b>12. ADQUISICIÓN DE DATOS</b>	<b>38</b>
<b>13. FACTIBILIDAD</b>	<b>39</b>
<b>14. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>40</b>
<b>15. EJECUCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>41</b>
15.1. KIT DE ANTENAS . . . . .	42
15.1.1. Generador RF . . . . .	42
15.1.2. Posicionador de antena . . . . .	43
15.1.3. Interfaz para la adquisición de datos . . . . .	44
15.1.4. Software LVDAM-ANT . . . . .	45
15.1.5. Conexión entre computador y la interfaz para la adquisición de datos . . . . .	45

15.1.6. Puerto paralelo . . . . .	46
15.2. Exportar archivo .txt del programa LVDAM-ANT . . . . .	49
15.3. DESARROLLO ANALÍTICO DEL SOFTWARE . . . . .	51
15.3.1. Diagrama de flujo del programa . . . . .	51
15.4. DESARROLLO DEL SOFTWARE . . . . .	52
15.4.1. Simular . . . . .	60
15.4.2. Adquirir . . . . .	67
15.4.3. Comparar . . . . .	70
15.4.4. Información . . . . .	71
<b>16. CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>17. ANEXOS</b>	<b>78</b>
17.1. ANEXOS 1 "MANUAL DEL SOFTWARE	78
17.2. ANEXOS 2 CD CON EL INSTALADOR DEL SOFTWARE	78

## Índice de figuras

1.	Diagrama del sistema a implementar . . . . .	16
2.	Operador de telégrafo. . . . .	18
3.	12 de diciembre de 1901, día en el cual Guillermo Marconi logro que una señal cruzara desde Gran Bretaña a Terranova, Canadá. . . . .	19
4.	Las investigaciones de Maxwell, Hertz y Marconi fueron de gran importancia para la evolución de las comunicaciones y el estudio y aplicación de las antenas. . . . .	20
5.	Bandas de frecuencias. . . . .	21
6.	Antenas de hilo. . . . .	22
7.	Antenas de apertura (bocinas). Gentileza de la empresa de Tecnología Fractus, Barcelona (izquierda) . . . . .	22
8.	Antenas microstrip: consisten en un parche metálico sobre un substrato y un plano de masa por debajo. Las antenas microstrip son de perfil bajo, adaptables a cualquier superficie, simples y baratas de fabricar, mecánicamente robustas cuando se instalan sobre superficies rígidas . . . . .	23
9.	Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas . . . . .	23
10.	Antenas de lente: a partir de una fuente poco directiva (radia en muchas direcciones del espacio) permiten conformar el haz para aumentar la directividad (focalizar la radiación en determinadas direcciones). . . . .	24
11.	Agrupación de antenas para estación base de telefonía móvil: agrupaciones de doble banda y doble polarización. Gentileza de la empresa de Tecnología Fractus, Barcelona. . . . .	24
12.	Antena en modo transmisión y equivalente de Thevenin. . . . .	26
13.	Relación entre ROE (SWR), el coeficiente de reflexión y mismatch loss. . . . .	28
14.	Sistema de coordenadas y diferenciales de superficie. . . . .	30
15.	Diagrama de radiación 3D. Plano E. . . . .	31
16.	Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas y polares. . . . .	32
17.	Parámetros del diagrama de radiación. . . . .	33
18.	Diagrama de radiación omnidireccional (izquierda) y directivo (derecha). . . . .	34
19.	Directividad: la radiación isotrópica ( $D=1$ , mínima directividad posible) se utiliza como referencia. Una antena con una directividad superior a la isotrópica radiará más potencia en la dirección del máximo, en detrimento de otras direcciones, donde radiará menos. . . . .	35
20.	Comparación entre directividad exacta y aproximada en función de la directividad del diagrama. Podemos considerar que la expresión aproximada es válida para $D \gg 10$ dB. . . . .	37
21.	Ganancia y directividad en las terminales de la antena. . . . .	38

22.	Cronograma de actividades . . . . .	40
23.	Diagrama del sistema a implementar. . . . .	41
24.	Generador RF. . . . .	42
25.	Orientador de antena. . . . .	43
26.	Interfaz para la adquisición de datos. . . . .	44
27.	Imagen del programa LVDAM-ANT. . . . .	45
28.	Distribución pines DB25. . . . .	46
29.	Prueba que se realizó en LabVIEW con el cual por medio de led se usó el puerto de datos para encender y apagar leds a voluntad. . . . .	46
30.	Programa en LabVIEW usando para el manejo del puerto paralelo para encender y apagar leds. . . . .	47
31.	Repartición de pines del integrado 74HC244N. . . . .	47
32.	Estado de los bits d0 y d1 de los bits de estados. . . . .	48
33.	Programa realizado en LabVIEW para lectura del puerto. Archivo de texto obtenido con el programa realizado en LabVIEW. . . . .	49
34.	Secuencia para simular o adquirir datos. . . . .	51
35.	Secuencia para comparar datos. . . . .	52
36.	Menú Windows Studio. . . . .	53
37.	Diseño inicial del formulario. . . . .	53
38.	Imagen de fondo formulario presentación. Logo universidad Santo Tomás . . . . .	54
39.	Diseño formulario presentación. . . . .	54
40.	Menú eventos del formulario presentación. . . . .	55
41.	Menú eventos botón entrar. . . . .	56
42.	Imágenes asignadas al botón salir. . . . .	57
43.	Imágenes asignadas al botón entrar. . . . .	57
44.	Formulario salir. [10] . . . . .	58
45.	Diseño formulario salir. . . . .	58
46.	Diseño formulario menú principal. . . . .	59
47.	Diseño formulario Simulación. . . . .	60
48.	Menú desplegable para antenas de 1Ghz. . . . .	60
49.	Menú desplegable para antenas de 10Ghz. . . . .	61
50.	Diseño formulario Simulación con grafica cartesiana. . . . .	62
51.	Diseño Formulario Simulación con grafica polar. . . . .	62
52.	Diseño formulario simulación con tabla de datos. . . . .	63
53.	Ventana de dialogo para guardar archivos. . . . .	65
54.	Elemento Chart. . . . .	66
55.	Diseño formulario Adquirir datos. . . . .	68
56.	Archivo .txt exportado por LVDAM-ANT. . . . .	68
57.	Formulario adquirir con grafica polar. . . . .	69
58.	Diseño formulario comparar. . . . .	70
59.	Formulario Comparar con grafica cartesiana de los valores teóricos y experimentales. . . . .	71
60.	Diseño formulario información. . . . .	71

61. Formulario información visualizando PDF dentro de la interfaz grafica. . . . . 72

*Dedicado a nuestras familias, gracias a ellos damos grandes pasos en nuestras vidas, en nuestro corazón y mente siempre estarán. Ingeniera Angélica María Salazar Madrigal que mas que una docente es una gran persona que no solo impartió conocimiento científico si no también fundamentos de vida.*



# **1. TITULO**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE CON INTERFAZ  
GRÁFICA PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANTENAS  
EN EL LABORATORIO DE ANTENAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO  
TOMÁS

## 2. INTRODUCCIÓN

La ingeniería como concepto es la técnica y arte de desarrollar y aplicar conocimiento científicos para el desarrollo de nuevas alternativas de carácter innovador y que vaya a favor de la sociedad, ayudando a está, y que permita avanzar en tanto científicamente y que mejore la calidad de vida de las personas. En Colombia se debe partir generando conciencia científica, de lo cual abarca que el ingeniero no solo debe tener conocimiento científico si no que esto debe ser complementado con una ética profesional que sea parte total del ser ingeniero. Como futuros profesionales se parte de estos principios para desarrollar este proyecto de grado.

Los medios de comunicación en la actualidad juegan un papel muy importante en beneficio de la sociedad en la cual el hombre maneja estos de manera tal que la información está a disposición de forma rápida y eficiente creando un mundo conectado con la información. Un mal manejo de estos procesos puede generar choques y conflictos.

Las antenas en los sistemas de comunicaciones son de vital importancia, una antena es aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada para radiar o recibir ondas electromagnéticas, definición que tiene el "Institute of Electrical and Electronics Engineers" (IEEE) (IEEE Std. 145-1983)[1]. Sin antenas no se podría hablar en este momento de las TIC's (Tecnologías de la Información y la Comunicación), ya que la mayoría de la información es transmitida y recibida por antenas. De igual manera las antenas son un dispositivo versátil que se adapta a cualquier caso.

El proceso evolutivo de la tecnología avanza rápidamente y ha permitido mejorar y rediseñar muchos dispositivos que actualmente necesitan modificaciones, aumentando su aplicabilidad tanto en la vida cotidiana y en usos mas técnicos.

Este es un hecho de gran importancia y obliga a los ingenieros en telecomunicaciones e ingeniería electrónica a tener los conocimientos primordiales sobre antenas, pues en la actualidad no se puede hablar de comunicaciones sin hablar de estos dispositivos. Son dispositivos que se encuentran desde un celular hasta en la conexión satelital de la TV para ver un partido de fútbol internacional.

El laboratorio de antenas de la Facultad de Ingeniería Electrónica cuenta con 2 kits completos para la realización de prácticas que permiten analizar los parámetros de las antenas, sin embargo la existencia de tan solo dos kits completos hace que las prácticas realizadas por los estudiantes sean poco efectivas y no se puedan observar los resultados en detalle para una mejor comprensión

del funcionamiento de estos dispositivos en diferentes entornos.

Guiados por la misión y visión con las que la universidad Santo Tomás ilustra a sus alumnos, se realiza esta investigación y proyección social con el cual se vela la ética y con el afán de dar soluciones a problemáticas y de manera directa ayudar a las necesidades de la universidad y del país. De acuerdo a esto y la formación humanista con la que se enfoca la universidad Santo Tomás en sus procesos educativos hacia los estudiantes, es que generar que el conocimiento compartido no se vuelvan parte del conflicto si no que haga parte de la solución priorizando los valores éticos y morales y con esto poder dar soluciones a varias problemáticas que se presentan en la actualidad de nuestro país. De esta manera el desarrollo de este proyecto esta relacionado a dar solución a una problemática en el área de las comunicaciones y de aquí ayudar a la comunidad académica de la universidad Santo Tomás como objetivo primordial.

Frente a la situación planteada se propone repotencializar el laboratorio de antenas, generando un sistemas que permita realizar comparaciones con los datos prácticos obtenidos con el kit de antenas LabVolt de la universidad Santo Tomás y que estos resultados sean comparados mediante el software a desarrollar permitiendo realizar un mayor análisis sobre las antenas, de igual manera estará presente definiciones de conceptos específicos sobre antena. Definiciones como:

- HISTORIA DE LAS ANTENAS
- DEFINICIÓN DE ANTENA
- CLASIFICACIÓN DE ANTENAS
- CLASIFICACIÓN SEGÚN SU COMPORTAMIENTO
- IMPEDANCIA DE ENTRADA
- EFICIENCIA DE RADIACIÓN
- INTENSIDAD DE RADIACIÓN
- DIAGRAMA DE RADIACIÓN
- DIRECTIVIDAD
- GANANCIA

### 3. PROBLEMA

Las antenas han jugado un papel importante en los últimos años en el desarrollo tecnológico del mundo, en el área de las telecomunicaciones estos elementos radiantes son parte fundamental en los sistemas de comunicaciones como estructuras de microondas terrestres o microondas satélites, este conocimiento sobre antenas no se puede dejar de lado, ya que ha avanzado de forma rápida, y en el ámbito laboral es necesario el conocimiento sobre este tema principalmente en carreras como ingeniería electrónica.

La universidad Santo Tomás, cuenta con dos equipos de antenas, con su correspondiente software y su sistema de adquisición de datos, para la medición de los parámetros fundamentales de las antenas. A continuación se realiza una descripción de los elementos ya mencionados:

#### **Antenas para 1 GHz**

- Dipolos( $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ )
- Dipolo plegado
- Monopolo (a nivel del suelo)
- De cuadros (circular, cuadrada, losange)
- Fija Yagi

#### **Antenas para 10GHz**

- Guía de ondas abierta en un extremo
- Guía de ondas ranurada (de una ranura o multirranuras)
- De bocina (de abertura pequeña y grande)
- Helicoidal (con polarización circular a la derecha y a la izquierda)
- De placas (rectangular, red alimentada en paralelo y en serie)

#### **Otros**

- Orientador de Antena
- Interfaz de adquisición de datos/ fuente de alimentación
- Generador RF

Por la alta densidad de población que hay en las facultades de ingeniería electrónica e ingeniería de telecomunicaciones, la cantidad de material que posee la universidad no es suficiente para que los estudiantes realicen sus prácticas de antenas, lo cual genera un problema de aprendizaje para los estudiantes y en efecto las clases se tornan menos eficaces, impidiendo que el estudiante tenga una mejor comprensión sobre el tema.

La universidad Santo Tomás no cuenta actualmente con un semillero en el área de la comunicaciones y no genera incentivo de investigación en esta área. Con el desarrollo de este proyecto se desea dejar herramientas con la cuales se pueda impulsar a un posible semillero de comunicaciones mas adelante.

La formación de la universidad Santo Tomás como ingenieros electrónicos es instruir y guiar a los estudiantes a aportar soluciones eficaces y en beneficio de la sociedad generando soluciones positivas para esta. La formación en el transcurso de la carrera de ingeniería electrónica ha dado las bases necesarias para desarrollar el proyecto presentado en este presente documento y de manera propia se asegura que el desarrollo de este no afecta de manera negativa a las personas involucradas en él ni a terceras partes.

## 4. ANTECEDENTES

La universidad Santo Tomás cuenta con un laboratorio de antenas el cual esta disponible para prácticas en las facultades de ingeniería de telecomunicaciones y de ingeniería electrónica, esto hace que la demanda sea muy alta disminuyendo los niveles de cobertura para los estudiantes de ambas facultades. Actualmente estos dos kits no son suficientes para cubrir la la densidad de estudiantes, haciendo que las prácticas de laboratorio no cumpla con su total fin.

De acuerdo a lo expresado en párrafos anteriores la mejora y actualización del laboratorio de antenas permitiría mayores desarrollos de carácter investigativo, en la línea de comunicaciones y porque potencializa el trabajo de los grupos de investigación desde la creación de un semillero para la línea o con el soporte a otros trabajos que requieran el análisis de la respuesta de las antenas dentro de otros proyectos.

La necesidad de profundizar en el tema del estudio de antenas e incentivar a los estudiantes a participar en el desarrollo de este tema fue una de las razones que llevo a presentar este proyecto.

## 5. JUSTIFICACIÓN

La importancia en el conocimiento sobre antenas para los estudiantes de ingeniería electrónica e ingeniería de telecomunicaciones radica en que el mundo actual depende en gran medida de estas y en el ámbito laboral es esencial el conocimiento teórico-práctico de estas. Al momento de elegir una antena hay que tener en cuenta ciertos parámetros y dependiendo de la necesidad se elige una, que cumpla con lo requerido y solucione el problema planteado. La caracterización de las diferentes antenas se saca con los parámetros de estas. La radiación emitida por una antena está relacionada con los parámetros de las antenas, los cuales son:

- Impedancia
- Tamaño
- Polaridad
- Ganancia
- Tipos
- Patrón de radiación

Entre otras características, que hacen parte de un largo proceso de estudio.

Las prácticas de laboratorio son la razón para que los estudiantes indaguen en este tema y puedan comprender las ventajas y desventajas de cada una de las antenas. Los dos kits que tiene la universidad Santo Tomas para medición de antenas cuentan con un paquete de diferentes tipos de antenas, un posicionador de antenas, una tarjeta de adquisición de datos, su respectivo software y un generador de RF.

La propuesta es diseñar e implementar un software para mejorar las prácticas en el laboratorio de antenas y que complemente todos los beneficios que proporciona este kit. Visual Studio ofrece un fácil uso para la programación y para el diseño de una interfaz gráfica, esta interfaz gráfica puede ayudar a la universidad Santo Tomas a brindar un mejor servicio en el aprendizaje de los estudiantes, lo cual es uno de los principales objetivos de este proyecto. Con esta solución se busca mejorar las prácticas de las diferentes materias que aplican conocimientos en comunicaciones, brindar una mayor calidad de educación y mejores practicas de laboratorio, por este motivo se enfoca en generar una repotenciación del laboratorio que permita procesos de ejecución y cálculos más rápidos de lo que se tiene actualmente.

## **6. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un aplicativo que por medio del lenguaje de programación C# adquiera datos del programa LVDAM-ANT de Lab-Volt a través de un archivo .txt para ver estos datos gráficamente, también simulara algunas antenas y las comparara con los datos experimentales, los resultados podrán ser exportados en imágenes JPG y archivos en Excel para que el usuario pueda trabajar en otros programas con los datos obtenidos, el aplicativo ofrecerá una interfaz gráfica agradable y fácil de usar, para así repotenciar el laboratorio de antenas de la faculta de ingeniera electrónica en la Universidad Santo Tomas.



## 7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender el funcionamiento del sistema de antenas existente en el laboratorio de antenas de la facultad, con el fin de complementarlo con un nuevo aplicativo para mejorar las prácticas de laboratorio con el sistema de antenas.
- Desarrollar un aplicativo que por medios gráficos permita comprender e implementar conocimientos sobre antenas como densidad de potencia radiada, diagrama de radiación, directividad, ganancia, polarización, impedancia y otros más.
- Desarrollar el aplicativo que permita simular las antenas: dipolo( $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ ), dipolo plegado, monopolo, de cuadros, Yagi, guía de ondas (abierta y ranurada), bocina, Helicoidal y de placas, para poder visualizar sus respectivos patrones de radiación y compararlos con los obtenidos experimentalmente por medio de una interfaz gráfica agradable, funcional y fácil de usar por los estudiantes de ingeniería.
- Incentivar a la comunidad académica (docentes y estudiantes) dentro de la facultad de ingeniería electrónica el interés por las telecomunicaciones y el estudio de los sistemas de radiofrecuencia por medio de una nueva herramienta para el laboratorio de antenas.
- Desarrollar un manual de uso y funcionamiento que permita a los usuarios resolver las dudas pertinentes del uso del aplicativo en las prácticas de laboratorio.
- Diseñar dentro del aplicativo una función que permita leer archivos de texto con una configuración específica incluido el que ha sido previamente exportado por el programa LVDAM-ANT para procesar los datos y graficarlos, además tener la posibilidad de exportar las gráficas en formato JPG y en el caso de las simulaciones exportar las tablas en un archivo EXCEL.

## 8. DISEÑO METODOLÓGICO

Tres temas son la base fundamental del diseño y desarrollo del proyecto: parámetros de antenas, métodos de adquisición de datos y programación en lenguaje C. Los parámetros con los cuales se va a trabajar son los que se pueden encontrar de manera gráfica en el patrón de radiación de cada antena, la adquisición de datos es un método para tomar muestras del mundo real las cuales pueden ser manipuladas por medio de un computador o un sistema electrónico para luego ser procesadas. Por medio del lenguaje de programación C se diseñara una interfaz gráfica amigable con el usuario y de fácil uso para el aplicativo, en el cual se podrá simular patrones de radiación y compararlos con los obtenidos del software LVDAM-ANT.

Como algo adicional a las bases ya mencionadas del proyecto es estudiar el funcionamiento del kit de antenas equipos que se encuentra a disposición de la universidad, El sistema cuenta con un posicionador de antenas el cual tiene un motor de paso a paso posicionando la antena grado a grado, con giro de 360 grados, una tarjeta de adquisición de datos y un computador con el software LVDAM-ANT, este software después de capturar los datos permite al usuario crear un archivo de texto con los datos obtenidos y con este archivo se procederá a trabajar mediante el aplicativo, como se muestra en la Figura 1.

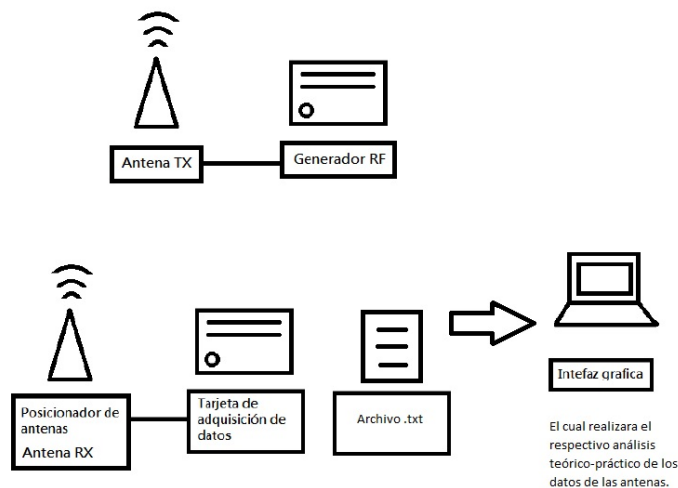


Figura 1: Diagrama del sistema a implementar

El sistema cuenta como se ha mencionado anteriormente con un posicionador de antenas el cual tiene un motor de paso a paso posicionando la antena grado a grado, con giro de 360 grados, una tarjeta de adquisición de datos y un computador con el software LVDAM-ANT, equipos que se encuentran a dispo-

sición de la universidad. Este software después de capturar los datos permite al usuario crear un archivo de texto con los datos obtenidos y partir de estos y por medio del software propuesto en este proyecto realizar comparaciones de los datos prácticos y teóricos, como se muestra en la Figura 1.

## 9. MARCO TEÓRICO

### 9.1. HISTORIA DE LAS ANTENAS

Los métodos para comunicarse mediante señales eléctricas iniciaron desde la telegrafía por Samuel Morse y Alfred Vail en 1837, luego con la llegada de la telefonía en 1876 por Antonio Meucci el cual por historia Meucci fue el primero en construir el teléfono y Alexander Graham Bell fue el primero en patentarlo. Estos datos históricos son citados ya que son los primeros casos en los cuales hubo comunicación a larga distancia por medio de señales eléctricas.



Figura 2: Operador de telégrafo.

Tomado

de:(<http://mary-cristy-sanchez-estrada.webnode.mx/images/200000017-15e1016db8-public/operador-de-telegrafo.jpg>)

En 1867 las investigaciones de Maxwell revelaron la existencia de ondas electromagnéticas. En 1886 Heinrich Hertz confirma esto. El cual experimentalmente demostró por medio de reflector parabólico cilíndrico e zinc, este excitado por una chispa en la parte media de un dipolo y otro semejante como receptor añadió la existencia de ondas electromagnéticas. 10 años después confirmando lo que Maxwell predijo. Luego Guillermo Marconi, ingeniero eléctrico, conocido como uno de los referentes de la radio transmisión a larga distancia el cual desarrollo un sistema de telegrafía sin hilos llamado T.S.H conocido como radiotelegrafía. El cual por medio de los aportes realizados por Maxwell y Hertz y por medio de un detector de ondas radioeléctricas inventado por Edouard Branly, y con la disposición de Marconi en construir el primer sistema de telegrafía sin hilos. Marconi pensó que las ondas electromagnéticas podían se usadas para señalizaciones. Entonces comenzó a construir un

receptor y transmisor separado entre si unos 10 metros aproximadamente. El transmisor de salto de chispa funciono a 60 KHz, el cual estaba conectado a tierra y a un hilo que estaba sujeto entre dos bases horizontales de 60 metros del que estaban sujetos 50 varillas verticales. La antena receptora se puso a una altura de 200 metros del nivel del suelo por medio de una cometa.



Figura 3: 12 de diciembre de 1901, día en el cual Guillermo Marconi logro que una señal cruzara desde Gran Bretaña a Terranova, Canadá.  
Tomado de:(<https://radiosenminiatura.files.wordpress.com/2013/12/marconi-22ac3b1os-e1385885326430.png?w=640>)

Todas estas investigaciones desde Marconi hasta el día de hoy fueron de gran utilidad para el estudio e implementación de diversas antenas de hilo alcanzando frecuencias de banda UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY) . De aquí en adelante se implementaron nuevas antenas que fueron incluidas en la segunda guerra mundial entre las cuales esta las guías, bocinas, reflectores para radio frecuencias de microondas. Lo que mas adelante fue de gran ayuda para establecer radioenlaces fijos, y de ahí en adelante impulso en las comunicaciones de espacio profundo y comunicaciones vía satélite.



Figura 4: Las investigaciones de Maxwell, Hertz y Marconi fueron de gran importancia para la evolución de las comunicaciones y el estudio y aplicación de las antenas.

Tomado de:(<http://museoradiobenejuzar.com/wp-content/uploads/2011/07/historiade-la-radio-cabecera.png>)

## 10. DEFINICIÓN ANTENA

Las ecuaciones de Maxwell relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. La solución a las ecuaciones da lugar a formas de onda:

- Guiadas (líneas de transmisión, guías de ondas)
- Libres en el espacio (antenas)

El IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) define una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” [1] . Dicho de otro modo, la antena es la transición entre un medio guiado y el espacio libre.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia ( $f$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de propagación de la luz en el medio ( $3 * 10^8$  m/s en el espacio libre).

El conjunto de todas las frecuencias (espectro de frecuencias) se divide en bandas, cada una de las cuales presenta características peculiares que dan

origen a tipologías de antenas muy diversas

Banda	f	$\lambda$	Denominación
ELF	< 3 kHz	> 100 km	Extremely Low Frequency
VLF	3 - 30 kHz	100 - 10 km	Very Low Frequency
LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km	Low Frequency
MF	0,3 - 3 MHz	1000 - 100 m	Medium Frequency
HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m	High Frequency
VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m	Very High Frequency
UHF	0,3 - 3 GHz	100 - 10 cm	Ultra High Frequency
SHF	3 - 30 GHz	10 - 1 cm	Super High Frequency
EHF	30 - 300 GHz	1 - 0,1 cm	Extremely High Frequency

Figura 5: Bandas de frecuencias.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.20

La comunicación entre un transmisor y un receptor separados una distancia  $R$  puede realizarse mediante: Una línea de transmisión con pérdidas proporcionales a  $e^{-\alpha R}$ , donde  $\alpha$  es la constante de atenuación de la línea. Dos antenas con visión directa y con pérdidas proporcionales a  $1/R^2$ .

Son diversos los factores que intervienen a la hora de decidir la utilización de una línea de transmisión o antena pero, de forma general:

- Se utilizan líneas de transmisión para bajas frecuencias y pequeñas distancias.
- Se utilizan antenas para altas frecuencias y largas distancias.

Las ventajas que presentan las líneas de transmisión frente a las antenas son que no están sometidas a interferencias, como sí lo están los sistemas de radio, y que se logra un aumento del ancho de banda extendiendo otra línea. Los inconvenientes de las líneas de transmisión son el elevado coste y el tiempo de infraestructura para enlaces de larga distancia.

Algunas de las aplicaciones en las que se utilizan las antenas son:

- Comunicaciones móviles: aviones, barcos, vehículos, naves espaciales
- Comunicaciones personales: teléfono celular.
- Sistemas de radiodifusión: radio, televisión.
- Comunicaciones radio punto a punto: policía, bomberos.
- Aplicaciones de no comunicación:
  - Sensor remoto: radar, radiometría.
  - Industria: microondas

# 11. CLASIFICACIÓN DE ANTENAS

## 11.1. Clasificación según la geometría

Por su forma, podemos clasificar las antenas en:

- Antenas de cable; como, por ejemplo, los dipolos, monopolos, espiras, helicoides. Las antenas de televisión que habitualmente encontramos en los edificios están formadas por un conjunto de dipolos.

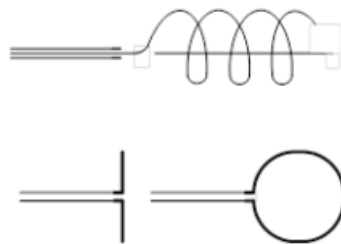


Figura 6: Antenas de hilo.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio.* 2008. pag.21

- Antenas de apertura como, por ejemplo, las bocinas, las ranuras y las antenas microstrip .

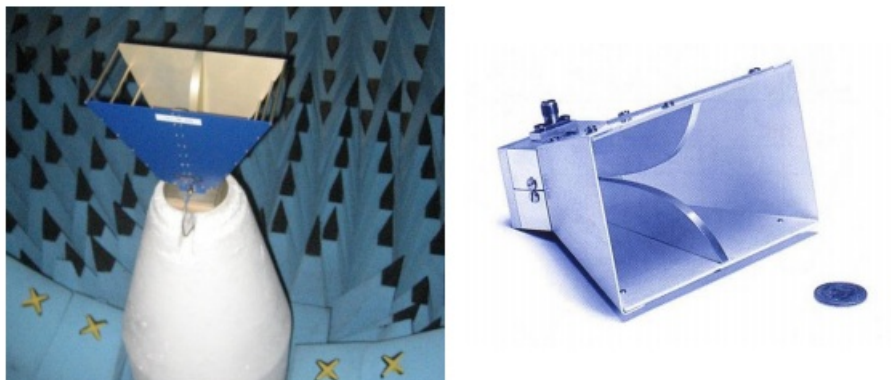


Figura 7: Antenas de apertura (bocinas). Gentileza de la empresa de Tecnología Fractus, Barcelona (izquierda)

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio.* 2008. pag.22



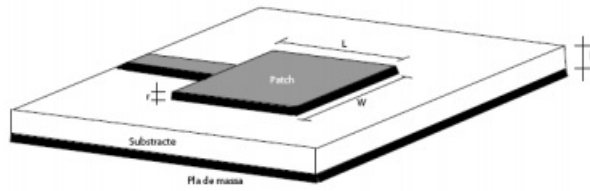


Figura 8: Antenas microstrip: consisten en un parche metálico sobre un sustrato y un plano de masa por debajo. Las antenas microstrip son de perfil bajo, adaptables a cualquier superficie, simples y baratas de fabricar, mecánicamente robustas cuando se instalan sobre superficies rígidas

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio.* 2008. pag.22

- Reflectores: antenas formadas por un reflector, generalmente con perfil parabólico, y la antena situada en el foco del reflector. Las grandes antenas de observación del espacio son un ejemplo de ellas .



Figura 9: Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio.* 2008. pag.22

- Lentes: formadas, tal y como indica su nombre, por una lente que tiene como objetivo conformar la radiación de una determinada forma.



Figura 10: Antenas de lente: a partir de una fuente poco directiva (radia en muchas direcciones del espacio) permiten conformar el haz para aumentar la directividad (focalizar la radiación en determinadas direcciones).

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.23

- Agrupaciones de antenas: cuando se junta más de una antena para conseguir determinadas características de radiación, se denomina antena agrupación o, en inglés, array.

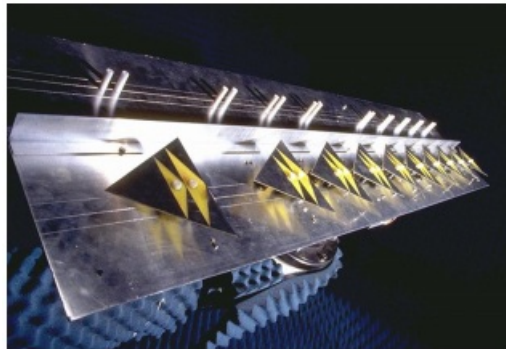


Figura 11: Agrupación de antenas para estación base de telefonía móvil: agrupaciones de doble banda y doble polarización. Gentileza de la empresa de Tecnología Fractus, Barcelona.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *.TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.23

## 11.2. Clasificación según su comportamiento

- Antenas de banda ancha: cuando las antenas pueden trabajar en un margen muy amplio de frecuencias. Un ejemplo lo tenemos en antenas de bocina para realizar medidas radioeléctricas en cámara anecoica (cámara en la que se miden las antenas y que simula un entorno de espacio libre). Con una bocina podemos cubrir un gran margen frecuencial; por ejemplo, de 800 MHz a 5 GHz, sin necesidad de cambiar de antena
- Antenas miniatura: cuando la antena presenta unas dimensiones mucho más pequeñas que la longitud de onda. Veremos que la dimensión de una antena está directamente relacionada con su comportamiento electromagnético. Si se realiza una antena que tiene dimensiones pequeñas

en términos de la longitud de onda. Las antenas de terminales móviles son un modelo.

- Antenas multifrecuencia: antenas que pueden operar con unas características muy similares para diferentes sistemas de telecomunicación. Las antenas de estación base y terminales móviles que operan a GSM900 y GSM1800 son casos de antenas multifrecuencia.

### 11.3. Impedancia de entrada

Una antena es un dispositivo de un puerto y, por lo tanto, presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en el puerto de entrada. La impedancia de una antena tiene una parte real y otra imaginaria, y ambas dependen de la frecuencia. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia  $f_o$  si la parte imaginaria de la impedancia de entrada en  $f_o$  es cero. Una antena presenta generalmente muchas resonancias, que denominamos “modos”.

Habitualmente interesa que la antena esté adaptada al generador. De esta manera la potencia transmitida hacia el generador pasa a la antena y ésta se radia al espacio. Si la antena no está adaptada, parte de la potencia incidente que procede del generador se reflejará hacia el mismo. Esto podría dañar las etapas de amplificación del generador si las potencias de transmisión fuesen elevadas. Por lo tanto, por lo general interesa que la antena esté adaptada. Analizaremos el problema de adaptación de impedancias cuando hablemos de los parámetros en recepción de la antena.

Una antena es un dispositivo de un punto, por lo que presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en este puerto.

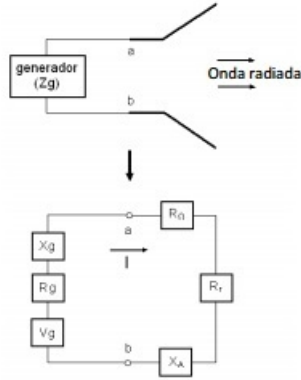


Figura 12: Antena en modo transmisión y equivalente de Thevenin.  
 Tomado de: Jaime Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.30

$$Z_A = R(\omega) + jX(\omega) \quad (2)$$

$$Z_A = R_r(\omega) + R_\Omega(\omega) + jX(\omega) \quad (3)$$

La impedancia de entrada tiene una parte real ( $R(\omega)$ ) y una parte imaginaria ( $X(\omega)$ ); ambas dependientes de la frecuencia. Este parámetro también se ve afectado por otras antenas u objetos cercanos, pero de momento se asume que la antena se encuentra aislada.

$R_r$ : resistencia de radiación. Representa la potencia o energía que la antena radia hacia el espacio libre. Se define  $R_r$  como el valor de la resistencia que disiparía la misma potencia que la radiada por la antena.

$$P_r = \frac{1}{2} * I^2 * R_r \quad (4)$$

$R_\Omega$ : resistencia de pérdidas. Representa las pérdidas que se producen en la antena, en los conductores y/o dieléctricos, aunque en las antenas de ferrita también se producen pérdidas en el núcleo. En la mayoría de antenas  $R_\Omega \ll R_r$ . Sin embargo,  $R_\Omega$  es significativa en antenas eléctricamente pequeñas, donde las dimensiones son mucho más pequeñas que una longitud de onda.

$$P_\Omega = \frac{1}{2} * I^2 * R_\Omega \quad (5)$$

La potencia entregada a la antena será la suma de las dos anteriores:

$$P_A = P_r + P_\Omega = \frac{1}{2} * I^2 * (R_r + R_\Omega) \quad (6)$$

$X_A$ : parte reactiva de la impedancia de entrada. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia  $f_o$  si la parte imaginaria es nula ( $X_A = 0$ ). Una antena presenta muchas resonancias.

La parte real de la impedancia de entrada ( $R_r$ ) representa la densidad de potencia activa que la antena radia en zonas del espacio alejadas de ésta (campo lejano). En este sentido  $R_\Omega$  representa la parte de potencia disipada en forma de calor. La parte imaginaria de la impedancia de entrada ( $X_A$ ) representa la densidad de potencia reactiva que se encuentra almacenada en zonas alrededor de la antena (campo cercano). Como veremos en el tercer capítulo, la distancia a la antena para la cual las densidades de potencia activa y reactiva son iguales para el caso de un dipolo ideal es de  $\frac{\lambda}{2\pi}$ .

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia ya que condiciona el valor de tensión que debe suministrar el generador para obtener una corriente determinada en la antena y, en consecuencia, una potencia radiada concreta:

- Si  $X_A$  aumenta, implica el aumento de la tensión del generador para obtener una corriente apreciable.
- Si  $R_r$  disminuye, la corriente tiene que ser muy grande para obtener una potencia radiada apreciable.

## 11.4. Eficiencia de radiación

La impedancia de entrada de una antena tiene una parte real y otra imaginaria, tal como se ha descrito anteriormente. La parte real se puede dividir en dos: una llamada resistencia de radiación ( $R_r$ ) y otra llamada resistencia de pérdidas ( $R_\Omega$ ). La primera es la resistencia en la que se disipa la potencia en el espacio (potencia radiada) y la segunda tiene en cuenta la potencia que se disipa en forma de calor a causa de pérdidas en el material, ya sea en el conductor o/y en el dieléctrico que forma la antena. Se define eficiencia de radiación como la relación entre la potencia radiada ( $P_r$ ) y la potencia entregada a la antena ( $P_r + P_\Omega$ ):

$$\eta_r = \frac{P_r}{P_r + P_\Omega} = \frac{I^2 * R_r}{I^2 * (R_r + R_\Omega)} = \frac{R_r}{(R_r + R_\Omega)} \quad (7)$$

Donde  $P_\Omega$  es la potencia disipada a causa de pérdidas en la antena, pérdidas en el dieléctrico o en el conductor, y  $P_r$  es la corriente en los terminales de la antena.

Habitualmente se expresa en tanto por ciento, aunque también se puede expresar en dB una vez hemos aplicado  $10 \cdot \log_{10}(\cdot)$ , ya que es una relación de

potencias. Naturalmente interesa en que la eficiencia sea del 100 %.

A menudo se usa el concepto de eficiencia total, que es el resultado de multiplicar la eficiencia de radiación por el coeficiente de desadaptación de impedancias. De esta forma resulta:

$$\eta_t = \eta_r * (1 - |\rho|^2) \quad (8)$$

Por lo tanto, se debe intentar maximizar el producto adaptando la antena y, al mismo tiempo, usando materiales y estructuras geométricas eficientes.

Se define un nuevo término llamado mismatch loss, que indica cuánta potencia se refleja y, por lo tanto, podemos decir que se pierde ya que no se aprovecha para radiar, de aquí el nombre de pérdidas por desadaptación. Como orden de magnitud, una ROE (en inglés SWR)=2, significa una pérdida por desadaptación de 0.5dB. Por lo tanto, en el mejor de los casos (eficiencia de radiación del 100 %), se radiará un 88.9 % de la potencia entregada a la antena .

SWR	S11, $\rho$ [dB]	Entregada a antena: $1- \rho ^2$ [%]	Mismatch Loss $1- \rho ^2$ [dB]
6	-2.9	49.0	-3.1
3	-6.0	75.0	-1.2
2	-9.5	88.9	-0.5
1.5	-14.0	96.0	-0.2
1.1	-26.4	99.8	-0.01

Figura 13: Relación entre ROE (SWR), el coeficiente de reflexión y mismatch loss.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.35

## 11.5. Intensidad de radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Por lo tanto, será conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro que permita establecer una comparación entre diferentes antenas: intensidad de radiación.

Previo a este paso, se tiene que definir el marco de referencia en el que se encuentra situada la antena con la que se quiere caracterizar. Para dicho efecto, se utiliza un sistema de coordenadas que permite definir cómodamente una dirección en el espacio: coordenadas esféricas. El sistema de coordenadas esféricas define los vectores unitarios  $\hat{r}$ ,  $\hat{\theta}$ ,  $\hat{\phi}$  que forman una base ortogonal.

La onda electromagnética radiada por una antena se compone de una intensidad de campo eléctrico  $\vec{E}$  [V/m] y una intensidad de campo magnético  $\vec{H}$

[H/m], ambas magnitudes vectoriales ligadas por las ecuaciones de Maxwell.

A partir de los campos eléctrico y magnético se obtiene la densidad de flujo por unidad de superficie, o también densidad de potencia radiada:

$$\vec{\varphi}(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \Re \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Donde se ha supuesto para los campos una variación temporal armónica de tipo  $e^{j\omega_0 t}$ .

En campos radiados o campos lejanos (distancia del punto de observación en la antena muy superior a la longitud de onda y a la dimensión del elemento radiante) las ondas electromagnéticas se pueden aproximar por ondas planas, y por lo tanto los módulos de campo eléctrico y magnético están relacionados por la impedancia característica del medio ( $\eta$ ), que en el vacío vale  $120\pi\Omega$ . Expresado matemáticamente:

$$\vec{H} = \frac{1}{\eta} \hat{r} \times \vec{E} \quad (9)$$

De lo que se deriva que E y H son perpendiculares a la dirección de propagación y que:

$$H_\varphi = \frac{E_\theta}{\eta} \quad (10)$$

$$H_\theta = \frac{E_\varphi}{\eta} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta, el módulo de la densidad de potencia radiada también se puede calcular a partir de los componentes transversales del campo eléctrico:

$$\begin{aligned} \vec{\varphi}(\theta, \varphi) &= \frac{1}{2} \Re \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \} = \frac{1}{2} \Re \begin{vmatrix} \hat{r} & \hat{\theta} & \hat{\phi} \\ 0 & E_\theta & E_\varphi \\ 0 & H_\theta^* & H_\varphi^* \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{2} \hat{r} \Re \{ E_\theta H_\varphi^* - E_\varphi H_\theta^* \} = \frac{1}{2} \hat{r} \Re \left\{ E_\theta \frac{E_\varphi^*}{\eta} + E_\varphi \frac{E_\theta^*}{\eta} \right\} = \frac{1}{2} \hat{r} \frac{|E_\theta|^2 + |E_\varphi|^2}{\eta} \\ |\vec{\varphi}(\theta, \varphi)| &= \frac{1}{2} \frac{|E_\theta|^2 + |E_\varphi|^2}{\eta} \end{aligned}$$

La potencia total radiada se obtiene como la integral de la densidad de potencia en una superficie esférica que envuelva a antena:

$$P_r = \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \rho(\theta, \varphi) dA = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \rho(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi$$

Donde  $A$  es el diferencial de superficie:  $dA = r^2 \sin(\theta) d\theta d\varphi$

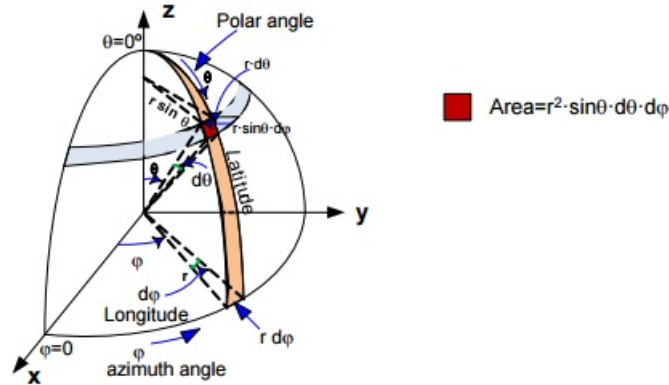


Figura 14: Sistema de coordenadas y diferenciales de superficie.  
Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.38

La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección. A grandes distancias tiene la propiedad de ser independiente de la distancia a la cual se encuentra la antena.

$$K(\theta, \varphi) = r^2 \rho(\theta, \varphi) \text{ [W/str]}$$

La potencia total radiada también se puede calcular integrando la intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} K(\theta, \varphi) \cdot d\Omega$$

Donde  $d\Omega$  es el diferencial de ángulo sólido:  $d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$

## 11.6. Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las diferentes direcciones del espacio (sistema de coordenadas esférico) a una distancia fija. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia, expresa el campo eléctrico en función de las variables angulares  $\theta$  y  $\varphi$ . El diagrama de radiación cobra



relevancia en la zona de campo lejano, es decir, en la zona donde la forma del diagrama es invariante en función de la distancia .

Como el campo magnético se deriva directamente del campo eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

En campo lejano, la densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, algo que hace que la representación gráfica de un diagrama de potencia contenga la misma información que un diagrama de radiación de campo.

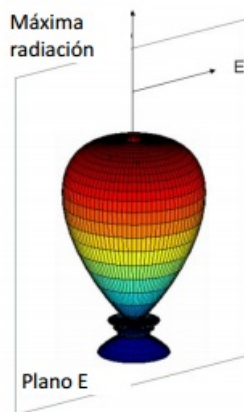


Figura 15: Diagrama de radiación 3D. Plano E.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.38

En antenas linealmente polarizadas se definen los planos E y H:

- Plano E: formado por la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en esta dirección.
- Plano H: formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en esta dirección.

Ambos planos son perpendiculares (en campo lejano, el campo eléctrico y el magnético se comportan como una onda plana, son perpendiculares) y su intersección determina una línea que define la dirección de máxima radiación de la antena.

El diagrama de radiación de una antena suele representarse mediante cortes extraídos del diagrama tridimensional para una constante  $y$ /o una constante (planos principales). Estos cortes se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas.

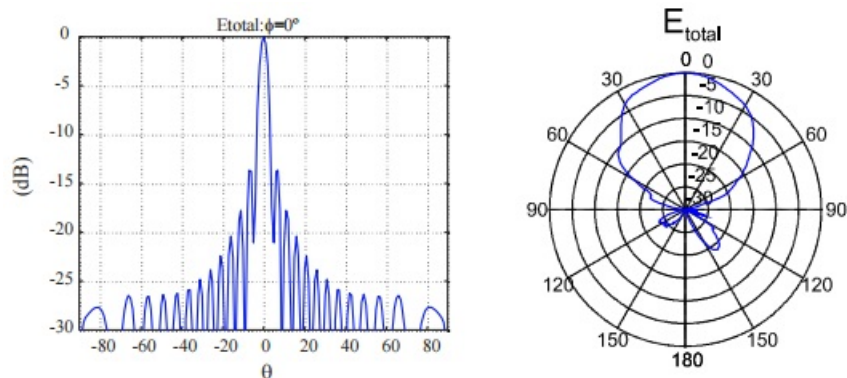


Figura 16: Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas y polares. Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.39

El campo se puede representar de forma absoluta o relativa (normalizando el valor máximo a la unidad). También es bastante habitual la representación del diagrama en escala logarítmica. Un diagrama relativo logarítmico tiene el máximo en 0 dB y el resto de direcciones del espacio con dB negativos. Cuando la escala es logarítmica, los diagramas de campo y de potencia son idénticos.

Algunas definiciones relacionadas con el diagrama de radiación:

- Lóbulo principal: zona en la que la radiación es máxima.
- Lóbulos laterales: zona que rodea los máximos de menor amplitud.
- Lóbulo secundario: lóbulo lateral de mayor amplitud.
- Lóbulo posterior: zona diametralmente opuesta al lóbulo principal.
- Ancho de haz a mitad de potencia ( $\Delta_{\theta-3dB}$ ): separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo. En campo eléctrico en 0'707 del máximo.
- Ancho de haz entre ceros ( $\Delta_{\theta Z}$ ): separación angular en las direcciones del espacio en las cuales el lóbulo principal toma un valor nulo.
- Relación delante-detrás (D/D): cociente entre el lóbulo principal y el lóbulo posterior [dB].
- Relación lóbulo principal a secundario (NLPS): cociente entre el lóbulo principal y el lóbulo secundario, que suele ser adyacente al lóbulo principal [dB]. Generalmente se encuentra el acrónimo NLPS como SLL del inglés Side Lobe Level.

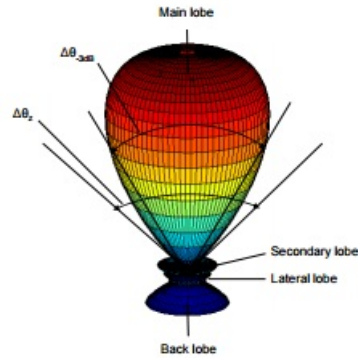


Figura 17: Parámetros del diagrama de radiación.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.40

Los rayos procedentes de las diferentes partes de una antena llegan al campo lejano con diferente magnitud y fase a causa de las variaciones de corriente sobre la estructura del elemento radiante. La interferencia de estos rayos en las diferentes direcciones del espacio puede ser constructiva o destructiva, de aquí que aparezcan zonas donde la radiación es mayor y otros donde es menor (lóbulos).

Un radiador isotrópico se define como una hipotética antena sin pérdidas que radia de la misma manera en todas direcciones. Se adopta este modelo de radiación como referencia para expresar la directividad de otras antenas. La potencia radiada por una antena isotrópica es:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \rho(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi = 4\pi r^2 \rho$$

Una antena direccional tiene la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas de manera más eficiente en unas direcciones que en otras. Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje, se dice que la antena es omnidireccional: toda la información contenida en el diagrama tridimensional puede representarse en un único corte que contenga el eje.

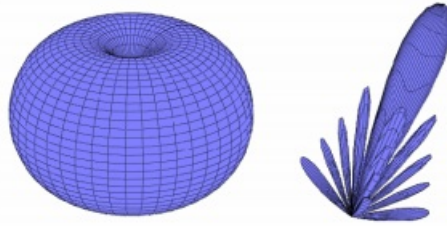
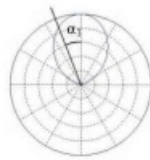


Figura 18: Diagrama de radiación omnidireccional (izquierda) y directivo (derecha).

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.41

Un parámetro que se utiliza para juzgar la eficiencia del haz (beam efficiency), que es la relación entre la potencia transmitida dentro de un cono de ángulo  $\alpha_1$  y la potencia total transmitida por la antena:



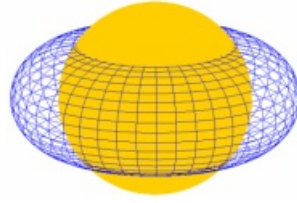
$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha_1} \varphi(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \varphi(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi}$$

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.41

## 11.7. Directividad

La directividad de una antena se define como “la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena transmisora”.

De manera gráfica, podemos decir que si una antena es muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección. Por ejemplo, una antena tipo reflector parabólico para observación astronómica tiene mucha directividad (50dB). Esto le permite apuntar en una determinada dirección para recibir la señal y no recibir otras direcciones. Otro ejemplo: interesa que una antena de radiodifusión FM sea poco direccional ya que tiene que intentar distribuir la potencia en muchas direcciones. Las antenas de televisión que encontramos en los edificios, denominadas Yagi-Uda y que estudiaremos, pueden ponderar la energía procedente de una determinada dirección (donde se encuentra la fuente que radia) y no recibir la de otras.



$$D(\theta, \varphi) = \frac{\wp(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$$

Figura 19: Directividad: la radiación isotrópica ( $D=1$ , mínima directividad posible) se utiliza como referencia. Una antena con una directividad superior a la isotrópica radiará más potencia en la dirección del máximo, en detrimento de otras direcciones, donde radiará menos.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.41

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación:

$$D = \frac{\wp_{\max}}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$$

Si una antena es muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección. Como puede observarse en las ecuaciones anteriores, la directividad puede obtenerse a partir del conocimiento del diagrama de radiación de la antena. Si se define el diagrama de radiación normalizado mediante:

$$t(\theta, \varphi) = \frac{\wp(\theta, \varphi)}{\wp_{\max}} = \frac{K(\theta, \varphi)}{K_{\max}} = \frac{D(\theta, \varphi)}{D}$$

La expresión de la directividad puede escribirse de la forma:

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi t(\theta, \varphi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_e}$$

donde  $\Omega_e$  se define como ángulo sólido equivalente:

$$\Omega_e = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi t(\theta, \varphi) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi t(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi$$

“El ángulo sólido equivalente de una antena que radia una potencia total ( $P_r$ ) con una densidad de potencia ( $\vartheta(\theta, \varphi)$ ) es el ángulo sólido que cubriría una antena ficticia que radiase la misma potencia  $P_r$  uniformemente para todos los ángulos de éste y con una densidad de potencia igual a  $K_m ax$ ”.

Para antenas con un lóbulo principal estrecho y lóbulos laterales negligibles,  $\Omega_e$  es prácticamente igual al producto de los anchos de eje a mitad de potencia de los dos planos perpendiculares (planos E y H en caso de polarización lineal):

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\Delta\theta_{-3dB}^E \cdot \Delta\theta_{-3dB}^H}$$

Si el diagrama de radiación tiene simetría de revolución, los anchos de eje a mitad de potencia son iguales en los dos planos perpendiculares; por lo tanto:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{(\Delta\theta_{-3dB})^2}$$

La ecuación anterior es una aproximación para el cálculo de la directividad, teniendo en cuenta que el diagrama de radiación tiene un lóbulo principal y posibles lóbulos laterales completamente negligibles. Para un modelo de radiación con dos lóbulos principales idénticos, el valor de la directividad que se obtiene utilizando esta ecuación, sería dos veces el valor actual. Para modelos con lóbulos laterales significantes, la directividad también sería superior a la real.

A continuación se compara el valor de la directividad de una antena obtenida a partir de las expresiones exacta y aproximada. La antena tiene un único lóbulo de radiación dado por :

$$t(\theta, \varphi) = \cos^n \theta ; \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right].$$

Cuanto mayor es el exponente n, más directivo es el diagrama de radiación y menor es la diferencia entre las directividades (real y aproximada). Puede considerarse que la expresión aproximada para el cálculo de la directividad es válida para valores superiores a 10 dB.

n	D exacta [dB]	D aprox [dB]	$\Delta$ [dB]
1	6	4.5	1.5
2	7.8	7	0.9
3	9	8.7	0.6
4	10	9.8	0.4

Figura 20: Comparación entre directividad exacta y aproximada en función de la directividad del diagrama. Podemos considerar que la expresión aproximada es válida para  $D \leq 10$  dB.

Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.43

**Nota adicional de interés:** Físicamente es posible conseguir una antena con una directividad  $D=1$ , es decir, que el diagrama de radiación es una esfera perfecta.

## 11.8. Ganancia

Como se ha demostrado en el apartado anterior, la directividad es una magnitud que describe sólo propiedades de direccionalidad de la antena, y depende únicamente del patrón de radiación. Otro parámetro importante que está directamente relacionado con la directividad es la ganancia de la antena.

Es importante subrayar que tanto la directividad como la ganancia son funciones que dependen de las coordenadas esféricas  $\theta$  y  $\varphi$ . Solemos referirnos a directividad y ganancia máxima cuando no es más que el máximo de la función. Su definición es similar, pero la comparación no se establece con la potencia radiada, si no con la potencia entregada a la antena. La ganancia pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, si no que parte de ésta se disipa en forma de calor ( $R_\Omega$ ). Por lo tanto, la ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena:

$$G(\theta, \varphi) = \frac{\varphi(\theta, \varphi)}{\frac{P_A}{4\pi^2}} = \frac{P_r}{P_A} \cdot \frac{\varphi(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi^2}} = \eta_r \cdot D(\theta, \varphi)$$

$$G = \eta_r * D \tag{12}$$

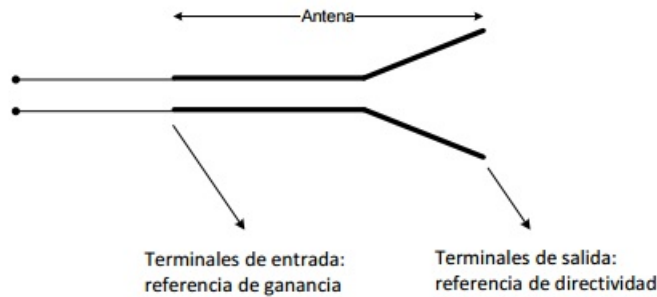


Figura 21: Ganancia y directividad en las terminales de la antena.  
 Tomado de: Jaume Anguera, Antonio Pérez, *TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio*. 2008. pag.44

No debe confundirse este concepto de ganancia con el que solemos trabajar en el caso de amplificadores. La antena es un dispositivo pasivo y, por lo tanto, no amplifica la señal. Si el generador le entrega 1 W de potencia, la antena radiará 1 W en el mejor de los casos (eficiencia 100 %). Si este 1 W se distribuye de manera igual en el espacio, la antena tendrá una directividad de  $D=1$  y  $G=1$  (si la eficiencia es del 100 %). Veamos un ejemplo sencillo utilizando términos acústicos: al hablar podemos llegar a comunicarnos con una persona a una determinada distancia. Si repetimos el caso hablando con la misma intensidad pero ayudándonos con las manos para focalizar la voz, el remitente percibirá una señal más fuerte. En este caso, hemos aumentado la directividad y la ganancia de la fuente.

## 12. ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos o DAQ es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable. [6]



## 13. FACTIBILIDAD

Se diseñó el respectivo cronograma de trabajo, sugiriendo recolección de datos, parametrización del sistema y diseño e implementación de la solución correspondiente a los datos obtenidos anteriormente mencionados con fines totalmente académicos, el cual no quiere inferir en los servicios brindados por la universidad Santo Tomas a los estudiantes.

La universidad Santo Tomas cuenta con la mayoría de los equipos para llevar a cabo este proyecto, los equipos necesarios para realizar este proyecto que no posee la universidad esta detallado en el cronograma de trabajo. Los problemas que se lleguen a generar más adelante que no hayan sido identificados previamente, serán expuestos y corregidos de manera inmediata y presentados en el informe final.

Para lograr este cometido es necesario hacer uso de los elementos del laboratorio de comunicaciones con el fin poder realizar la interfaz gráfica que cumpla con las expectativas establecidas en el objetivo general y de igual manera emplear los conocimientos adquiridos en todo el pregrado para realizar un proyecto completo en todos sus aspectos.

El proyecto se puede realizar gracias a los elementos que brinda la universidad Santo Tomas como lo son multímetros y elementos básicos, generador de señales, antena transmisora y receptora, kit de antenas Lab-Volt , además del espacio que permite para que se desarrolle el proyecto dentro de los laboratorios ETM donde se va a desarrollar la mayoría del trabajo.

La importancia del tema y el poder solucionar este problema como parte del proceso de formación como ingenieros electrónicos, y la facilidad de poder ayudar a la población académica. Se tiene los conocimientos y materiales necesarios para poder llevar a cabo este proyecto.

## 14. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

El siguiente cronograma especifica las actividades propuestas por semana, para realizar el proyecto propuesto, con el fin de desarrollar la solución al problema planteado inicialmente.

PERIODO	ACTIVIDADES
Semana 1-4	Recopilación de información sobre antenas, tipos y parámetros
Semana 5-6	Leer sobre el diseño de una interfaz gráfica y tipos de lenguaje de programación relacionados.
Semana 6-9	Análisis del kit de antenas que tiene la facultad de Ingeniería Electrónica
Semana 10-18	Implementación del software en la plataforma de programación Visual Studio
Semana 19-20	Ultimar detalles del software con su respectiva interfaz gráfica, para que sea funcional con los datos del archivo texto procedentes de la práctica.
Semana 21-22	Pruebas finales del software en situaciones que se pueden llegar a dar durante las prácticas de laboratorio sobre antenas.

Figura 22: Cronograma de actividades

## 15. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Inicialmente se procede al estudio de parametrización de antenas, métodos de adquisición de datos e inicios en programación en lenguaje C, que son las bases estructurales para el inicio del proyecto. Indagar en estos tres temas es base fundamental del anteproyecto como base en el diseño y desarrollo de este.

La adquisición de datos es un método de tomar muestras del mundo real las cuales pueden ser manipuladas por medio de un computador o un sistema electrónico y en su efecto ser procesadas. El software del kit de antenas LVDAM-ANT se encarga de todo el proceso de adquisición de datos que será explicado más adelante y por medio de un archivo de texto (.txt) que arroja este software parte el desarrollo del software a diseñar.

Por medio del lenguaje de programación C se diseñará una interfaz gráfica la cual sea amigable con el usuario y de fácil acceso simulando parámetros de antenas. En el cual con los datos obtenidos con el kit de antenas Lab-Volt y el software LVDAM-ANT con los parámetros obtenidos prácticamente y con el software propuesto se puedan comparar resultados teórico-prácticos.

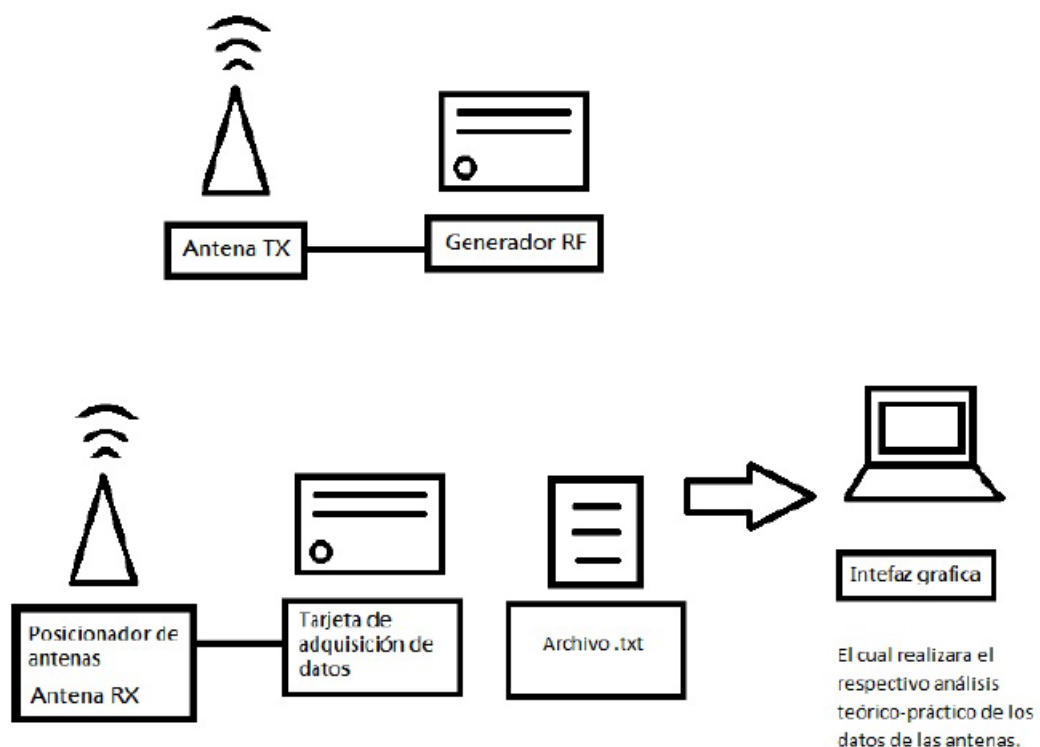


Figura 23: Diagrama del sistema a implementar.

El sistema cuenta como se ha mencionado anteriormente con un posicionador de antenas el cual tiene con un motor de paso a paso posicionando la antena grado a grado, con giro de 360 grados el cual está a disposición de la universidad, una tarjeta de adquisición de datos y un computador con el software especializado en el tema llamado LVDAM-ANT , este software después de capturar los datos permite al usuario exportar los datos en un archivo de texto a partir del cual va a trabajar el software de este proyecto con una interfaz gráfica que permita visualizar simulaciones y poderlas comparar con los datos experimentales. Como se muestra en la Figura 26 y que se ira explicando detalladamente en este trabajo.

## 15.1. KIT DE ANTENAS

Para comenzar el proyecto se estudió de forma detallada la forma de adquirir y procesar la información del equipo de antenas que tiene la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas, este equipo cuenta con un kit de varias antenas, un posicionador de antenas, un generador de RF, una interfaz para la adquisición de datos y un software que se encarga de procesar toda la información recolectada por los equipos anteriormente mencionados graficando planos E y H, visualizando gráficas 3D de datos adquiridos de forma práctica.

### 15.1.1. Generador RF



Figura 24: Generador RF.

Tomado

de:(<http://www1.labvolt.com/publications/datasheets/current2/dse8092.pdf>),p.4

Este generador incluye dos generadores independientes capaces de entregar una señal RF continua o una señal modulada en amplitud mediante una onda cuadrada de 1 kHz, en las bandas de 915 MHz y 10,5 GHz. Tiene un conector de salida tipo SMA que va conectado a la antena de transmisión.

### 15.1.2. Posicionador de antena



Figura 25: Orientador de antena.

Tomado de:

(<http://www1.labvolt.com/publications/datasheets/current2/dse8092.pdf>),p.5

Consiste en un mástil para la antena receptora, un motor de arrastre, un detector de señales, un atenuador variable y un codificador del eje. El motor de arrastre hace girar el mástil mientras el software LVDAM-ANT comanda dicha rotación por medio de la Interfaz para la adquisición de datos. Los dos conectores multipatillas del Orientador de antena se emplean para conectarlo al módulo Interfaz para la adquisición de datos y la Fuente de alimentación.

### 15.1.3. Interfaz para la adquisición de datos

**Modelo 9507-3 – Interfaz para la adquisición de datos / Fuente de alimentación**



Figura 26: Interfaz para la adquisición de datos.

Tomado de:

(<http://www1.labvolt.com/publications/datasheets/current2/dse8092.pdf>),p.5

Es el enlace de comunicación entre el Orientador de antena y la computadora personal que ejecuta el software LVDAM-ANT. Esta comunicación se lleva a cabo por un puerto paralelo DB25 ubicado en la parte trasera del módulo. Este módulo se encarga de convertir la señal análoga proveniente de posicionador en una señal digital que puede ser procesada por el computador, además se encarga de mover el posicionador grado por grado para la toma de los datos. La conexión entre la Interfaz para la adquisición de datos y el Orientador de antena se realiza por medio de un conector BNC y un conector multipatillas.

#### 15.1.4. Software LVDAM-ANT

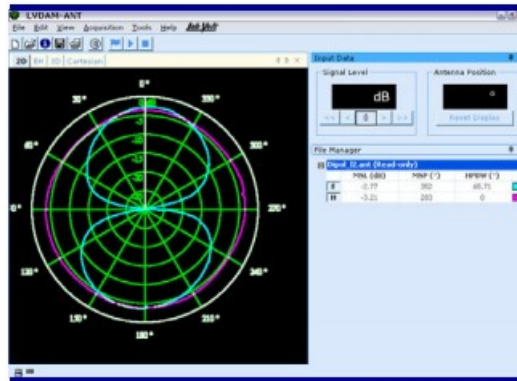


Figura 27: Imagen del programa LVDAM-ANT.

Tomado de:

(<http://www1.labvolt.com/publications/datasheets/current2/dse8092.pdf>),p.2

Este software permite al usuario manejar el proceso de la toma de datos, primero al abrir el programa este abre una pequeña ventana donde pregunta si se debe hacer la conexión del computador con la interfaz para la adquisición de datos, luego de la conexión hay que darle en el menú iniciar toma de datos y empieza el posicionador de antena a girar grado a grado mientras se van graficando los datos tomados de la antena. Luego de tomados se podrá ver en el programa la gráfica polar de E y H, además de poder ver las gráficas cartesianas y gráfica 3d del patrón de radiación.

#### 15.1.5. Conexión entre computador y la interfaz para la adquisición de datos

La comunicación es paralela a través del conector DB25, Como su nombre lo indica tiene 25 pines, 8 de ellos son tierra, 8 bits de datos que son bidireccionales, 4 bits de control que son de salida y 5 bits de estado que son de entrada.

### 15.1.6. Puerto paralelo

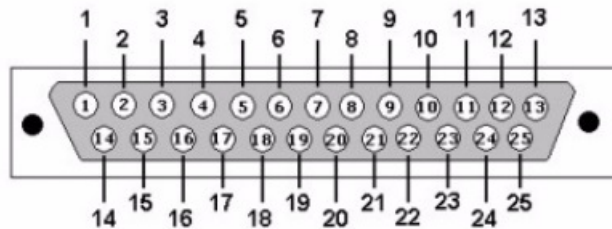


Figura 28: Distribución pines DB25.

Tomado de: (<http://puerto-paralelo-db25.blogspot.com.co/>)

Conocer de qué manera se conectaba estos dos elementos permitiría saber la forma en la cual se comportaba el programa LVDAM-ANT con los datos que recibe de la antena receptora, para esto se midieron las señales que se podrían estar transmitiendo entre los elementos.

Para entender de una manera más clara como usar el puerto paralelo por medio de LabVIEW se hicieron pruebas básicas que proporcionarían una idea más clara del uso de estos registros del puerto paralelo. Por medio del uso del registro de datos con la dirección 378h se hicieron prender y apagar leds desde LabVIEW:

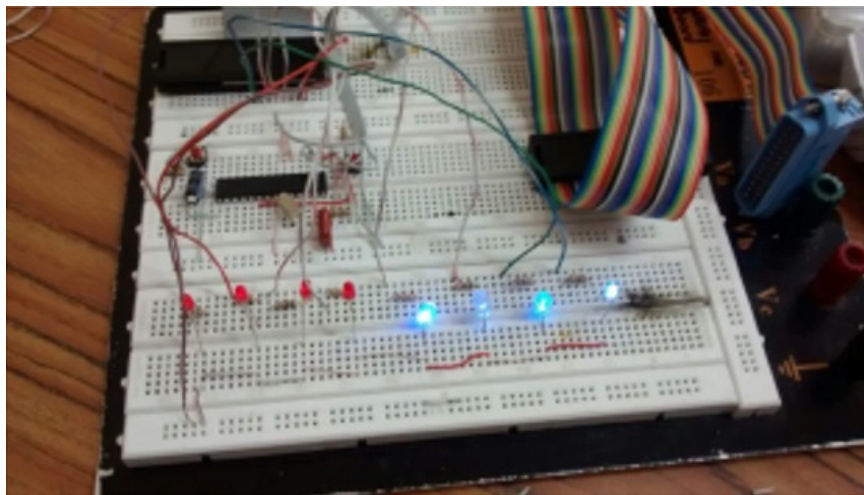


Figura 29: Prueba que se realizó en LabVIEW con el cual por medio de led se usó el puerto de datos para encender y apagar leds a voluntad.

El Programa en LabVIEW lo que hace es que por medio de la función Out Port se puede manejar bit a bit el registro de Datos con dirección 888 en decimal:



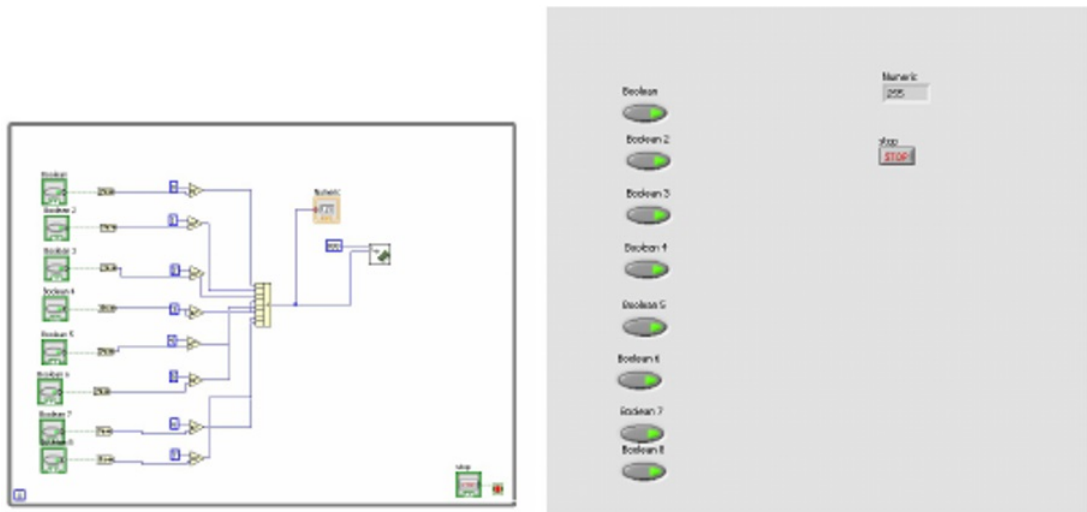


Figura 30: Programa en LabVIEW usando para el manejo del puerto paralelo para encender y apagar leds.

Este programa funciono correctamente y es de aclarar que el funcionamiento del puerto paralelo con LabVIEW fue exitoso, el siguiente paso a dar es la recolección de datos a través de LabVIEW, pero para esto ya hay que trabajar con protección para no dañar los puertos de los computadores ni tampoco la tarjeta de adquisición de datos. Para la protección se usó el integrado 74hc244N que es un buffer con 8 líneas que se adaptó perfectamente a los requisitos del proyecto:

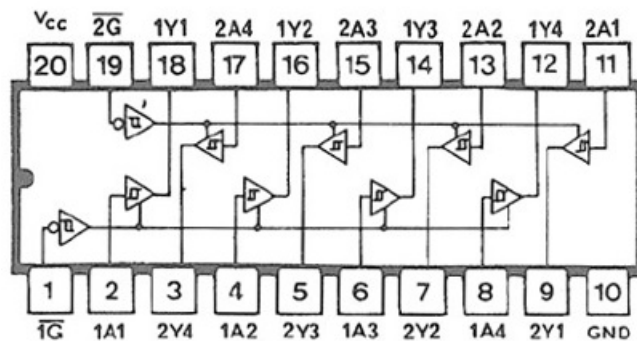


Figura 31: Repartición de pines del integrado 74HC244N.  
Tomado de: ([pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1617/MITSUBISHI/74LS244.html](http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1617/MITSUBISHI/74LS244.html))

Adquirir datos del kit de antenas por medio de un tercer PC que lea como se comunica el kit de antenas y el PC que registra todos los datos El programa

para la recolección de datos que se uso tiene la función In Port, con la dirección 889 en decimal se apunta al registro de estado que es solamente de entrada y gracias a una función repetitiva y un arreglo se puede guardar varios datos con un periodo de muestreo de 1 ms para probar, además tiene una función que permite guardar los resultados del arreglo en un archivo texto ubicado en una carpeta y con el nombre que se desee:

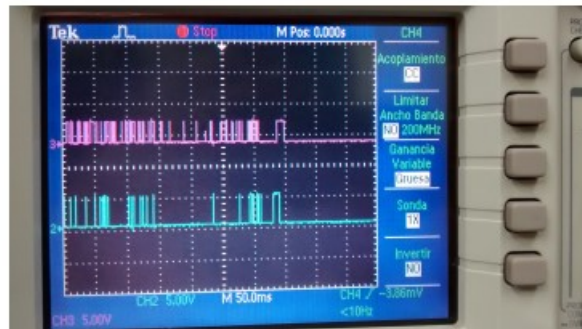


Figura 32: Estado de los bits d0 y d1 de los bits de estados.

De los datos obtenidos se puede analizar que la comunicación del computador y la tarjeta de adquisición de datos para la conexión es llevada a cabo por los 8 bits de datos y por los 5 bits de estado, donde hay un intercambio de señales entre las dos partes y en un periodo de 1.5 segundos se conecta la interfaz para la adquisición de datos con el programa LVDAM-ANT, y ya el usuario tiene la capacidad de accionar la toma de datos por parte del orientador de antena y a medida que va tomando los datos va graficando el patrón de radiación de la antena.

Para el análisis de estos datos fue necesario indagar sobre como adquirir datos, se implanto un circuito y por medio de LabVIEW se logro adquirir datos en un archivo .txt que fue de gran ayuda para conocer el proceso de envío y recepción de datos entre el computador y la interfaz de adquisición de datos.

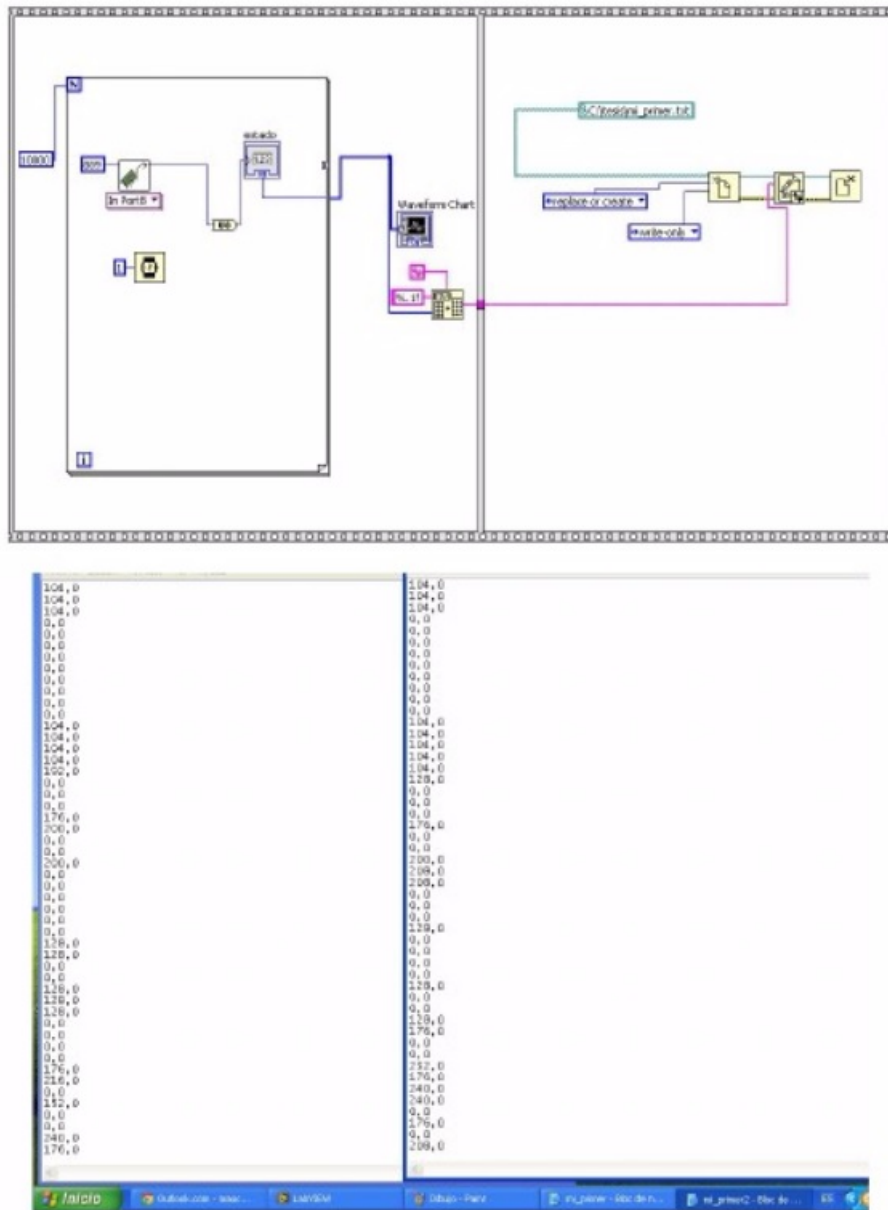
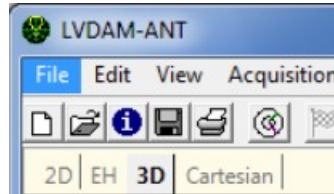


Figura 33: Programa realizado en LabVIEW para lectura del puerto. Archivo de texto obtenido con el programa realizado en LabVIEW.

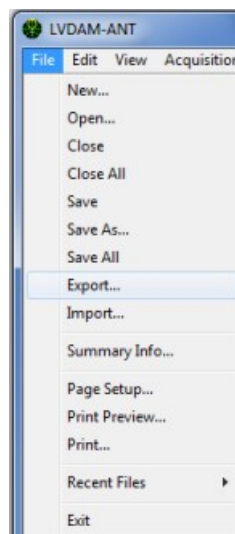
## 15.2. Exportar archivo .txt del programa LVDAM-ANT

Para poder usar los datos obtenidos de la interfaz para la adquisición de datos hay que exportarlos en un archivo .txt con una de las opciones que tiene el programa LVDAM-ANT, para esto hay que realizar los siguientes pasos:

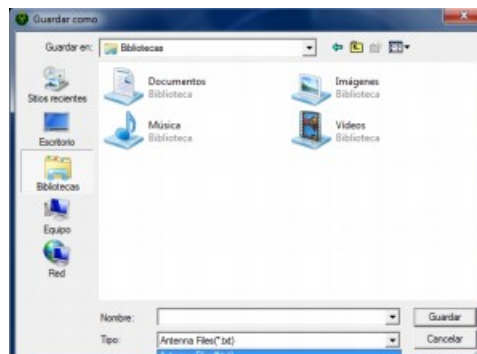
1. Después de realizar todo el proceso de adquisición de datos, se procede a ir al menú superior en la opción file.



2. Buscar la opción export.



3. Luego se selecciona el nombre y la ubicación del archivo.



## 15.3. DESARROLLO ANALÍTICO DEL SOFTWARE

### 15.3.1. Diagrama de flujo del programa

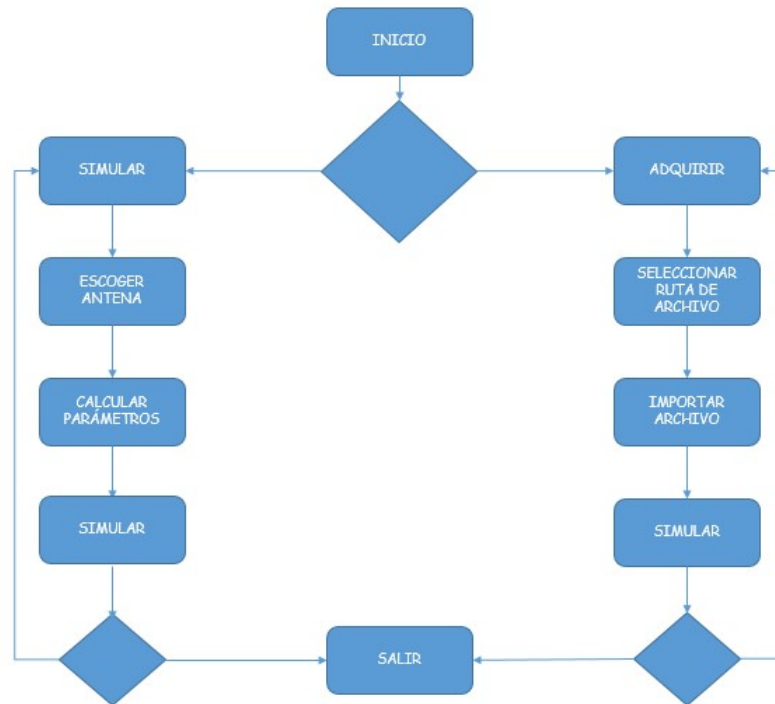


Figura 34: Secuencia para simular o adquirir datos.

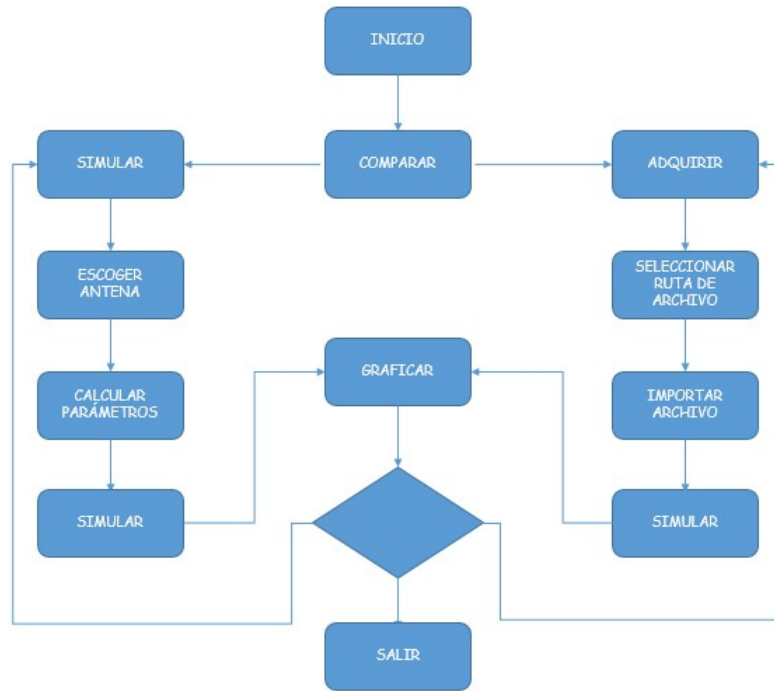


Figura 35: Secuencia para comparar datos.

## 15.4. DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para crear el software primero se creó un Windows Form en la plataforma Visual Studio:

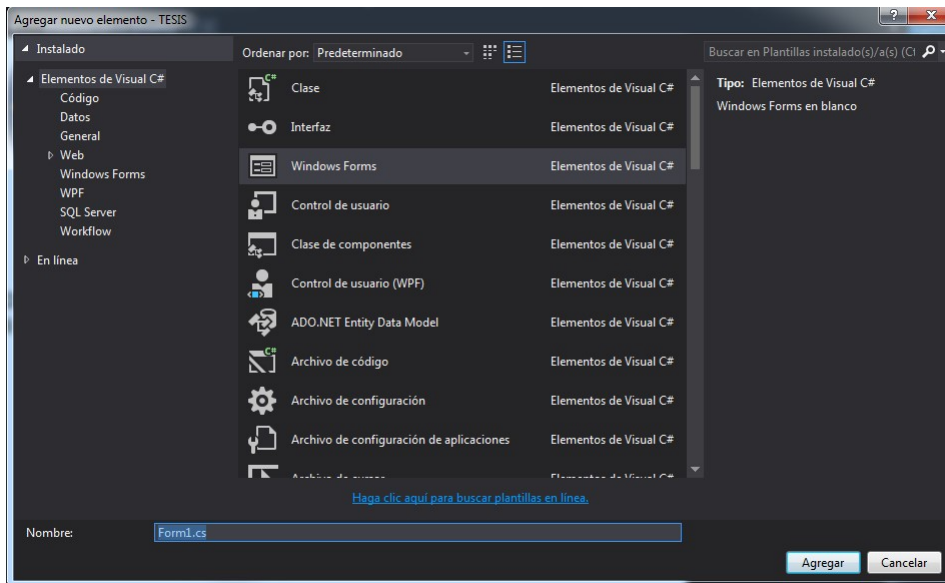


Figura 36: Menú Windows Studio.

Luego se le dio el nombre de presentación para que este fuera el formulario principal que se va abrir siempre de primero cada vez que se ejecute el software. El diseño que esta por defecto es el siguiente:

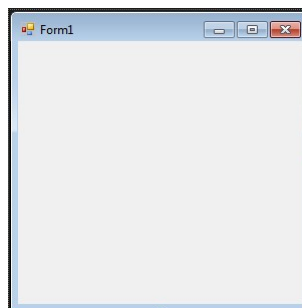


Figura 37: Diseño inicial del formulario.

Para quitar el borde del formulario hay que ir las propiedades y buscar la propiedad **FormBorderStyle** para luego darle el valor **None**, luego de esto se escoge de fondo del formulario la imagen que se desee en la propiedad **BackgroundImage**, quedando así el diseño preliminar del formulario:



Figura 38: Imagen de fondo formulario presentación. Logo universidad Santo Tomás

Tomado de: Logo universidad Santo Tomás (<http://www.rumbo.edu.co/>)

Luego se agregaron al formulario dos botones con dos distintas funciones, uno para continuar en el programa y otro para salir de este. A cada botón se le asignó en la propiedad **BackgroundImage** una imagen para que fuera más agradable el formulario:



Figura 39: Diseño formulario presentación.

Tomado de: Logo universidad Santo Tomás(<http://www.rumbo.edu.co/>)

Además de propiedades en el diseño de los distintos elementos se le puede asignar una función a cada elemento según el evento que ocurra en elemento, al cambiar el valor de la propiedad **FormBorderStyle** al valor **None** no permite al usuario mover la ventana del programa, por lo que hay que crear tres funciones y asignarlas a tres eventos del formulario:



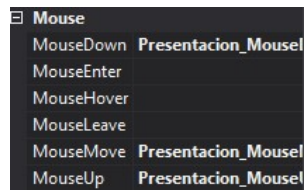


Figura 40: Menú eventos del formulario presentación.

```
//MOVER VENTANA
private void Presentacion_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
{
    if (mouseAction == true)
    {
        Location = new Point(Cursor.Position.X - formPosition.X, Cursor.Position.Y -
        formPosition.Y);
    }
}

private void Presentacion_MouseDown(object sender, MouseEventArgs e)
{
    formPosition = new Point(Cursor.Position.X - Location.X, Cursor.Position.Y -
    Location.Y);
    mouseAction = true;
}

private void Presentacion_MouseUp(object sender, MouseEventArgs e)
{
    mouseAction = false;
}
```

Estas funciones permiten al programa determinar la posición del mouse sobre la ventana y en el caso de hacer click ,mantenerlo sobre el formulario y mover el mouse se va a mover el formulario junto con el mouse y cuando deje de presionar el botón del mouse el formulario va a quedar donde el usuario lo dejó.

Cada botón del formulario principal va a tener tres funciones asignadas a tres eventos distintos, una para el evento en que el mouse pase sobre el botón, otra para cuando el mouse este afuera del botón y una cuando se haga click en el botón:

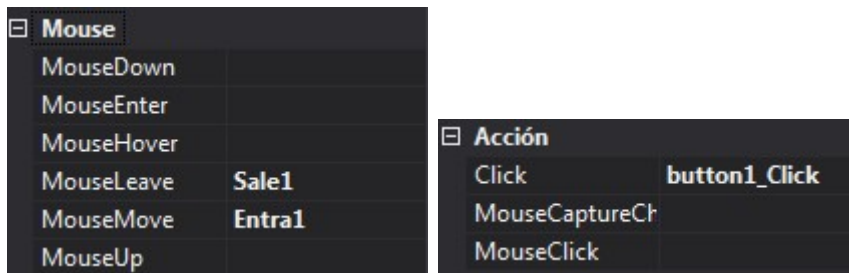


Figura 41: Menú eventos botón entrar.

```

// BOTON ENTRAR
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    menu frm1 = new menu ();
    frm1.Show();
    this.Hide();
}
// BOTON SALIR
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SALIR frm1 = new SALIR();
    frm1.ShowDialog();
}
//IMAGEN BOTON SALIR
private void Entra(object sender, MouseEventArgs e)
{
    button2.BackgroundImage = TESIS.Properties.Resources.salir2;
}
private void Sale(object sender, EventArgs e)
{
    button2.BackgroundImage = TESIS.Properties.Resources.salir1;
}
//IMAGEN BOTON ENTRAR
private void Entra1(object sender, MouseEventArgs e)
{
    button1.BackgroundImage = TESIS.Properties.Resources.boton_entrar2;
}
private void Sale1(object sender, EventArgs e)
{
    button1.BackgroundImage = TESIS.Properties.Resources.boton_entrar;
}

```

Ya definidos los eventos y el nombre de la función el programa creará estas funciones, luego en la función del evento **MouseMove** llamada **Entra1** va a cambiar la propiedad del botón **BackgroundImage** a una imagen del botón expandida llamada **boton\_entrar2**, la función del evento **MouseLeave** llamada **Sale1** va a volver a cambiar la propiedad del botón **BackgroundImage**

a la imagen que tenía en un principio llamada **boton\_entrar** y por último la función del evento **Click** llamada **button1\_Click** va a abrir el siguiente formulario y a esconder el formulario principal, este procedimiento se repite para los dos botones solo que en el botón de salir la función del evento **Click** va a abrir un pequeño formulario encima del principal para que el usuario confirme si de verdad desea salir del programa.

- Para el botón de salir las dos imágenes que va a tener una en caso de tener el mouse encima y la otra cuando está fuera de él.



Figura 42: Imágenes asignadas al botón salir.

- Para el botón de entrar las dos imágenes que va a tener una en caso de tener el mouse encima y la otra cuando está fuera de él.



Figura 43: Imágenes asignadas al botón entrar.

Para el evento de oprimir el botón de salir se creó un nuevo formulario que va a emerger encima de todas las ventanas en la pantalla y va a pedir confirmar salir o cancelar, hasta que no se oprima alguna de las opciones el usuario no puede interactuar con el programa, esto se logra abriendo el formulario con un **ShowDialog()**.

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SALIR frm1 = new SALIR();
    frm1.ShowDialog();
}
```

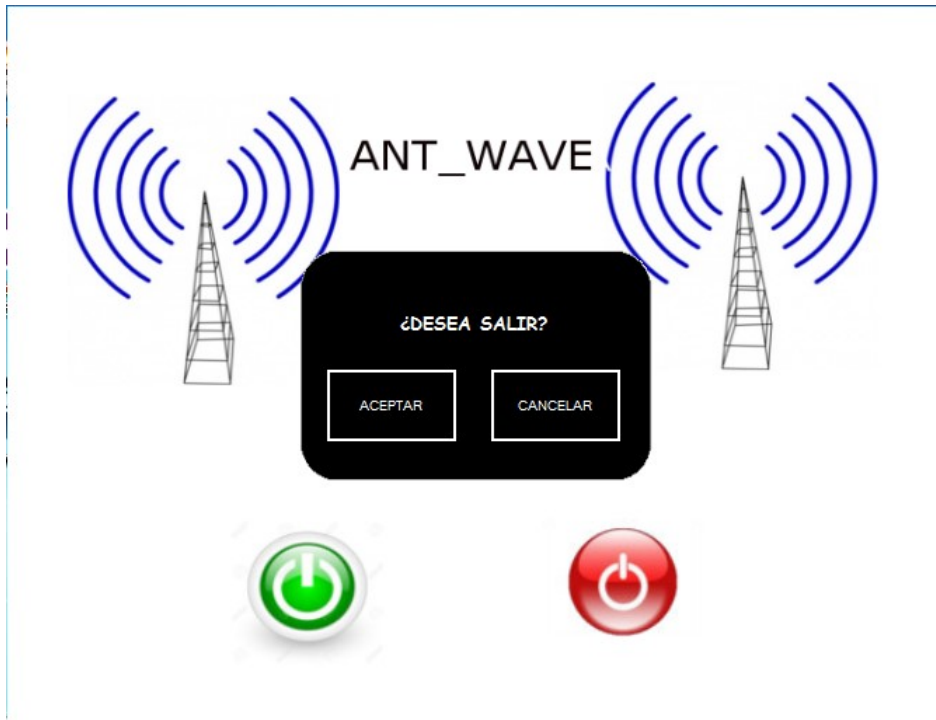


Figura 44: Formulario salir. [10]

Este nuevo formulario tiene dos botones, cuando se oprime aceptar se cierra el programa y si se oprime cancelar se devuelve a la ventana donde se estaba anteriormente.



Figura 45: Diseño formulario salir.

```

//Botones Aceptar y Cancelar
private void SI_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Application.Exit();
}

private void NO_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Close();
}

```

Para el caso de oprimir el botón entrar se abre un nuevo formulario con el menú principal.



Figura 46: Diseño formulario menú principal.

Este nuevo formulario se llama **menú** y al igual que los anteriores se le carga un fondo y también a los cuatro botones, además tiene dos botones con las funciones de volver a la presentación y de salir. Los botones tienen la misma función de cambiar la imagen cuando el mouse pasa sobre él.

- Botón volver.



- Botón salir.



- Botones del menú.



Los botones del menú tienen en el evento **Click** la función de abrir un nuevo formulario diferente para cada botón.

#### 15.4.1. Simular

Para el botón simular del menú principal el formulario asignado se llama simulación.



Figura 47: Diseño formulario Simulación.

Este formulario permite al usuario simular dos tipos de antenas, las que trabajan con una frecuencia de 1Ghz y 10Ghz.

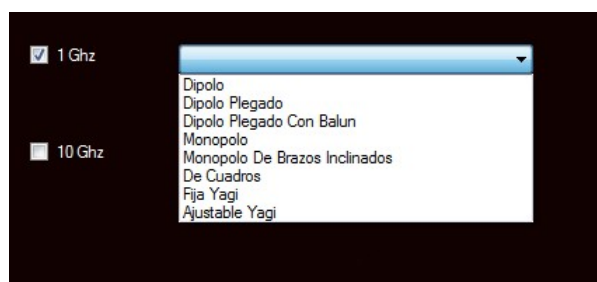


Figura 48: Menú desplegable para antenas de 1Ghz.

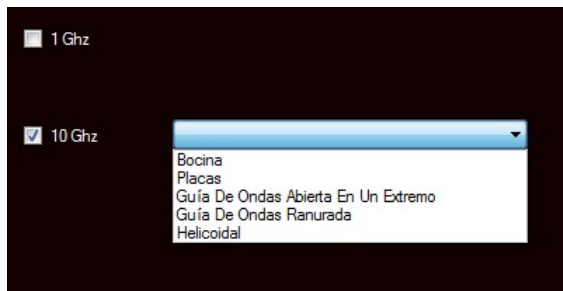


Figura 49: Menú desplegable para antenas de 10Ghz.

Para que la lista de antenas sea visible cuando se seleccione la frecuencia en cada caso se utilizó una función para el evento **CheckedStateChanged**, la cual se activa cuando se selecciona el botón y se encarga de hacer visible la lista de antenas con la propiedad **Visible** y desactiva la otra opción con la propiedad **Checked**.

```
//Habilitar y Deshabilitar ChecBox
private void S_uno_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (S_uno.Checked==true)
    {
        S_diez.Checked = false;
        BOXDIEZ.Visible = false;
        BOXUNO.Visible = true;
    }
}

private void S_diez_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (S_diez.Checked == true)
    {
        S_uno.Checked= false;
        BOXUNO.Visible = false;
        BOXDIEZ.Visible = true;
    }
}
```

Después de seleccionado el tipo de antena aparecerá un panel con los parámetros necesarios para simular la antena, donde el usuario debe ingresar estos parámetros, al mismo tiempo será visible un botón para graficar, este botón tiene una función para el evento **Click** la cual se encarga de tomar los parámetros de la antena y según esto graficarlos en dos tipos de graficas: polar y cartesiana, además mostrara una tabla con los datos obtenidos.

Para el caso de un Dipolo se obtienen los datos del panel, luego se aplica

la fórmula de este y por último se gráfica y se plasman los resultados en una tabla.

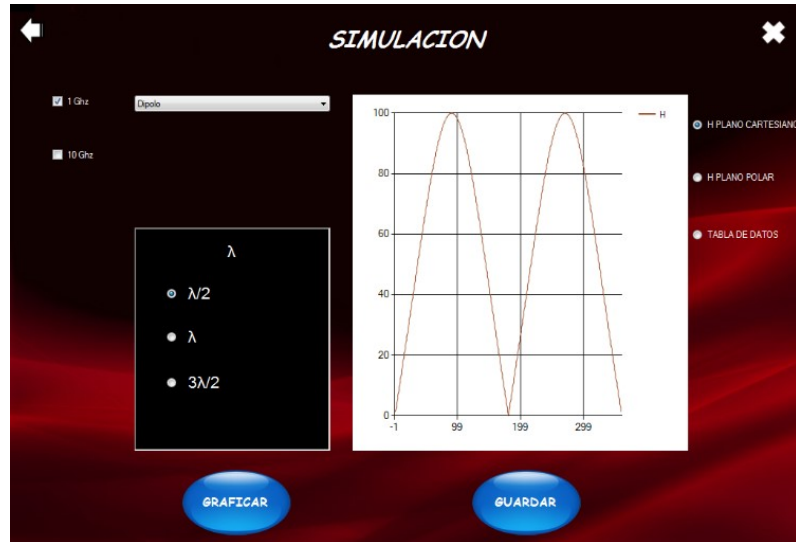


Figura 50: Diseño formulario Simulación con grafica cartesiana.



Figura 51: Diseño Formulario Simulación con grafica polar.



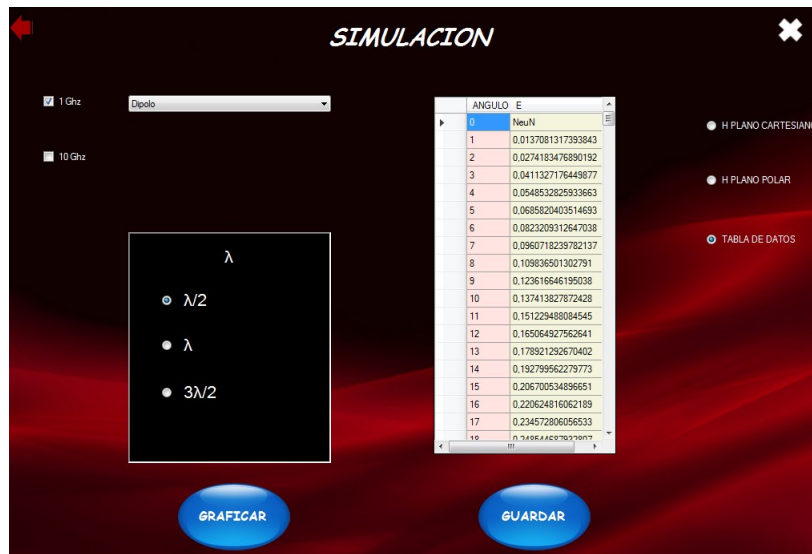


Figura 52: Diseño formulario simulación con tabla de datos.

```

//preguntar antena
    if (BOXUNO.Text=="Dipolo")
    {
        if(medio.Checked==true)
        {
            L = l/2;
        }
        else
        if (uno.Checked == true)
        {
            L = l;
        }
        else
        if (tresm.Checked == true)
        {
            L = 3*l/2;
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("NO SELECCIONO LAMBDA", "ERROR", MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Hand);
            L = 0;
        }
    }
//formula dipolo
    double b = (2 * Math.PI) / l;
    double[] teta = new double[360],E = new double[360], teta2 = new double[360];

    for(int i=0;i <360;i++)
    {
        teta[i] = i*Math.PI/180;
        teta2[i] = i;
    }
    TABLE.Rows.Clear();
    TABLE.Refresh();
    string E2,angulo;
    int n;
    for (int i=0; i < 360;i++)
    {
        E[i]=100* Math.Abs((Math.Cos(b * L / 2 * Math.Cos(teta[i]))-
        Math.Cos(b*L/2))/(Math.Sin(teta[i])));
        E2= (E[i]/100).ToString();
        angulo = teta2[i].ToString();
        //TABLA
        n = TABLE.Rows.Add();
        TABLE.Rows[n].Cells[1].Value = E2;
        TABLE.Rows[n].Cells[0].Value = angulo;
    }
    //grafica polar
    GRAFIC.Series["H"].ChartType = System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Se-
    riesChartType.Polar;
    GRAFIC.Series["H"].Points.DataBindXY(teta2,E);
    // GRAFICAS CARTESIANA
    GRAFIC2.Series["H"].ChartType = System.Windows.Forms.DataVisualization.Chart-
    ing.SeriesChartType.FastLine;
    GRAFIC2.Series["H"].Points.DataBindXY(teta2, E);
}

```

Después de graficar aparecerá la posibilidad de guardar los resultados en formato JPG para las imágenes y en libro de Excel para la tabla, esto se hace con la función **SaveFileDialog** en la cual se especifica la extensión del archivo y después que el usuario escoja el lugar donde desea guardar el archivo esta función entrega la dirección en una variable **String** llamada **guarda.FileName** con la cual se va a guardar el archivo posteriormente.

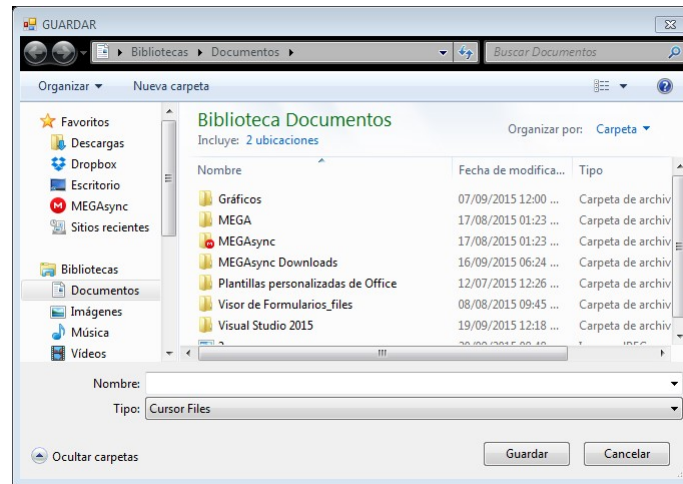


Figura 53: Ventana de dialogo para guardar archivos.

```
SaveFileDialog guarda = new SaveFileDialog();
guarda.Filter = "Cursor Files|.jpg";
guarda.Title = "GUARDAR";

if (guarda.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    this.GRAFIC2.SaveImage(guarda.FileName,
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.ChartImageFormat.Jpeg);
    MessageBox.Show("GUARDADO CORRECTAMENTE", "",
    MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
}
```

Para simular las distintas antenas que proporciona el kit de antenas de la Universidad Santo Tomas primero se consiguió las fórmulas para poder graficar los patrones de radiación. Para el caso del dipolo la fórmula es la siguiente:

$$\frac{\cos\left(\left(\frac{\beta * L}{2}\right) * \cos(\theta) - \cos\left(\frac{\beta * L}{2}\right)\right)}{\text{sen}(\theta)} \quad (13)$$

Ya con la formula hay que darle valores a  $\theta$  para poder graficar los datos resultantes :

```
double[] teta = new double[360],E = new double[360], teta2 = new double[360];

for(int i=0;i <360;i++)
{
    teta[i] = i*Math.PI/180;
    teta2[i] = i;
}
```

Como se ve en el código anterior se inicializan dos arreglos de tipo **DOUBLE** con 360 posiciones inicialmente vacíos uno para grados y el otro para radianes, luego con un **FOR** se llenan todas las posiciones desde 0 a 359 con los ángulos correspondientes. Al tener el arreglo de los ángulos se procede a utilizar la fórmula del dipolo.

```
for (int i=0; i < 360;i++)
{
    E[i] =Math.Abs((Math.Cos(b * L / 2 *Math.Cos(teta[i]))-
    Math.Cos(b*L/2))/(Math.Sin(teta[i])));
}
```

Con este código se pretende encontrar valor por valor para los 360 casos, con un **FOR** que se repite 360 veces tomando cada ángulo y guardando el valor en una posición específica dentro de un arreglo que luego va a ser usado para graficar el resultado. Para graficar primero hay que agregar al formulario un elemento llamado **CHART**.

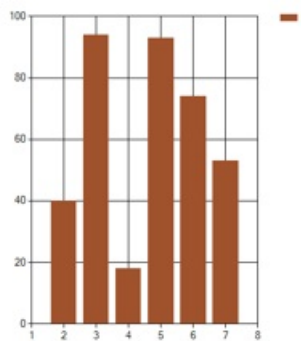


Figura. Elemento Chart

Figura 54: Elemento Chart.

Luego se agrega una serie para poder graficar una función, para poder por medio de programa agregar el tipo de grafica que se desea utilizar y también los datos a graficar.

```

//grafica polar
GRAFIC.Series["H"].ChartType =System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChart-
Type.Polar;
GRAFIC.Series["H"].Points.DataBindXY(teta2,E);

// GRAFICAS CARTESIANA
GRAFIC2.Series["H"].ChartType=System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChart-
Type.FastLine;
GRAFIC2.Series["H"].Points.DataBindXY(teta2, E);

```

Este proceso se repite para todos los casos de antenas, lo que cambia en algunos son los datos que se piden que ingrese el usuario para poder simular el caso deseado, para esto se agrega un **TextBox** en el que el usuario ingresa el dato numérico, para evitar errores al ingresar valores distintos a números se evalúa antes el dato y luego se procesa convirtiéndolo en una variable **DOUBLE**, en caso de ingresar un valor erróneo el programa generara un ventana de error.

```

//comprobar si el dato es un numero
bool result = Double.TryParse(lambda2.Text, out L);

if (result == true)
{
    L = Convert.ToDouble(lambda2.Text);
}
else
{
    MessageBox.Show("VALORES NO VALIDOS", "ERROR", Message-
    BoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Hand);
    L = 0;
}

```

#### 15.4.2. Adquirir

Este formulario se abrirá si en el menú principal se oprime el botón Adquirir.

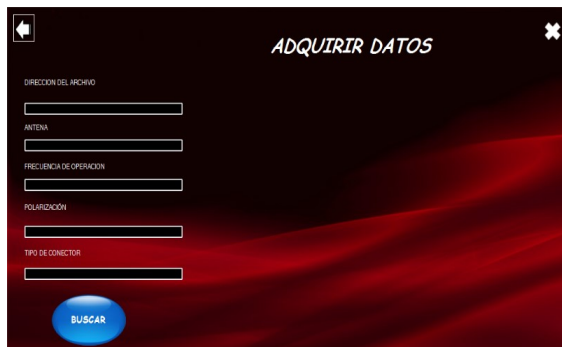


Figura 55: Diseño formulario Adquirir datos.

Para realizar este formulario primero se tuvo que identificar el tipo de archivo con el que se va a trabajar. El archivo obtenido de LVDAM-ANT es un archivo.txt que distribuye los datos de la siguiente forma:

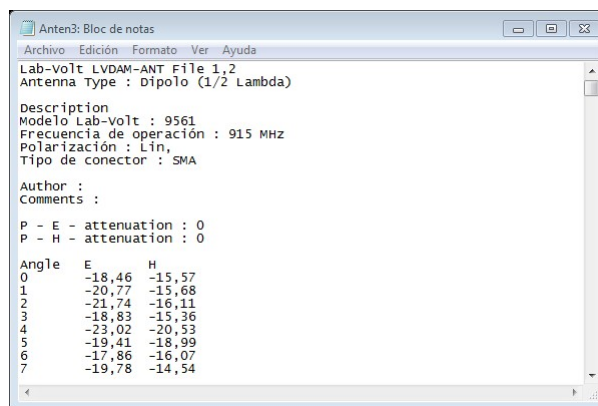


Figura 56: Archivo .txt exportado por LVDAM-ANT.

Para abrir este archivo y adquirir los datos se utilizó **OpenFileDialog** que devuelve la dirección del archivo para luego poder abrirlo con **File.ReadAllText** y poder graficar los datos.

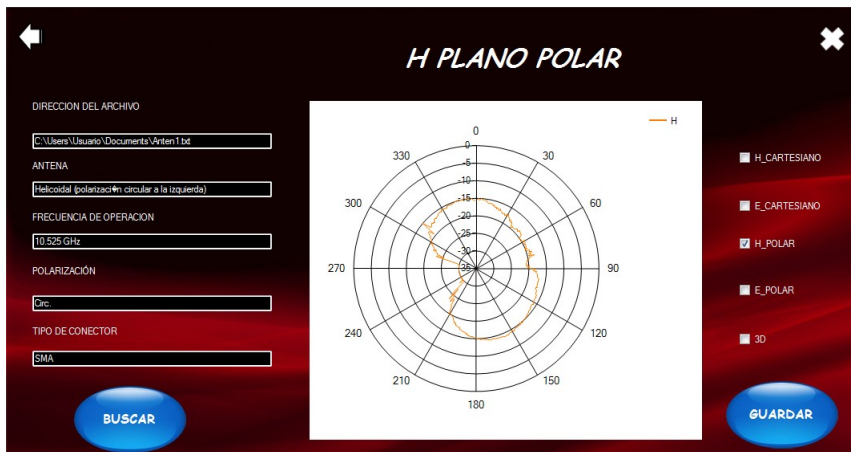


Figura 57: Formulario adquirir con grafica polar.

```

OpenFileDialog Archivo = new OpenFileDialog();
Archivo.Filter = "Cursor Files|.txt";
Archivo.Title = "ESCOJA EL ARCHIVO";

if (Archivo.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    //INPORTAR ARCHIVO TEXTO

    DIRECCION.Text = Archivo.FileName;
    contenido = File.ReadAllText(Archivo.FileName);
    string[] lineas = contenido.Split();
}

```

Además de los datos para graficar también se obtienen las propiedades de la antena como la frecuencia, polarización y tipo de conector. Al igual que en la anterior venta está la posibilidad de guardar las imágenes en formato JPG.

### 15.4.3. Comparar



Figura 58: Diseño formulario comparar.

En este formulario se combinaron los dos formularios anteriores para que el usuario pudiera notar las diferencias entre los valores teóricos y los experimentales. Tiene las mismas funciones de escoger la antena para simularla y luego se escoge el archivo .txt del programa LVDAM-ANT para poder ver las dos graficas en una sola imagen y también tiene la opción de guardar las imágenes.



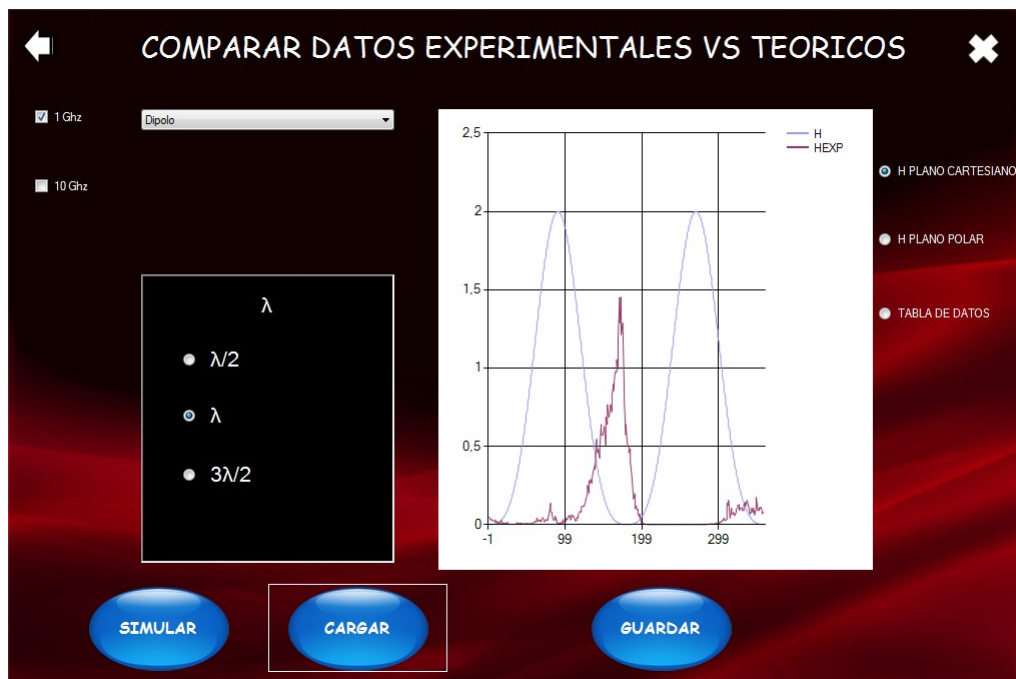


Figura 59: Formulario Comparar con grafica cartesiana de los valores teóricos y experimentales.

#### 15.4.4. Información



Figura 60: Diseño formulario información.

Este formulario permite al usuario leer varios PDF acerca de las antenas, todos los archivos estarán dentro de la carpeta del programa, en el menú desplegable está la lista de los archivos en los que puede basarse el usuario para mejorar la experiencia en su práctica.

Cada PDF como ya se mencionó está dentro de la carpeta de recursos del

programa por lo que se puede hacer usos de ellos desde cualquier computador, además el programa cuenta con un visor de archivos PDF para que se puedan ver dentro de la interfaz gráfica del programa.

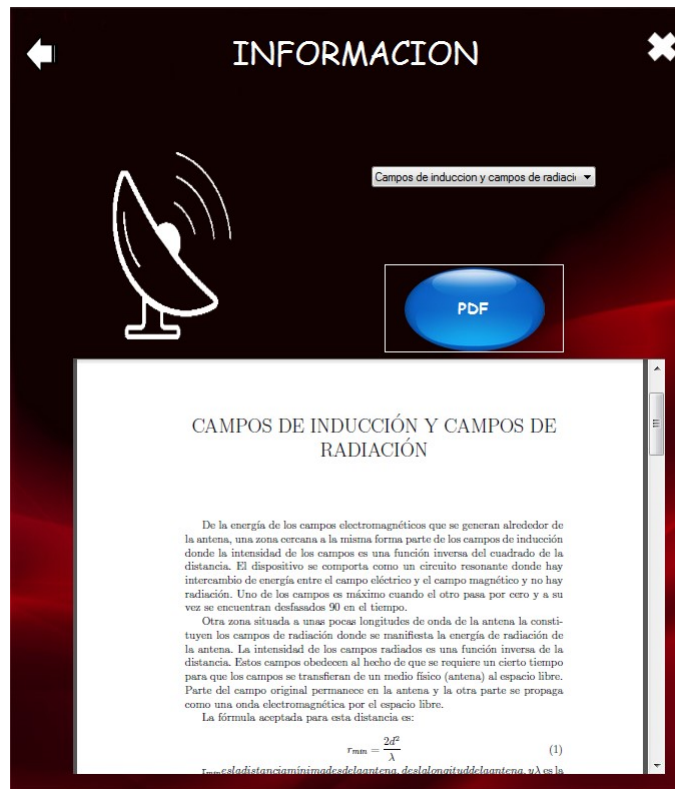


Figura 61: Formulario información visualizando PDF dentro de la interfaz gráfica.

Información que se encuentra en este formulario sobre antenas:

- Directividad y Ganancia
- Diagrama de radiación o patrón de radiación
- Ancho del haz
- Impedancia de entrada
- Eficiencia de la antena
- Polarización
- Campos de Inducción de Radiación
- Longitud eléctrica y longitud física

- Ancho de Banda
- Intensidad de Campo
- Relación frente detrás

El software desplegara una ventana con cada uno de los PDF mencionados anteriormente los cuales podra el usuario acceder a ellos en indagar mas sobre antenas.

## 16. CONCLUSIONES

La comunicaciones en el mundo actual son de gran importancia, el mundo gira entorno a ellas. Han ido evolucionando directamente proporcional a las necesidades de la sociedad y el simple hecho de usar la palabra comunicación implica hablar de sociedad. La evolución de las comunicaciones abarca desde un simple telegrafo hasta un enlace satelital, sucesos que hacen parte de la historia de la humanidad y que lleva al hombro el surgimiento de un mundo globalizado. La antena como célula de las comunicaciones inalambricas realizo un cambio radical en las comunicaciones permitiendo enlazar a todas las personas en un globo de información que cada vez va creciendo y creciendo. De esta manera el estudio en las antenas tiene que seguir avanzando en acomodo a las necesidades de la sociedad y de forma positiva a esta.

Como futuros ingenieros y en pro del avance tecnológico, se realiza este proyecto y como consecuencia implica ayudar a la comunidad académica de la universidad Santo Tomás de la facultad de ingeniería electrónica e ingeniería de telecomunicaciones seguir dando pasos en el estudio en el área de las comunicaciones. Lo que implica desarrollar carácter científico a los futuros ingenieros de la universidad Santo Tomás y poder ayudar al país con ingenieros capaces de enfrentar cualquier problema que se plantee y siguiendo la parte humanista con la que se enfoca la educación de la universidad se realiza este proyecto el cual no presenta una afectación negativa a la sociedad que al contrario vela por ser un recurso que promueva a usuario que lo use avanzar en el estudio de las antenas e incentivar la investigación.

Como se plantea en este trabajo, se desarrollo un software que introduce a las personas implicadas al mundo de las antenas, desde la parte teórica hasta la practica haciendo uso de los equipos y los laboratorios de electrónica de la universidad Santo Tomás y por ende involucrar a la comunidad académica de la facultad de ingeniería electrónica y ingeniería de telecomunicaciones en el estudio de estas. De aquí también nace la finalidad de poder futura mente crear un futuro semillero en el área de las comunicaciones en la facultad de ingenieria electrónica.

Este software tiene la funcionalidad de ayudar en el aula de clase o en practicas libres a los estudiantes para estudiar las antenas por medio de una interfaz gráfica fácil de usar y que se acomoda a varios temas sobre las antenas. Este software permite al usuario poder ampliar las posibilidades en sus prácticas con antenas gracias a que permite de adquirir datos del kit de antenas de Lab-Volt para poder graficarlos y compararlos con simulaciones ideales de estas mismas antenas, además permite exportar los datos de las simulaciones para que se puedan trabajar en otros programas o para agregar imágenes a

informes sobre la práctica de laboratorio. Por otro lado la universidad no cuenta con una cámara anecoica que permita tomar datos precisos con el kit de antenas, con lo cual el software permite ver de forma ideal el comportamiento de diferentes antenas. Esto a futuro tal vez promueva a que se implemente una cámara anecoica en los laboratorios de electrónica y telecomunicaciones de la universidad Santo Tomás.

El software tiene una interfaz gráfica agradable que permite a cualquier tipo de estudiante usarlo para sus prácticas de laboratorio, además incluye un manual para facilitar más su uso, este manual incluye detalladamente las funciones que proporciona el programa con ayuda gráfica para que no queden dudas de su uso, aunque este software está dirigido a estudiantes de ingeniería que vean materias relacionadas con comunicaciones puede ser usado por cualquier tipo de persona que desee entender sobre el patrón de radiación de antenas.

También el software desarrollado permite indagar en conceptos específicos sobre antenas con introducción a definiciones generales, específicas e imágenes que permite crear una idea clara del concepto y seguir adelante en el estudio de las antenas. Además permite simular varias antenas a diferentes frecuencias. Comparar resultados prácticos con teóricos en plano cartesiano y en plano polar, observar datos obtenidos, es amigable ante el usuario para que no hayan inconvenientes al momento de usar el software. Se desarrollo el software en una plataforma que tiene licencia libre y que puede ser ejecutado en cualquier sistema operativo de 32 y 64 bits.

## Referencias

- [1] <http://standards.ieee.org/findstds/standard/145-1983.html>).
- [2] <http://mary-cristy-sanchez-estrada.webnode.mx/images/200000017-15e1016db8-public/operador-de-telegrafo.jpg>
- [3] <https://radiosenminiatura.files.wordpress.com/2013/12/marconi-22ac3b1os-e1385885326430.png?w=640>
- [4] <http://museoradiobenejuzar.com/wp-content/uploads/2011/07/historia-de-la-radio-cabecera.png>
- [5] Jaume Anguera, Antonio Pérez, .*TEORÍA DE ANTENAS, Guía de estudio. 2008.*
- [6] <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- [7] <http://www1.labvolt.com/publications/datasheets/current2/dse8092.pdf>
- [8] <http://puerto-paralelo-db25.blogspot.com/>
- [9] <pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1617/MITSUBISHI/74LS244.html>
- [10] Corina Schmelkes y Nora Elizondo, [http://es.clipartlogo.com/image/television-antenna-clip-art\\_431156.html](http://es.clipartlogo.com/image/television-antenna-clip-art_431156.html).
- [11] Wayne Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas* .
- [12] Universitat de València, *Fundamentos y electrónica de las comunicaciones* .
- [13] Enrique Herrera Pérez, *Tecnologías y redes de transmisión de datos* .
- [14] C. Balanis, *Teoría de Antenas análisis y Diseño, 2da Edición* .
- [15] Matthew N. O. Sadiku, *Elementos de Electromagnetismo, 3ra Edición* .
- [16] Ángel Cardama?Aznar, *Antenas*.
- [17] Enrique Herrera Pérez , *Tecnologías y redes de transmisión de datos* .
- [18] Enrique Herrera Pérez , *Tecnologías y redes de transmisión de datos* .
- [19] Hayt y Buck, *Teoría electromagnética, 7ma Edición*.
- [20] *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Wayne Tomasi*
- [21] *Antennas. John D. Kraus*
- [22] *Técnica de las Comunicaciones Eléctricas. Hans Fricke, Kurt Lamberts*

- [23] *Antennas. John D. Kraus*
- [24] *Ingeniería Electrónica y de Radio. Frederick Emmons Terman*
- [25] *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Wayne Tomasi*
- [26] Corina Schmelkes y Nora Elizondo, *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación (tesis).*

## **17. ANEXOS**

**17.1. ANEXOS 1 "MANUAL DEL SOFTWARE"**

**17.2. ANEXOS 2 CD CON EL INSTALADOR DEL SOFTWARE"**