

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica

Desarrollo de un programa que permita medir, por medio de los dispositivos USRP de National Instruments, la calidad de la señal de radio emitida por módulos de radiofrecuencia durante el primer cuatrimestre del 2017

Eric Valderrama Arce

Marzo 2017

Tabla de contenidos

Capítulo I. Planteamiento del Problema	7
1.1 Introducción al tema del proyecto	8
1.2 Antecedentes del contexto de la empresa.....	9
1.3 Definición del problema	12
1.4 Justificación del proyecto	12
1.5 Objetivo general y específicos.....	13
1.5.1 Objetivo General	13
1.5.2 Objetivos Específicos	13
1.6 Alcances y limitaciones.....	14
1.6.1 Alcances.....	14
1.6.2 Limitaciones.....	14
Capítulo II. Marco Teórico	16
2.1 Marco Conceptual General.....	17
2.1.1 Campo Electromagnético	17
2.1.2 Ley de Gauss para la Electricidad	19
2.1.3 Ley de Gauss para el Magnetismo.....	19
2.1.4 Ley de Faraday para la Inducción	19
2.1.5 Ley de Ampère.....	20
2.1.6 Campos Magnéticos	20
2.1.7 Antenas.....	20
2.1.8 Radio Definida por Software	25
2.1.9 Universal Software Radio Peripheral.....	26
2.1.10 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.....	27
2.1.11 LabVIEW for Communications System Design	31
2.2 Características del Equipo de Hardware	32
2.2.1 Universal Software Radio Peripheral 2920.....	32
2.2.2 Antena VERT-2450.....	35
2.2.3 Emisores de Radiofrecuencia	35
2.2.3.1 Control Remoto Daedong SL13MY-TP (KIA)	36
2.2.3.2 Control Remoto TRW GQ43VT14T (Toyota).....	37
2.2.4 Manejador de USRP.....	37

2.3	Antecedentes de Proyectos.....	38
Capítulo III. Marco Metodológico.....		39
3.1	Enfoque de la Investigación.....	40
3.2	Tipo de la Investigación	40
3.3	Diseño Metodológico	41
3.4	Fuentes de Información.....	41
3.4.1	Fuentes Primarias	41
3.4.2	Fuentes Secundarias.....	42
3.5	Recolección de Datos	42
Capítulo IV. Diagnóstico		43
4.1	Determinar la Situación Actual.....	44
4.2	Recolección de Datos	45
Capítulo V. Diseño y Desarrollo del Proyecto.....		51
5.1	Desarrollo del Programa con las Especificaciones Requeridas	52
5.1.1	Bloque de Envío de la Señal.....	53
5.1.2	Bloque de Recepción de la Señal.....	55
5.1.3	Bloque de Lectura de la Señal	59
5.1.4	Bloque de Análisis de la Señal	61
5.1.5	Bloque Mostrar Datos Esenciales	70
5.1.6	Bloque de Almacenamiento de Datos.....	72
5.1.7	Bloque Finalización y Preparación de Siguiente Ejecución	75
5.1.8	Diagrama de Programa Completo.....	76
5.2	Integración de los Componentes.....	78
5.3	Evaluación Costo-Beneficio	80
5.4	Creación del Manual de Usuario del Sistema.....	81
5.5	Análisis de Resultados	81
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones		90
6.1	Conclusiones.....	91
6.2	Recomendaciones	93
Bibliografía.....		95
Anexo I. Manual de Usuario		96
Anexo II. Entrevista con el Encargado de Mercadeo.....		104
Anexo III. Requerimientos Iniciales		109

Anexo IV. Cotizaciones Virtuales de los Instrumentos	111
Anexo V. Código de Regulaciones Federales del FCC, Título 47, Parte 15, Sección 15.231	113
Anexo VI. Carta de Aceptación	119

Índice de Figuras

FIGURA 1. PATRONES DE RADIACIÓN (A) PATRÓN DE ELEVACIÓN (B) PATRÓN DE AZIMUTH (C) PATRÓN DE RADIACIÓN TRIDIMENSIONAL.	22
FIGURA 2. ANTENA YAGI.....	23
FIGURA 3. PATRÓN DE ELEVACIÓN DE ANTENA PARABÓLICA.....	25
FIGURA 4. AMBIENTE DE PROGRAMACIÓN EN BLOQUES DE LABVIEW.	28
FIGURA 5. PANEL FRONTAL DE LABVIEW.	29
FIGURA 6. PALETA DE CONTROLES E INDICADORES PARA EL PANEL FRONTAL Y EL DIAGRAMA DE BLOQUES. ..	30
FIGURA 7. PANTALLA COMPLETA DE LABVIEW EN EL DIAGRAMA DE BLOQUES.....	31
FIGURA 8. USRP 2920.	33
FIGURA 9. FUNCIONAMIENTO DEL USRP 2920 (BLOQUES).	34
FIGURA 10. ANTENA VERT 2450.	35
FIGURA 11. CONTROL SL13MY-TP.	36
FIGURA 12. CONTROL TRW GQ43VT14T.....	37
FIGURA 13. DIAGRAMA DEL PROCESO DE ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL.....	47
FIGURA 14. OPCIONES DEL MENÚ PARA OPCIONES DEL CONTROL.	53
FIGURA 15. OPCIONES ESTABLECIDAS PARA CONTROL TOYOTA.	54
FIGURA 16. OPCIONES ESTABLECIDAS PARA CONTROL KIA.	54
FIGURA 17. VI PARA ABRIR SESIÓN DE USRP.	55
FIGURA 18. CAMPO DE NOMBRE DE LA UNIDAD.	56
FIGURA 19. VI PARA CONFIGURAR LA ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL.....	57
FIGURA 20. VI DE INICIO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	58
FIGURA 21. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA.	59
FIGURA 22. REPRESENTACIÓN DE UN CICLO WHILE EN LABVIEW.....	60
FIGURA 23. VI FETCH DE LECTURA..	60
FIGURA 24. GRÁFICO EN PANEL FRONTAL PARA LA SEÑAL EN EL TIEMPO.....	62
FIGURA 25. VI " AMPLITUDE AND PHASE SPECTRUM".	63
FIGURA 26. GRÁFICO EN PANEL FRONTAL DE LA MAGNITUD DE FRECUENCIA.	63
FIGURA 27. VI POWER SPECTRUM FOR 1 CHAN (DCB).....	64
FIGURA 28. GRÁFICO DE ESPECTRO DE FRECUENCIA.	65
FIGURA 29. DIAGRAMA DE BLOQUES, CONFIGURACIÓN Y LECTURA Y DESCOMPOSICIÓN DE SEÑAL..	66
FIGURA 30. NODO DE PROPIEDAD PARA VI POWER SPECTRUM FOR 1 CHAN (DCB).	66
FIGURA 31. CABLEADO DEL VI DE ORIGEN AL NODO DE PROPIEDAD	67
FIGURA 32 EXTRACTO DE DIAGRAMA DE BLOQUES, NODO DE PROPIEDAD Y PEAK DETECTOR VI..	67
FIGURA 33. VI PEAK DETECTOR.	68
FIGURA 34. CONJUNTO DE FUNCIONES PARA OBTENER EL PICO DE POTENCIA.	69
FIGURA 35. CONJUNTO DE OPERACIONES PARA CALCULAR FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y DESFASE..	70
FIGURA 36. OPERACIÓN PARA MOSTRAR LECTURA VALIDA	71
FIGURA 37. VALORES DE SELECCIÓN SI NO HAY LECTURA VÁLIDA.	71
FIGURA 38. BLOQUE PARA SALVAR ARCHIVO.....	72
FIGURA 39. CASO FALSO PARA SELECCIÓN DE ESCRITURA DE ARCHIVO.....	73
FIGURA 40. VI PARA CREAR ARREGLOS DE ELEMENTOS.	73
FIGURA 41. WRITE TO SPREADSHEET FILE VI.....	74
FIGURA 42. BLOQUE DE ESCRITURA A ARCHIVO.	75
FIGURA 43. OPCIONES PARA DETENER LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.....	75
FIGURA 44. INSTRUMENTOS PARA CIERRE DE SESIÓN.....	76

FIGURA 45. PARTE (A) DEL PROGRAMA.	76
FIGURA 46. PARTE (B) DEL PROGRAMA.	77
FIGURA 47. PARTE (C) DEL PROGRAMA.	77
FIGURA 48. PARTE (D) DEL PROGRAMA.	78
FIGURA 49. PARTE (E) DEL PROGRAMA.	78
FIGURA 50. SISTEMA ENSAMBLADO.	79
FIGURA 51. SEÑAL EN EL TIEMPO PARA EL CONTROL KIA.	82
FIGURA 52. CAPTURA DE LA MAGNITUD DE LA SEÑAL.	83
FIGURA 53. ANÁLISIS DE ESPECTRO DE LA FRECUENCIA.	84
FIGURA 54. DATOS OBTENIDOS EN LECTURA VÁLIDA.	85
FIGURA 55. SEÑAL EN EL TIEMPO CONTROL TOYOTA.	86
FIGURA 56. CAPTURA DE MAGNITUD DE LA SEÑAL.	87
FIGURA 57. ANÁLISIS DE ESPECTRO CONTROL TOYOTA.	88
FIGURA 58. DATOS OBTENIDOS DEL CONTROL TOYOTA.	88
FIGURA 59. DATOS ALMACENADOS EN ARCHIVO DE TEXTO.	89
FIGURA 60. COTIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE NATIONAL INSTRUMENTS.	
FIGURA 61. COTIZACIÓN DE EQUIPO KEYSIGHT.	112

Índice de tablas

Tabla 1. Ecuaciones de Maxwell.	18
Tabla 2. Comparación de Precios de componentes del prototipo.	80

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción al tema del proyecto

Actualmente, National Instruments Costa Rica está desarrollando una estrategia de mercadeo alrededor del dispositivo de *hardware* Universal Software Radio Peripheral (USRP, por sus siglas en inglés) junto con el *software* NI LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) para aplicaciones de comunicaciones. Es por esto que se determinó la necesidad de un proyecto que englobe las diferentes características del USRP para proveer a los potenciales usuarios finales de un dispositivo que pueda demostrar sus capacidades ampliando el espectro de función dentro de la industria.

En este momento, el poder mostrar la funcionalidad del USRP como un dispositivo de radio definido por *software* requiere de capacidades limitadas, ya que National Instruments no provee de un programa listo para el mercado que pueda servir a los colaboradores de la fuerza de ventas con toda la funcionalidad del dispositivo. Por tal motivo, se pretende desarrollar este proyecto y así poder cerrar esa brecha entre las capacidades y el dispositivo, y poder complementar la estrategia de mercadeo y posicionamiento de la marca.

1.2 Antecedentes del contexto de la empresa

National Instruments, también conocida como NI, es una empresa de capital estadounidense con operación a nivel global, que se dedica al desarrollo de equipo de pruebas automáticas y programas desarrolladores de instrumentación virtual. Su cuartel general se encuentra en Austin, Texas. Las aplicaciones más comunes en donde se puede encontrar la gama de productos de National Instruments incluyen la adquisición de datos, el control de instrumentos y la visión por máquina. De acuerdo con los reportes de ganancias publicados en su página de Internet y de acceso público, en 2016 generó un total de \$1,200 millones de dólares a nivel mundial.

La reseña de National Instruments data del año 1976, cuando sus fundadores trabajaban en un proyecto de adquisición de datos para el ejército de los Estados Unidos y, debido a la falta de fiabilidad en los resultados, decidieron crear un dispositivo que les ayudara a solventar esta necesidad. Es así como James Truchard, Jeff Kodosky y Bill Nowlin dan inicio a la compañía diseñando y creando con éxito la interfaz GPIB, para comunicarse con los instrumentos de medición.

Las primeras ventas de National Instruments se dan a finales de los años 70 y es ahí cuando comienzan contratando a una persona encargada de las órdenes, facturación y todo lo relacionado al manejo del cliente. Para el inicio de los años 80, la compañía alcanza ventas de alrededor de \$400,000.00 con una ganancia de \$60,000.00; es ahí cuando James Truchard y Bill Nowlin se dedican a tiempo completo al desarrollo de la empresa, trabajando en proyectos especiales que permitan dar a conocer la empresa y generar ganancias.

Uno de los hitos más importantes de la empresa se da en el año 1983, cuando logran desarrollar su primera tarjeta GPIB, que puede conectarse a las computadoras personales IBM. Al momento del lanzamiento de las computadoras Macintosh, se abre un mercado para el entorno gráfico, y es ahí cuando Jeff Kodosky, con ayuda de otras personas se dedica al desarrollo del producto estrella de National Instruments llamado LabVIEW, cuyas siglas significan Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. El lanzamiento del producto se da en el año 1986; este ambiente de programación permite al usuario utilizar una lógica más intuitiva que en la programación basada en texto, ya que permite conectar iconos de funciones en lugar de digitar los comandos del programa. El crecimiento de la empresa representó, en el año 1987, abrir la primera oficina fuera de Estados Unidos, en Tokio, Japón.

Ya para la década de los 90, la empresa se expandió al punto de necesitar otro edificio, y se mueve a un edificio propio. Durante esta década, en el año 1991, se le otorga la primera patente para LabVIEW y también lanzan al mercado, en el año 1992, el protocolo conocido como Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation, o SXCI, para proveer de una capacidad de procesamiento de señales más robusta a sus clientes.

Para finales de la década de los 90 se trasladan de nuevo, pero esta vez a donde se encuentra su cuartel general actualmente. Al mismo tiempo, los clientes ya reconocían LabVIEW y lo utilizaban para aplicaciones de automatización industrial, ya que podían reemplazar instrumentos específicos por programas de función más flexible y a menor costo. Durante esta década se dedican a sobrepasar

los límites de la aplicación de la instrumentación virtual, llegando a incursionar en el mercado de visión por máquina; es también cuando se introduce el PXI, un estándar abierto para desarrollo de aplicaciones modulares y automatización, y también el programa NI TestStand, que permite el análisis de datos de alto volumen. Ya para la década del 2000, National Instruments abre su fábrica de manufactura en Hungría, lo cual ayuda al desarrollo y diversificación de la línea de manufactura de equipo.

Es importante recalcar que National Instruments se destaca por un modelo de ventas directo en los mercados que se lo permiten; de esta manera, se ha dado un desarrollo de las oficinas de ventas locales a nivel global, incluyendo Latinoamérica. Su principal producto de ventas es LabVIEW y está incursionando en mercados de adquisición de datos, por lo que National Instruments posee una gama no solo de *software*, sino también de instrumentos modulares los cuales permiten que su función sea definida por la programación, como por ejemplo, las plataformas modulares PXI, Compact DAQ, Compact RIO y el Universal Software Radio Peripheral (USRP).

Al tener presencia a nivel global el mercado latinoamericano es parte de los mercados emergentes. Por tanto, el departamento de mercadeo local ha centrado su esfuerzo en posicionarse desde el ámbito de educación, para que los futuros ingenieros tengan conocimiento de las diversas plataformas que National Instruments les ofrece, generando un nicho de mercado que necesita ser atendido.

1.3 Definición del problema

El departamento de Mercadeo para Latinoamérica de National Instruments obtuvo los resultados de un análisis de mercado, los cuales se mantienen confidenciales por ser de carácter crítico para decisiones operativas en la región. Esto desencadena que el departamento de mercadeo comience la iniciativa del proyecto, ya que se demostró un potencial de ventas para el equipo de radiofrecuencia USRP. Luego de reuniones internas, se concluyó que el volumen de ventas no se está logrando atender debido a la falta de versatilidad de los recursos actuales para demostrar la capacidad del dispositivo.

Debido a la complejidad que, hasta el momento, involucra el uso del dispositivo USRP, el demostrar las capacidades reales con ejemplos sencillos en el campo provoca que los clientes potenciales no logren comprender su verdadera utilidad en conjunto con el *software* LabVIEW Communications System Design. Así, a partir de este problema se origina la pregunta que da inicio al proyecto: ¿Cómo se puede lograr que National Instruments explote las facilidades del dispositivo USRP y el ambiente LabVIEW para comunicaciones, de forma que el departamento de ventas incremente su penetración en el mercado meta local?

1.4 Justificación del proyecto

El desarrollo del proyecto se da para atender la necesidad planteada por el departamento de Mercadeo para Latinoamérica de National Instruments de poder incrementar las ventas específicas de la plataforma para comunicaciones,

demostrando las capacidades de funcionamiento; en este caso, el dispositivo de *hardware* USRP y el paquete para comunicaciones de LabVIEW.

1.5 Objetivo general y específicos

A continuación, se presentan los objetivos general y específicos que guiaron la presente investigación.

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un programa que permita medir la calidad de la señal de radio emitida por módulos de radiofrecuencia para controles remotos de alarmas de automóviles, utilizando la plataforma de prototipado de National Instruments USRP y el *software* de desarrollo LabVIEW para comunicaciones

1.5.2 Objetivos específicos

1. Definir las capacidades técnicas de medición y análisis de radiofrecuencia que National Instruments pretende demostrar utilizando el USRP.

2. Determinar las limitaciones y alcances de la tecnología provista por National Instruments.

3. Desarrollar en LabVIEW el programa necesario que cumpla con los requerimientos establecidos por el departamento de Mercadeo de National Instruments.

4. Integrar los componentes del sistema y el programa desarrollado en LabVIEW con el dispositivo USRP.

5. Evaluar el costo-beneficio del proyecto para determinar la viabilidad de su implementación.

6. Confeccionar un manual de usuario del proyecto para los ingenieros de ventas y de aplicaciones.

1.6 Alcances y limitaciones

En este apartado se presenta los alcances y limitaciones del presente proyecto.

1.6.1 Alcances

La puesta en marcha del programa y su componente de *hardware* pretenden aumentar las ventas en el mercado local latinoamericano y que, a su vez, este proyecto tenga repercusiones en el aumento de la cartera de clientes. A largo plazo, el impacto se pretende dar no solo a nivel de ventas sino también de ingeniería de aplicaciones, al poder demostrar las capacidades funcionales del *hardware*.

1.6.2 Limitaciones

En este proyecto se requiere utilizar únicamente líneas de productos de National Instruments, tanto en el núcleo de diseño a nivel de piezas físicas como de lenguaje de programación. Con respecto a los componentes físicos, se requiere

utilizar los que ya se tengan en inventario en la oficina de Costa Rica, para reducir el monto de la inversión y el tiempo de desarrollo. En cuanto al tiempo, se requiere que el diseño esté terminado y en funcionamiento antes de la segunda mitad del año 2017.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual general

En este apartado se presenta información teórica con el propósito de aclarar diferentes conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

2.1.1 Campo electromagnético

Para entrar en materia de la definición del campo electromagnético, primero se debe poder explicar qué es la corriente eléctrica y qué es el campo magnético. Para tal efecto, tomando la definición de ambos términos se tiene la siguiente información: “la corriente eléctrica es cualquier movimiento de partículas portadoras de carga eléctrica, tales como las partículas de carga (electrones de carga negativa, protones de carga positiva)” (Britannica, 2006).

Además, según la misma fuente, “la carga eléctrica en un cable, donde los portadores de carga son los electrones, es una medida de la cantidad de carga pasando a través de un punto del cable por unidad de tiempo” (Ibid). En cuanto a los campos magnéticos, estos “son producidos por corrientes eléctricas, las cuales pueden ser corrientes macroscópicas en cables, o corrientes microscópicas asociadas con los electrones en órbitas atómicas” (Hyperphysics, 2012).

Así pues, de las definiciones anteriores se puede entender que un campo electromagnético es el resultado de una corriente eléctrica que pasa a través de un material conductor, y se debe hacer la diferenciación entre campos magnéticos que tienen manifestación natural, como el de la Tierra, y aquellos campos de fuente

artificial que generados a partir de fuentes eléctricas creadas por el hombre. Este último es el tipo de campos electromagnéticos sujeto a estudio en este proyecto.

En cuanto al estudio teórico de dichos campos electromagnéticos y sus fenómenos, se debe tener como principal herramienta las renombradas ecuaciones de Maxwell, ya que estas ayudan a definir el comportamiento de dichos campos. En la Tabla 1 se muestran dichas ecuaciones, desarrolladas por el físico James Clerk Maxwell.

Tabla 1. Ecuaciones de Maxwell.

Ley	Fórmula
Ley de Gauss para la Electricidad	$\oint \vec{\epsilon} * \partial \vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el Magnetismo	$\oint \vec{B} * \partial \vec{A} = 0$
Ley de Faraday para la Inducción	$\oint \vec{E} * \partial \vec{s} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$
Ley de Ampère	$\oint \vec{B} * \partial \vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} * \partial \vec{A}$

Fuente: creación propia.

Estas ecuaciones cimientan la base del estudio del fenómeno electromagnético y, a partir de ellas, se pueden desarrollar la mayoría de fórmulas para análisis de campo. En los incisos siguientes se describe un poco más a fondo estas ecuaciones.

2.1.2 Ley de Gauss para la Electricidad

De acuerdo con Hyperphysics (2012), “el flujo eléctrico exterior de cualquier superficie cerrada es proporcional a la carga total encerrada dentro de la superficie. La fórmula integral de la ley de Gauss encuentra aplicación en el cálculo de los campos eléctricos alrededor de los objetos cargados” (Hyperphysics, 2012). De esta forma, se puede entender que la Ley de Gauss explica que existe una relación directa entre el flujo de campo eléctrico y una superficie cerrada.

2.1.3 Ley de Gauss para el Magnetismo

De acuerdo a la definición encontrada en Hyperphysics, 2012 se tiene que:

El flujo magnético neto exterior de cualquier superficie cerrada es cero. Esto equivale a una declaración sobre el origen del campo magnético. En un dipolo magnético, cualquier superficie encerrada contiene el mismo flujo magnético dirigido hacia el polo sur que el flujo magnético proveniente del polo norte. En las fuentes dipolares, el flujo neto siempre es cero.

2.1.4 Ley de Faraday para la Inducción

Según indica Hyperphysics (2012), “la integral de línea del campo eléctrico alrededor de un bucle cerrado es igual al negativo de la velocidad de cambio del flujo magnético a través del área encerrada por el bucle”. Además, la Ley de Faraday es también la base para el análisis de generadores eléctricos, inductancias y transformadores, ya que la integral es igual al voltaje generado en el lazo.

2.1.5 Ley de Ampère

Según indica Hyperphysics (2012), “en el caso de un campo eléctrico estático, la integral de línea del campo magnético alrededor de un bucle cerrado es proporcional a la corriente eléctrica que fluye a través del cable del bucle.” (parr.1) Esta fórmula es especialmente útil a la hora de analizar y realizar cálculos de geometrías simples.

2.1.6 Campos magnéticos

En cuanto a los campos magnéticos, Georgia State University (2008) indica que estos “son producidos por corrientes eléctricas, las cuales pueden ser corrientes macroscópicas en cables o corrientes microscópicas asociadas con los electrones en órbitas atómicas. El campo magnético B se define en función de la fuerza ejercida sobre las cargas móviles en la ley de la fuerza de Lorentz”(párr. 1)

2.1.7 Antenas

De acuerdo a la definición encontrada en la fuente de la Universitat Politecnica de Valencia, 2003: “Las Antenas son las partes de los sistemas de telecomunicación específicamente diseñadas para radiar o recibir ondas electromagnéticas. También se pueden definir como los dispositivos que adaptan las ondas guiadas, que se transmiten por conductores o guías, a las ondas que se propagan en el espacio libre.” (Párr. 1)

En el estudio de radio frecuencia es de vital importancia entender el funcionamiento de las antenas, ya que dependiendo de la potencia en que se

transmita la señal, así será capaz de recibir la señal el receptor, por lo que el tema mismo de las antenas requeriría de un análisis profundo y extenso.

Sin embargo, el diseño de antenas envuelve en si misma toda un área de investigación que merece un estudio profundo. Para propósitos de esta investigación, es importante conocer que hay características específicas relevantes al estudiarlas: patrón de radiación, ganancia, directividad y polarización. Estas características se explican a continuación.

2.1.7.1 Patrón de Radiación

El patrón de radiación de una antena es aquel campo por el cual se distribuye la energía radiada por la misma, siendo representada de manera gráfica en forma tridimensional. Para poder integrar la imagen en tres dimensiones es necesario calcular el patrón de elevación y el patrón de azimuth. Así, el patrón de elevación es aquel que se puede calcular de la onda de perfil y el de azimuth es el cálculo de la onda vista desde arriba. Es así como se obtiene la Figura 1:

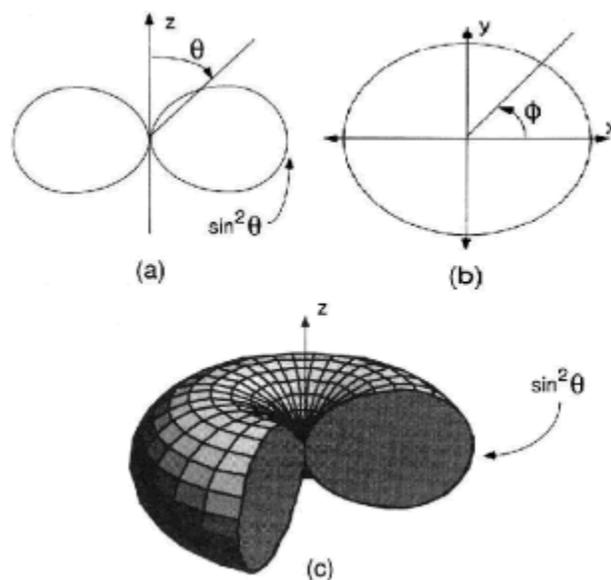


Figura 1. Patrones de Radiación (a) patrón de elevación (b) patrón de azimuth (c) patrón de radiación tridimensional. Fuente: WNI México (s.f.)

2.1.7.2 Ganancia

La ganancia de la antena es la relación de la energía que sale de la antena en comparación con la energía que sale de la misma. Las unidades de ganancia se representan en dBi o Decibeles y se refieren específicamente a cuánta energía sale de la antena en estudio comparada a una antena ideal, con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal de uno.

2.1.7.3 Directividad

La directividad de una antena se puede entender como la cantidad de energía que es radiada en una dirección específica. Por lo general, esta se calcula haciendo la comparación de la energía radiada en una dirección en comparación con la energía isotrópica promedio.

2.1.7.4 Polarización

La polarización se refiere a la orientación en que salen las ondas electromagnéticas de la antena. Existen dos tipos básicos de polarización: la lineal como en el caso de polarización horizontal, vertical y oblicua; y la polarización circular, que incluye la circular derecha, izquierda y la elíptica derecha e izquierda.

2.1.8 Tipos de Antenas

Antenas dipolo:

Las antenas dipolo son aquellas que generan un patrón de radiación generalizado; es decir, que radian la misma cantidad de energía hacia ambos extremos de la antena, teniendo un patrón azimuth completamente simétrico. Una característica importante de estas antenas es su sensibilidad al movimiento, que las pueda sacar de la ruta de radiación de la onda hacia su destino.

Antenas dipolo de múltiples elementos:

Las antenas dipolo de múltiples elementos se caracterizan por tener un patrón de radiación simétrico; sin embargo, al tener más elementos de radiación esta simetría se comparte entre todos sus elementos. De esta manera se agregan características como evitar la susceptibilidad al movimiento de la antena y se obtienen mayores ganancias por sus elementos.

Antenas Yagi:

Las antenas Yagi se caracterizan por que solo uno de los elementos de la antena transmite; sin embargo, es el resto de elementos que determina la ganancia y directividad, a pesar de esto no son tan direccionales como una antena parabólica.

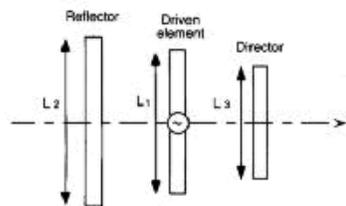


Figura 2. Antena Yagi. Fuente: WNI México (s.f.)

Antenas panel plano o flat panel:

Como su nombre lo indica, estas antenas están construidas a manera de parche en un panel plano; esto les agrega características de direccionalidad y ganancia superiores a los tipos de antena anteriores, lo que se debe a que, por su forma, la mayoría de la energía se radia en una dirección específica, por lo general perpendicular al panel.

Antenas parabólicas:

El diseño de antenas parabólicas envuelve no solo la teoría de antenas sino también de la física, para poder alcanzar ganancias muy altas con direccionalidad muy precisa; estas antenas se componen de un plato reflector en forma de parábola para, como su nombre lo indica, reflejar las ondas recibidas a un punto focal en donde se ubicará el receptor; este plato funciona para dirigir la energía a un haz específico a la hora de transmitir. El patrón de elevación de estas antenas se puede observar en la Figura 3.

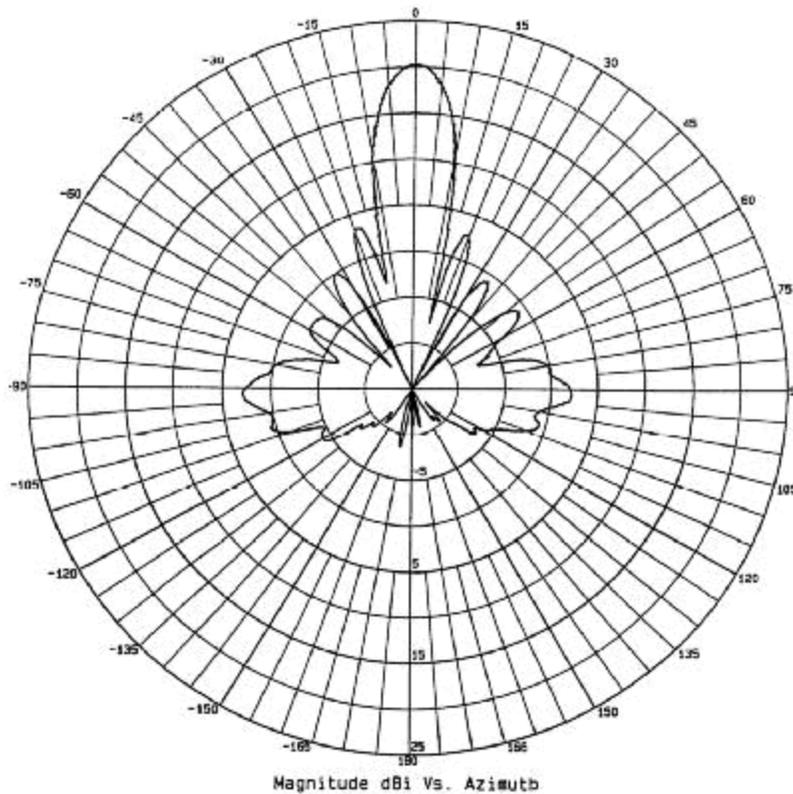


Figura 3. Patrón de elevación de antena parabólica. Fuente: WNI México, (s.f.)

Existen, además, otro tipo de antenas; sin embargo, no forman parte de la posible aplicación de este proyecto, por lo que no se analizan en este documento.

2.1.8 Radio Definida por Software

Según se indica en el Foro de Radio Definido por Software (SDRF, por sus siglas en inglés), el Radio Definido por Software es: “el radio en el cual alguna o todas las funciones de la capa física son definidas por programas de software” (Software Defined Radio Forum, 2007).

El auge en las tecnologías de Radio Definido por Software debe su éxito a la tendencia actual de tener como requerimiento principal la flexibilidad en sus aplicaciones. En este campo, una de las claves para ser líder es poder realizar cambios dinámicos con la misma velocidad de cambio que el objetivo de su uso, sin tener que hacer una modificación total en la infraestructura física. Por lo general, cambios a nivel de dispositivo físico requieren una inversión muy alta para poder mantener un estado tecnológico avanzado; sin embargo, poder realizar este cambio mediante funciones programadas a nivel de *software* que generan un cambio en la configuración del *hardware* existente, da un nivel de versatilidad que permite competir en este campo y ajustarse a la creciente demanda de nuevos sistemas y protocolos de comunicación.

De esta manera, el principal motivo de tener un radio definido por *software* deja ver sus ventajas al poder programar funciones que alguna vez fueron exclusivas de dispositivos físicos en un lenguaje de programación que permite actualización y reemplazo de manera ágil.

2.1.9 Universal Software Radio Peripheral

El nombre Universal Software Radio Peripheral (USRP) se refiere a una familia de dispositivos de Radio Definido por Software, la idea principal de estos es proveerle al usuario final un dispositivo más económico que pueda dar el rango total de funcionalidad de las unidades SDR que se encuentran actualmente en el mercado. La mayoría de las unidades USRP se conectan a una computadora que

sirve de anfitrión para el *software* y la programación de funciones a través de un enlace de alta velocidad.

2.1.10 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

LabVIEW posee aproximadamente 25 años en el mercado. En estos años se ha convertido en un estándar en el desarrollo de aplicaciones de test y medida, control de instrumentación y sistemas de adquisición de datos. Su versatilidad y potencia le ha hecho expandirse a otras áreas tales como visión artificial, PACs, control de movimiento, HMI y SCADAs para automatización industrial, análisis de ruido y vibraciones, gestión de información y generación de informes, etc. Hoy día LabVIEW ha incursionado en campos como Simulación, Diseño de Control, sistemas embebidos en tiempo real, algoritmos matemáticos avanzados, etc. (Lajara, 2007).

Desde su lanzamiento, en octubre de 1986, National Instruments ha posicionado LabVIEW como un entorno de desarrollo de programación gráfica que facilita la programación intuitiva. Este lenguaje de programación se conoce como código G. La gran diferencia de LabVIEW con respecto a otros lenguajes de programación es su ambiente de desarrollo (IDE, por sus siglas en inglés). El ambiente posee un explorador de proyectos que permite la navegación de diversas carpetas para organizar los diferentes componentes de un programa.

Una definición básica de LabVIEW es el de Instrumento Virtual o VI, este nombre se debe a que LabVIEW fue orientado al diseño de instrumentos por *software*. De esta forma, el VI se descompone en varias partes que al final hacen

que este sea un programa unificado. La primera parte es el panel frontal, este es aquel panel que será visualizado por el usuario final; este tiene controles en indicadores que serán utilizados por el usuario para interactuar con el programa.

El diagrama de bloques es donde el desarrollador de la aplicación genera el código de programación. En este código, aparte de la lógica, se encuentran representados aquellos controles que fueron puestos en el panel frontal por medio de terminales, las cuales serán parte del programa, como se puede ver en la Figura 4.

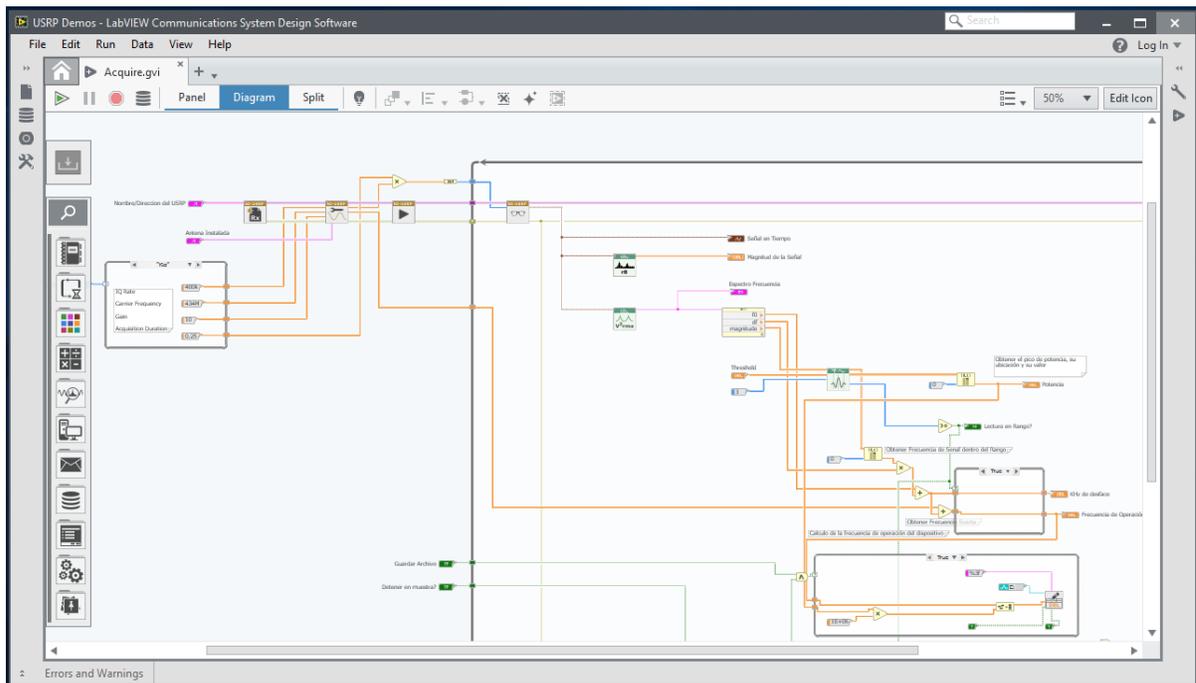


Figura 4. Ambiente de Programación en Bloques de LabVIEW. Fuente: creación propia.

La riqueza del ambiente de programación LabVIEW no solo se encuentra en su diagrama de bloques (así llamado el espacio referenciado en la figura anterior), sino también en su panel frontal y en la accesibilidad que permite tener a las diferentes funciones de programación por medio de su paleta de controles. A

continuación, en la Figura 5, se puede observar un poco más en detalle el panel frontal de un ejemplo de programación en LabVIEW.

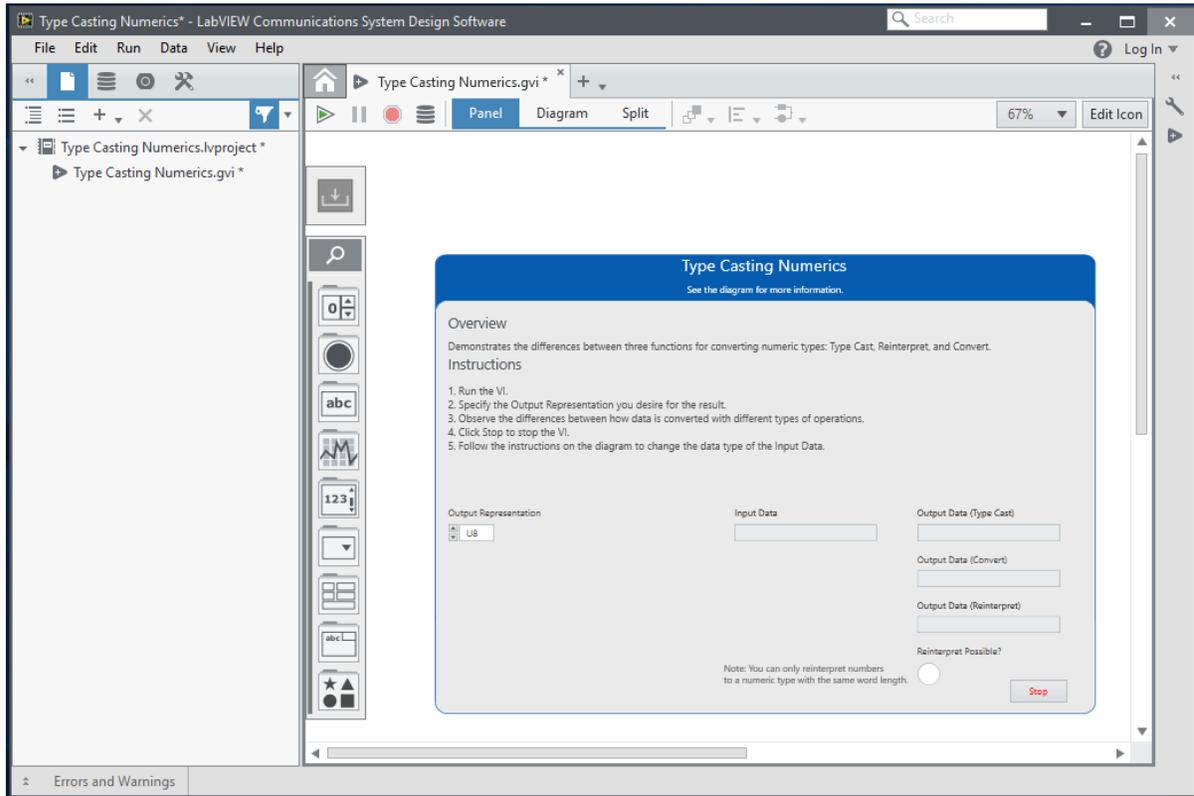


Figura 5. Panel Frontal de LabVIEW. Fuente: creación propia.

Adicional a los diagramas de bloques y panel frontal, se tienen los diferentes menús desplegables que permiten acceder a las distintas funciones dependiendo de en qué pantalla se encuentre; al estar en el panel frontal se tiene la paleta de controles e indicadores. Esta paleta contiene todos los controles e indicadores que se pueden ubicar en el panel frontal, que servirá de interfaz de usuario. Una característica de esta paleta es que se subdivide en categorías, lo que hace más

fácil la navegación de a través de la misma, esta paleta se puede observar en la Figura 6.

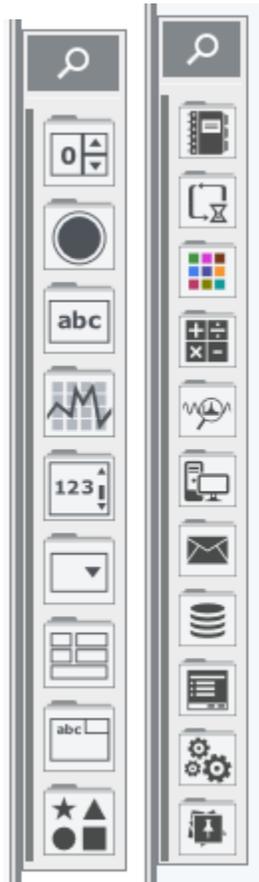


Figura 6. Paleta de controles e indicadores para el panel frontal y el diagrama de bloques. Fuente: creación propia.

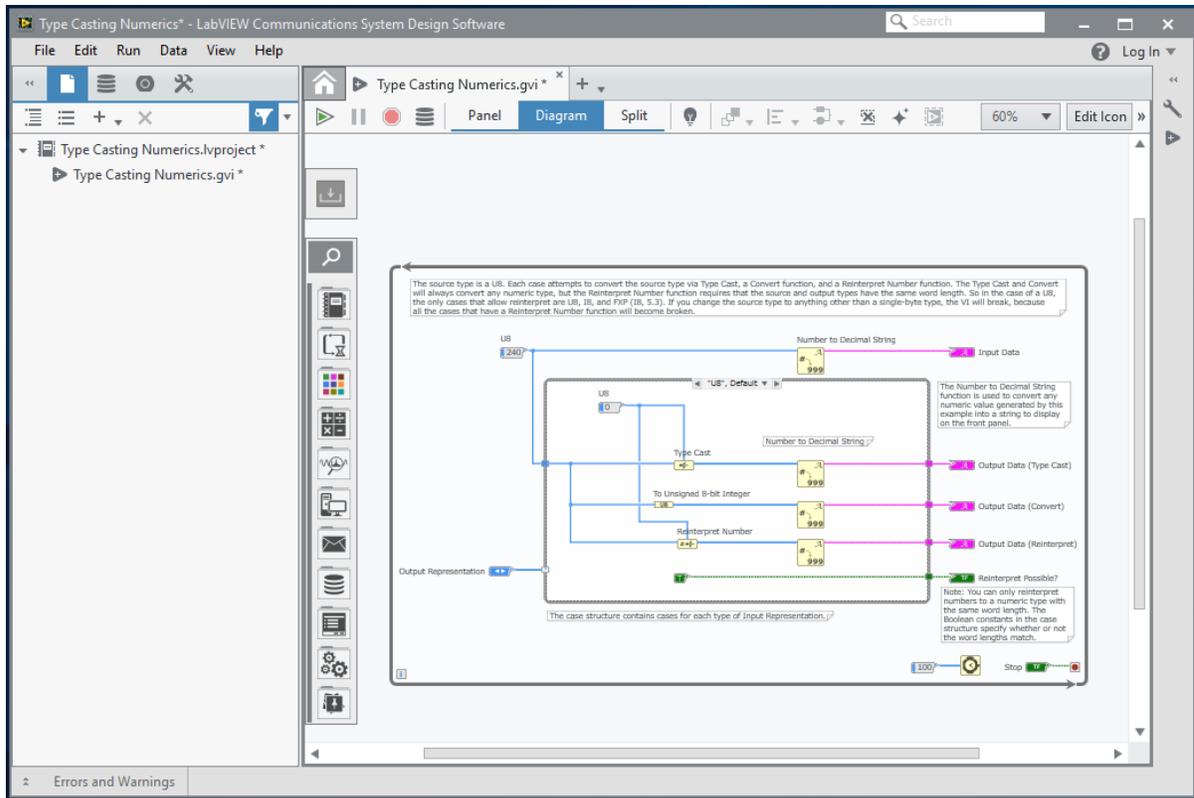


Figura 7. Pantalla completa de LabVIEW en el diagrama de bloques. Fuente: creación propia.

Asimismo, la Figura 7 ayuda a visualizar el ambiente completo de programación que se ofrece al usuario a la hora de programar en LabVIEW; de esta manera se logra una programación intuitiva.

2.1.11 LabVIEW for Communications System Design

Directamente de la página de National Instruments, se obtiene la siguiente descripción para el paquete de comunicaciones de LabVIEW:

A diferencia de las alternativas que requieren múltiples herramientas para diseño de algoritmos y generación de prototipos de hardware, el Paquete para Comunicaciones de LabVIEW ofrece un entorno de desarrollo integrado con el USRP para generar rápidamente generación de prototipos de sistemas de comunicaciones. Esta combinación ofrece una solución rentable para aquellos que están comenzando a trabajar en el desarrollo de sistemas de comunicaciones. (National Instruments, s.f.)

2.2 Características del equipo de *hardware*

En este apartado el enfoque se centra en las capacidades del equipo a disponibilidad del departamento de Mercadeo; es importante recalcar el hecho de que el equipo disponible para ingeniería no puede ponerse a disposición del departamento de Mercadeo por razones de inventario. A manera de expresar las limitaciones y alcances del equipo disponible se tiene el desglose que se describe en los subapartados a continuación.

2.2.1 Universal Software Radio Peripheral 2920

El Universal Software Radio Peripheral modelo 2920 de National Instruments, en adelante USRP-2920, es una plataforma de Radio Definido por Software que necesita de una computadora como anfitrión. Está específicamente diseñado para la investigación y desarrollo en el campo de radio frecuencia.



Figura 8. USRP 2920. Fuente: National Instruments.

Una de las grandes ventajas del USRP-2920 (Figura 8) es que en la fase de adquisición de la señal de entrada se utiliza el proceso de Digital Down Conversion (DDC). Este proceso permite convertir señales digitalizadas con bandas específicas a señales de frecuencias altas, a una frecuencia de muestreo más baja para simplificar el análisis posterior. Otra de las capacidades del USRP es el tener canales independientes para la transmisión y la recepción de señales que, de acuerdo con la configuración dada por el anfitrión, podría funcionar a manera full dúplex.

En el diagrama de bloques de la Figura 9 se puede observar las diferentes etapas que involucra la adquisición de la señal hasta llegar a la fase de conversión analógica a digital (ADC, por sus siglas en inglés), para luego pasar a la etapa de Conversión Digital Baja (DDC, por sus siglas en inglés).

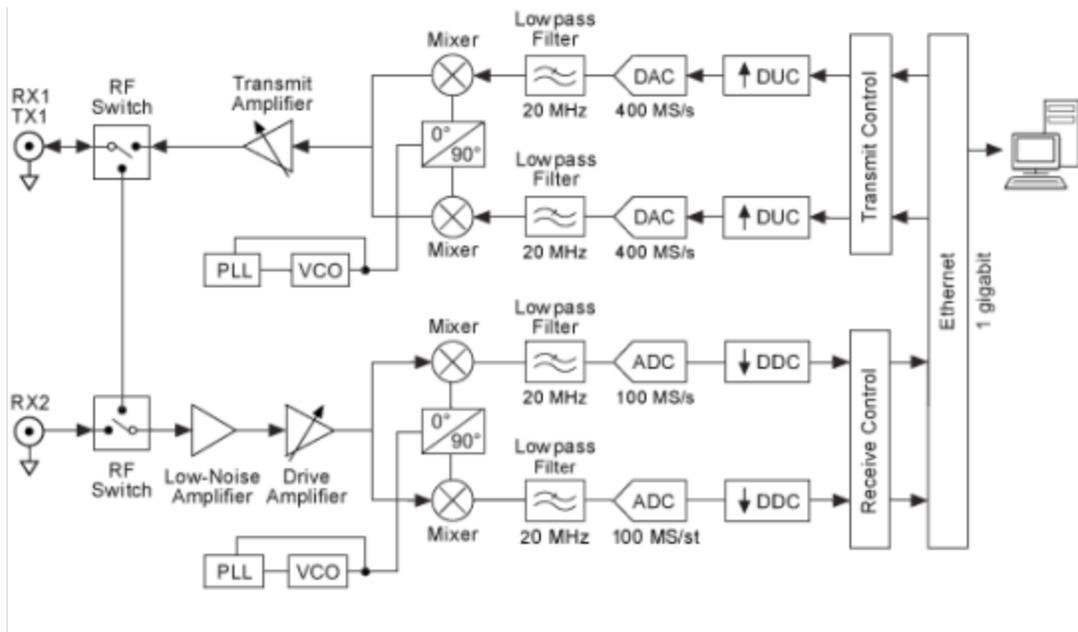


Figura 9. Funcionamiento del USRP 2920 (bloques). Fuente: National Instruments.

Una de las que se podrían considerar limitaciones del equipo es la necesidad de una conexión Gigabit Ethernet en la computadora que va a servir de anfitrión; de otra manera, el USRP no podrá enviar la información. La necesidad de cumplir este requerimiento se debe a la gran cantidad de datos que se va a transmitir al decodificar la señal para ser enviada al análisis realizado por el programa en sus etapas consecuentes.

El USRP 2920 trabaja en una frecuencia de operación en su receptor de entre 50MHz a 2.2GHz y con pasos de frecuencia de menos de 1kHz, debido a que los controles que se utilizan en este proyecto para las pruebas trabajan entre 315MHz y 434MHz, se pudo determinar que este era el USRP que mejor se ajustaba a la necesidad de este proyecto. Otro de los equipos en inventario para mercadeo es el USRP 2930 tiene una función de GPS que lo hace más caro y

agregaría costo al proyecto, y debido a que el GPS no es una función de este proyecto no es un modelo apto para el mismo.

2.2.2 Antena VERT-2450

La antena que se escogió para el proyecto es la VERT 2450 (Figura 10), fabricada por Ettus Research. Esta antena tiene la capacidad de ser de banda dual de 2.4 a 2.48 GHz y de 4.9 a 5.9 GHz omnidireccional, es una antena vertical con una ganancia de 3dBi.



Figura 10. Antena VERT 2450. Fuente: Ettus Research.

2.2.3 Emisores de radiofrecuencia

En cuanto a la selección de los emisores de radiofrecuencia seleccionados para este dispositivo, luego de verificar el estándar de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés), las frecuencias utilizadas para controles remotos de sistemas de alarma y otros emisores de uso periódico se asignan a frecuencias entre 40.66MHz-40.70MHz y mayores a 70MHz (ver Anexo 5 con el estándar). De acuerdo con Maxim Integrated (2005), la frecuencia central de acarreo para alarmas manufactureras en Norte América se encuentra en 315MHz,

y para el resto del mundo, en 433MHz. Es así como se seleccionaron los controles remotos que se detalla a continuación, que abarcaran la gama completa de radiofrecuencia utilizada para estos dispositivos.

2.2.3.1 Control Remoto Daedong SL13MY-TP (KIA)

Uno de los dispositivos de prueba que se tiene a disposición del equipo de Mercadeo para la demostración de este proyecto es el control remoto de la alarma para automóviles KIA modelo SL13MY-TP (Figura 11), este control remoto transmite la señal en un rango de 434MHz, por lo que se tiene que considerar esta frecuencia a la hora de desarrollar el programa.



Figura 11. Control SL13MY-TP. Fuente: Daedong.

2.2.3.2 Control Remoto TRW GQ43VT14T (Toyota)

El segundo dispositivo que se tiene para realizar pruebas y poder demostrar que el proyecto funciona para diferentes dispositivos es un control remoto para automóviles Toyota (Figura 12), siendo su frecuencia de operación de 315MHz.

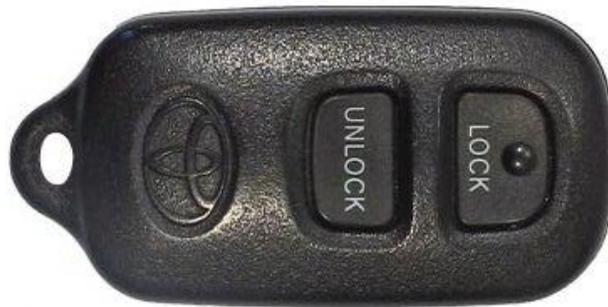


Figura 12. Control TRW GQ43VT14T. Fuente: Amazon.com

2.2.4 Manejador de USRP

Como parte de los requerimientos técnicos (y que representa una limitación a considerar de no tenerse) se debe instalar el controlador o *driver* de los dispositivos USRP de National Instruments. Este driver permite la comunicación apropiada entre el dispositivo receptor y el anfitrión por medio del puerto Gigabit Ethernet; la última versión disponible al momento de escribir este documento es la dieciséis. A su vez, este manejador instala el set de instrucciones en forma de VIs para las funciones del USRP.

Una de las ventajas adicionales de este dispositivo es la facilidad de transporte, ya que los controles remotos, la antena y el USRP 2920 no ocupan un espacio mayor a 30 cm³. La persona que vaya a demostrar deberá llevar su computadora con el programa, pero esto no implica un equipo especial adicional, pues, por defecto, todos los ingenieros y vendedores tienen instalado el *software* de LabVIEW como parte de las herramientas de trabajo.

2.3 Antecedentes de proyectos

Actualmente National Instruments cuenta con códigos de ejemplo, llamados Snippets, que son parte de la ayuda de LabVIEW para que los ingenieros desarrolladores puedan tener una idea básica de cómo programar ciertas funciones; sin embargo, no hay un programa integral que demuestre, a manera de sistema de demostración, una gama de estas funciones como un todo de manera versátil. A partir de esto, el proyecto se enfocará en poder integrar y desarrollar funciones faltantes para demostrar este tipo de capacidades.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

De acuerdo con Sampieri (2010):

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

De esta manera se define el enfoque de la investigación como uno cuantitativo, que guiará hacia la comprobación de las hipótesis para el diseño óptimo del proyecto.

3.2 Tipo de la investigación

Sampieri (2010) indica que “los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.” y debido a que la naturaleza de este experimento es realizar pruebas de acierto y error para demostrar que el proyecto cumpla con los requisitos técnicos que sean establecidos dinámicamente por los clientes, se puede definir el tipo de esta investigación como experimental.

3.3 Diseño metodológico

El proyecto se divide en dos etapas: la primera etapa busca entender las características del dispositivo USRP (Universal Software Radio Peripheral) para poder hacer la referencia a las necesidades del departamento de mercadeo de National Instruments para este proyecto; la segunda etapa se basará en poder desarrollar estas características en el producto final para el departamento de Mercadeo.

3.4 Fuentes de información

La Universidad de Alcalá (2016) considera las fuentes de información como “diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para satisfacer una demanda de información o conocimiento”. A continuación, se detallan las fuentes de información consultadas para la realización de este proyecto,

3.4.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias brindan información nueva y original; así pues, se tiene como fuente primaria al representante del departamento de Mercadeo de National Instruments que está liderando el desarrollo de este proyecto para los requerimientos de diseño, así como a otras personas involucradas, mientras que la guía de ayuda de National Instruments para sus productos tanto de equipo como de programa serán fuentes primarias a la hora de integrar los diferentes componentes.

3.4.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias (siendo estas las que contienen información derivada de fuentes primarias) serán los ejemplos básicos de programación y videos que puedan servir de referencia al poner en marcha del proyecto.

3.5 RECOLECCIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta que se tiene acceso al fabricante de la unidad USRP y a equipo diseñado con alta precisión, además de tratarse de un programa que tiene sus requerimientos establecidos en una oficina local, se puede contar con la recolección de datos de primera mano.

Esta recolección de datos se dará por medio de entrevistas tanto estructuradas como no estructuradas al encargado del proyecto en el departamento de Mercadeo y también de manera dinámica en el desarrollo del proyecto, midiendo los resultados obtenidos con unidades de radio, cuyos valores servirán de referencia en la depuración del mismo.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO

4.1 DETERMINAR LA SITUACIÓN ACTUAL

Para determinar la situación actual se observó y se participó del funcionamiento de National Instruments a nivel de operaciones de ventas y de soporte de aplicaciones. De esta manera se logró tener el siguiente entendimiento de la forma en que opera el departamento:

- a. National Instruments se basa en un modelo de venta directo con muy poco margen de ventas originado en distribuidores; posee vendedores remotos y vendedores de campo para sus diferentes mercados, con lo que logran tener mayor captación de clientes para generar oportunidades de venta nuevas.
- b. Los ingenieros de aplicaciones brindan soporte a todos los productos de National Instruments a un nivel de solución en la primera llamada, con sub-equipos especializados en áreas específicas y no en productos específicos, en caso de requerir un análisis más profundo de algún problema o situación.
- c. El departamento de Ventas, tanto remotas como de campo, basan gran parte de su éxito en poder demostrar la funcionalidad de los productos, ya sea por medio de video conferencia o reuniones con los clientes utilizando sus plataformas de prototipado mediante aplicaciones específicas.
- d. El ingeniero de campo para Latinoamérica planea su agenda con base en los clientes desarrollados o reuniones con clientes potenciales, estando fuera del

país hasta dos semanas completas, con visitas hasta a cuatro clientes interesados en diferentes productos.

- e. Al observar a los ingenieros de aplicaciones se comprendió cómo la experiencia está enfocada en los productos más maduros de National Instruments, como el CompactDAQ y el CompactRIO, por lo que queda en evidencia la necesidad actual de desarrollar una aplicación específica con el USRP.

4.2 Recolección de datos

Para el desarrollo de esta sección se tuvo como base la lista de requerimientos y una entrevista estructurada (Anexo 2), así como entrevistas no estructuradas durante el transcurso del desarrollo del proyecto, que fueron dándole forma al resultado final. Es de esta manera que se obtuvo el siguiente enunciado:

Antes de poder entrar en detalles de las funciones utilizadas para desarrollar el programa, es importante destacar que se pretende acabar con el concepto de que utilizar una unidad de USRP para investigación y desarrollo es complicado y que no permite una programación de funciones de manera sencilla y que posibilite su integración en un solo programa.

Así pues, con esta idea y bajo el entendido que la audiencia y usuarios de este programa serán los clientes potenciales y los vendedores de campo o ingenieros de

aplicaciones, se desarrolla este proyecto, ya que ellos son quienes estarán utilizando dicho programa y podrán explicar en qué consiste.

Para este proyecto, el departamento de Mercadeo de National Instruments proporcionó información sobre funciones que son necesarias en el programa final y otras que son opcionales. Este criterio se basó en opiniones adquiridas por medio de entrevistas al encargado de Mercadeo y al equipo de ventas de academia para National Instruments Latinoamérica. De esta manera se definieron como funciones necesarias las siguientes:

1. Obtener la señal de los controles remotos de prueba en el tiempo.
2. Graficar el espectro de frecuencia de la señal y hacerlo visible para el cliente.
3. Obtener la frecuencia exacta de operación del control remoto.
4. Establecer la potencia del control remoto de manera visible al usuario.

Asimismo, se establecieron las siguientes funciones secundarias u opcionales (descritas en el Anexo II):

1. Que el usuario esté informado de si una lectura es válida o no.
2. Guardar información de frecuencia y potencia en un archivo de texto o separado por comas (.csv).
3. Tener la opción de ejecutar el programa y que este se detenga al tener una lectura válida.

Con estos parámetros establecidos se procedió a separar el desarrollo del proyecto por bloques, para así cumplir con cada uno de los requerimientos solicitados dando como resultado el siguiente diagrama de la Figura 13:



Figura 13. Diagrama del Proceso de Adquisición de la Señal. Fuente: creación propia.

Para poder seguir con la etapa de programación, se estableció, en conjunto con el encargado del proyecto, que los vendedores de campo requieren que el sistema como tal sea portátil y de fácil integración y que los componentes físicos para realizar la demostración no sean complejos para entendimiento del mercado meta, como laboratorios de academia. Así pues, los elementos que van a enviar la señal serán controles remotos de automóvil; el estudio de la señal enviada por estos controles remotos se analizará en más detalle en la siguiente sección.

Teniendo definida la primera etapa del programa de acuerdo con diagrama de bloques, el enfoque de la investigación se basó en el proceso de recibir la señal, como se mencionó anteriormente, por lo que el análisis del equipo físico y sus capacidades se deja para la siguiente sección. En este bloque del programa se necesita descomponer la señal haciendo un análisis de potencia y de frecuencia para cumplir con los requerimientos establecidos. De esta manera se toma en cuenta el tipo de señal que se va a recibir y la antena que lo va a recibir para así

poder tener un análisis adecuado a la hora de descomponer esta señal de radio frecuencia.

En un enfoque complementario se puede decir que el recibir la señal (que involucra primordialmente el medio físico por el que se obtiene) es casi integrado con el siguiente bloque del diagrama, que es la lectura de la señal de entrada. En esta etapa se necesitará que el lenguaje de programación LabVIEW permita capturar esta señal para tener la capacidad de descomponerla en las etapas posteriores del diagrama referido en la Figura 13.

La meta principal del bloque de análisis se centra en poder obtener todos aquellos datos que permitan analizar la señal con detenimiento, poniendo el enfoque en las capacidades que se pretenden demostrar en el campo y así solventar la necesidad de un equipo versátil y de menor costo para laboratorios de academia o de empresas de desarrollo en etapa de investigación. En este bloque, el análisis tiene que ir enfocado hacia la frecuencia y potencia de la señal sin dejar de lado las operaciones matemáticas necesarias para poder dar estos resultados concretos. En este apartado se toma la ventaja de uno de los atributos esenciales del programa LabVIEW de National Instruments, su panel de programación. La sección del desarrollo de programa se enfoca en este punto; sin embargo, la idea es poder mostrar cada una de las operaciones matemáticas, así como los pasos necesarios para poder obtener la señal y el gráfico de la misma.

Así como en el bloque de análisis de la señal se obtiene ventaja de las opciones brindadas por LabVIEW, en este bloque de mostrar la información las características ventajosas las brinda el panel frontal, ya que los indicadores

predeterminados de LabVIEW se pueden ubicar de una manera amigable con el usuario. Aparte de esto, se pueden también definir parámetros, de ser necesarios en la ejecución del programa; sin embargo, esto no ha sido un requerimiento inicial por parte del encargado de Mercadeo.

Como se mencionó anteriormente, el guardar los datos no es una función esencial del programa; sin embargo, esto ayudaría al equipo académico a demostrar la capacidad que se tiene de poder almacenar resultados con fines didácticos o para análisis posteriores. De esta manera se procedió a analizar las diferentes opciones que no requieren de una capacidad de procesamiento extremo de la computadora que vaya a servir de anfitrión para el programa, ya que las computadoras portátiles del equipo de ventas no tienen altas prestaciones de procesamiento, como sí las tienen las de los ingenieros de campo.

Como último bloque de este proyecto se ha definido la conclusión del programa o la siguiente ejecución, ya que parte de los requerimientos opcionales es el poder ejecutar el programa en el momento que se alcance una lectura válida dentro de un rango pre-establecido o que se siga ejecutando de manera ininterrumpida hasta el momento que el usuario lo desee, para así probar diversos dispositivos. Debido a esta naturaleza iterativa es de vital importancia incluir los procesos de lectura dentro de un ciclo que se ejecute con las características anteriormente descritas.

Haciendo un análisis general del programa que se tiene por delante, a manera de resumen se puede decir que: el vendedor necesita un programa que permita mostrar el valor didáctico al poder captar señales emitidas por dispositivos de baja

potencia y aun así hacer un análisis completo de su frecuencia y potencia, mostrando estos datos para que se puedan documentar para procesamientos complementarios o por motivos de almacenamiento histórico de pruebas.

Por tanto, con base en una visualización general que abarca las capacidades de radio frecuencia a demostrar, se puede decir, de manera inicial, que el equipo de National Instruments es capaz de cumplir a cabalidad con todos los requerimientos.

CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA CON LAS ESPECIFICACIONES REQUERIDAS

Para desarrollar el programa se toma como base el diagrama de la Figura 13, con el propósito de descomponer el trabajo en etapas.

La primera etapa a tener en cuenta es la forma en que se obtiene la señal desde el dispositivo físico. Se debe considerar el hecho de que el USRP es una unidad de pre-procesamiento de señales que va a traducir la señal del medio hacia el anfitrión, para ser descompuesta y analizada a placer en el programa a diseñar. El desarrollo del programa se llevó a cabo en el ambiente de programación de National Instruments LabVIEW Communications System Design Software; de esta manera se tienen funciones llamadas instrumentos virtuales (VI, por sus siglas en inglés).

En este ambiente se busca crear un paradigma que lleve de manera intuitiva a programar la solución, no de una manera más sencilla, pero sí más natural que en un ambiente de programación basado en texto. El desarrollo de este apartado tuvo como base el diagrama de la Figura 13 (sección 4.2).

5.1.1 Bloque de envío de la señal

El propósito de este es poder definir de manera concreta qué tipo de señales serán utilizadas para realizar las pruebas, ya que el equipo se usa primordialmente en campos académicos o de investigación y desarrollo. La señal que se definió como aquella que venga de los controles remotos de alarma de automóvil. De las especificaciones encontradas en Internet para el control remoto KIA se tiene una frecuencia central de 434MHz, y para el control remoto de Toyota de 315MHz. Para el caso específico del programa se decidió establecer estos parámetros de manera fija en el código, con el objetivo de facilitar la ejecución en el campo, de la siguiente manera:

Con un control tipo “Enum” se da la flexibilidad de escoger entre diferentes opciones; así se pudieron programar estos parámetros. La forma en que se despliegan las opciones se muestra en la Figura 14:

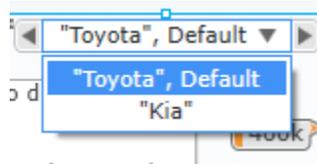


Figura 14. Opciones del menú para opciones del Control. Fuente: creación propia.

Al menú de Toyota se le asignó como valor por defecto o “default”, sin ninguna razón en particular. Este tipo de campo requiere que haya un valor por defecto, así los valores predefinidos para el programa se establecen como se muestra en la Figura 15:

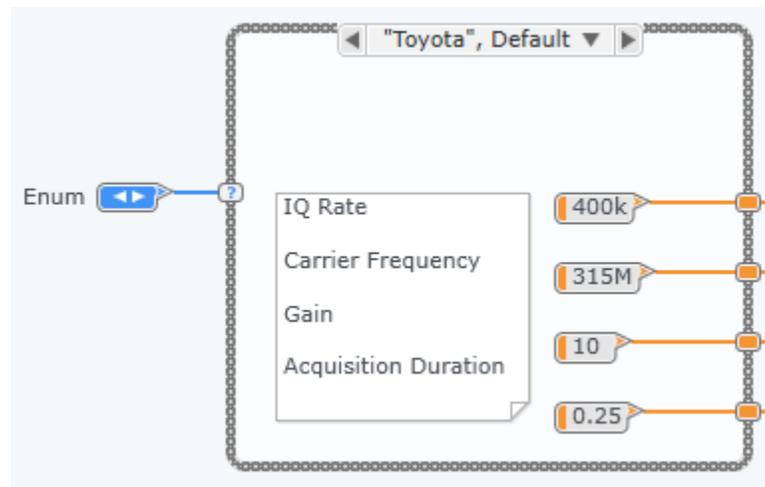


Figura 15. Opciones establecidas para control Toyota. Fuente: creación propia.

De igual forma, los valores para el control remoto KIA se establecieron como se muestra en la Figura 16:

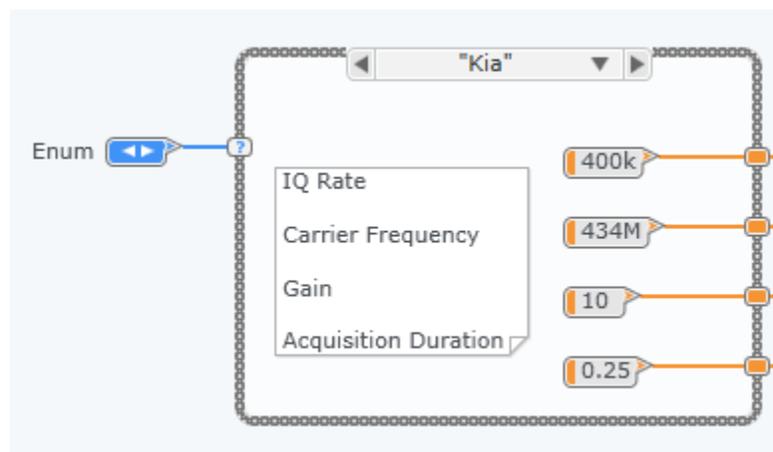


Figura 16. Opciones establecidas para Control KIA. Fuente: creación propia.

Las entradas IQ Rate, Gain y el Acquisition Duration se van a analizar en la sección de configuración de la lectura de la señal, pero se establecen desde los parámetros de control remoto. Sin embargo, para los propósitos de esta sección solo es necesario saber que el valor es el mismo para ambos controles, sin representar algún cambio de datos por este motivo.

5.1.2 Bloque de recepción de la señal

Este bloque pretende solventar la necesidad de obtener la señal desde el medio receptor, que es el dispositivo USRP-2920. Así, se necesita poder confirmar que los parámetros de recepción son los adecuados para los instrumentos virtuales. El ambiente de programación LabVIEW Communications Design Suite provee el instrumento virtual de lectura; sin embargo, antes de poder entrar a este paso se necesita configurar una sesión con las diferentes opciones necesarias. Como resultado se utiliza la combinación de los instrumentos virtuales que se detallan a continuación.

5.1.2.1 niUSRP Open RX Session

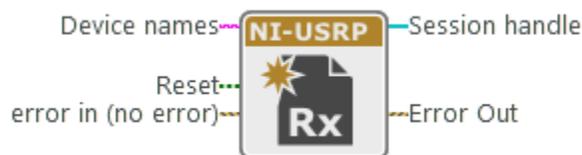


Figura 17. VI para Abrir Sesión de USRP. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

Para este instrumento virtual (VI, por sus siglas en inglés) no todos los campos en la Figura 17. *VI para Abrir Sesión de USRP*. Fuente: *Ayuda de LabVIEW* son requeridos. Para el caso específico de este proyecto se utilizó el campo de nombre de la unidad (refiriéndose al USRP) en donde específicamente se utilizó la dirección IP asignada como se ve en el panel frontal (Figura 18), el campo “Session Handle” para continuar con la referencia en los VIs subsecuentes y el de “Error” para poder informar de cualquier error que se pudiera al abrir la sesión.

A screenshot of a LabVIEW control panel. It features a light gray rectangular frame. Inside the frame, at the top, is the text "Device Name" in a blue font. Below this text is a white text box with a thin gray border, containing the IP address "192.168.10.2".

Figura 18. Campo de Nombre de la Unidad. Fuente: creación propia.

5.1.2.2 niUSRP Configure Signal

Para poder abrir la sesión no solo se requiere del VI en la Figura 11, además de este, es necesario configurar ciertos parámetros para que la comunicación se establezca sin ningún problema y así el anfitrión y el USRP “hablen” el mismo idioma. Para tal efecto, seguidamente del VI para abrir la sesión se agregó al diagrama de bloques el VI de configuración llamado niUSRP Configure Signal, que se muestra en la Figura 19.

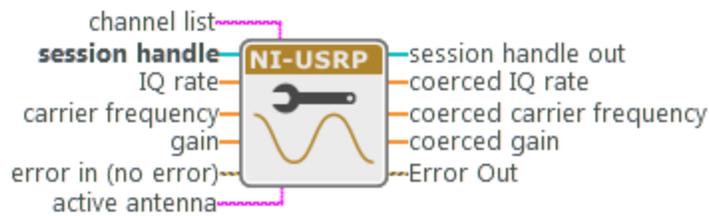


Figura 19. VI para Configurar la Adquisición de la Señal. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

En el caso anterior el único campo requerido es el “Session Handle” o identificador de sesión; esto pues para poder identificar que los parámetros que se van a introducir por medio de este VI van a ser para este análisis en específico, ya que puede haber más de un USRP siendo utilizado en otros programas.

Los datos de IQ Rate, Gain y el Acquisition Duration son entradas a este VI y, a pesar de que no son requeridas, facilitan el análisis, limitando así los datos a muestrear. Por eso, en el caso de este programa se decidió establecer estos valores como predeterminados, dependiendo del control remoto a utilizar.

El IQ Rate se establece como una frecuencia de muestreo con una amplitud de 400Hz; esto significa que se va a tener 200Hz a ambos lados de la frecuencia central o de carrier. Si alguno de los controles remotos se encuentra fuera de este rango, entonces será considerada fuera de rango y no pasará la prueba de radio frecuencia.

Debido a que la potencia de los controles suele ser muy pequeña, hasta en el rango de microdecibeles, la ganancia establecida es de 10dBi.

5.1.2.3 niUSRP Initiate

Un último elemento en la etapa de recepción de la señal se da luego de que se han establecido los parámetros del dispositivo y de control. Se debe iniciar la adquisición de datos antes de comenzar la lectura; esto se logra con el VI llamado niUSRP Initiate (Figura 20).



Figura 20. VI de Inicio de Adquisición de Datos. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

Con este VI se puede decir que se cierra el bloque de recibir la señal y se pasa al siguiente bloque del diagrama referenciado en la Figura 13. Antes de cerrar el apartado y resumiendo hasta el momento lo que se ha establecido del programa, en el diagrama de bloques de la Figura 21 se sigue con una muestra de pantalla del programa actual que se ha diseñado:

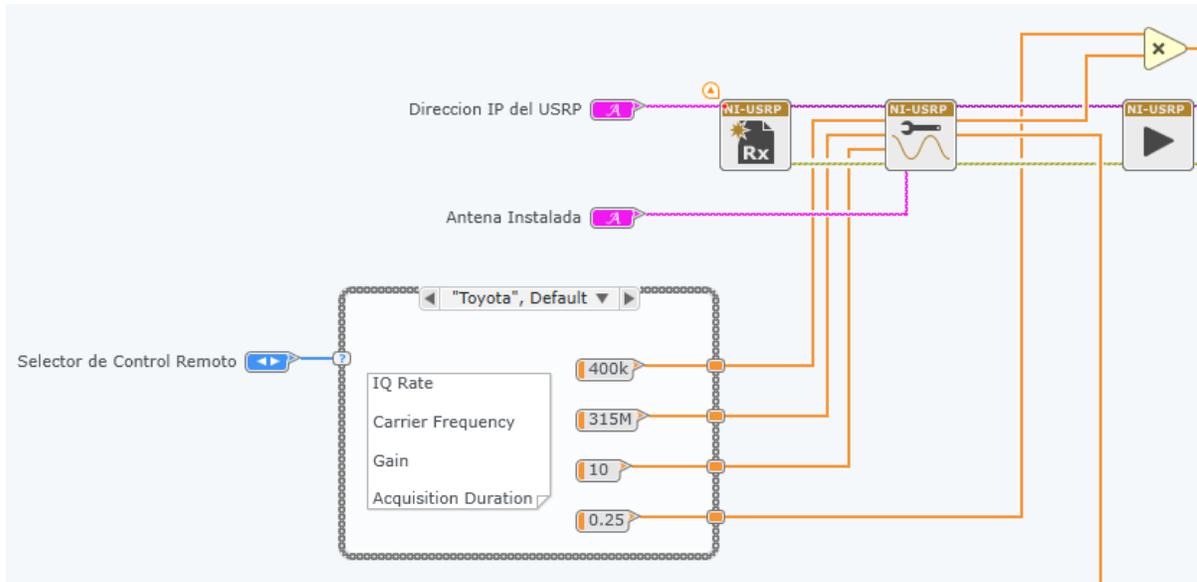


Figura 21. Diagrama de Bloques del Programa. Fuente: creación propia.

5.1.3 Bloque de lectura de la señal

Con el propósito de entender el proceso de lectura, en la mayoría de lenguajes de programación, se debe conceptualizar que un proceso continuo en el tiempo se debe dar a manera de un ciclo controlado hasta el momento que se desee detener por el usuario o por diferentes condiciones programadas y definidas en la etapa de requerimientos.

A partir de este concepto, la lectura de datos de LabVIEW requiere estar dentro de un ciclo “while” (Figura 22). Este ciclo permitirá al VI llamado “fetch” estar constantemente leyendo la entrada del USRP.

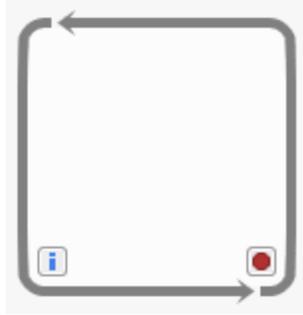


Figura 22. Representación de un ciclo while en LabVIEW. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

Siguiendo el tema del párrafo anterior, se tiene el VI “fetch”, el cual, básicamente, se encarga de leer los datos de la sesión que se abrió con el USRP. Este VI se puede observar en la Figura 23.

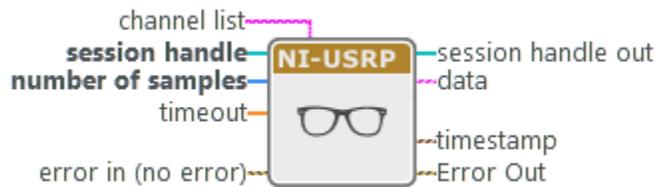


Figura 23. VI Fetch de lectura. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

El número de muestras se estableció como un 25% del rango de lectura (que se estableció en 400,000) para un total de 100,000 muestras por segundo. Esto concluye la etapa de lectura de la señal. Hasta el momento el programa ha sido configurado para poder comunicarse con el USRP y poder obtener la señal con 100,000 muestras por segundo.

5.1.4 Bloque de análisis de la señal

En este bloque se realizan todas las operaciones necesarias para descomponer la señal obtenida a través de la etapa de lectura para cumplir con todos aquellos requerimientos (ver Anexo III) previamente establecidos por el departamento de Mercadeo. El primer componente para visualizar la señal recibida es un indicador (ubicado en el panel frontal); este será dispuesto en forma de gráfico para facilitar al usuario, tanto principiante, como es el caso de los estudiantes, como experto, en el caso de investigadores.

Este gráfico (Figura 24) mostrará la captura de la trama de datos enviada por el control remoto. Para efectos de este proyecto no se requiere analizar en detalle la trama de bits o la diferencia entre los diferentes controles disponibles; sin embargo, facilita el entendimiento de la capacidad del USRP con propósitos de análisis de radio frecuencia.

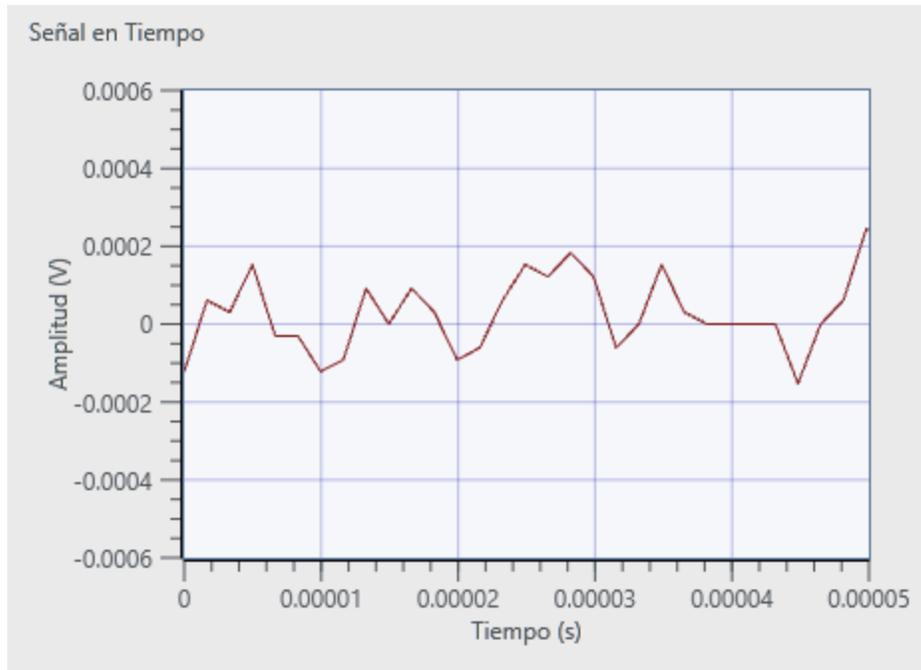


Figura 24. Gráfico en panel frontal para la señal en el tiempo. Fuente: creación propia.

Una característica importante en este gráfico, así como los demás que se han incluido como parte del panel frontal, es su capacidad de cambiar el valor de los ejes de manera dinámica para adaptarse a la señal que se va a desplegar. De esta manera se puede trabajar con diferentes señales con la salvedad de establecer estos valores para determinar los valores correctos de muestreo.

El siguiente paso en el análisis de la señal, es incluir un gráfico con el espectro de magnitud de la frecuencia de la señal; a pesar de que el dato no es tan relevante (ya que en operaciones posteriores se calcula con base en el espectro de frecuencia), permite al usuario visualizar la magnitud de frecuencia de la señal de entrada. El instrumento virtual que se encarga de generar este gráfico es el llamado

“Amplitude and Phase Spectrum”, el cual se puede observar en la Figura 25 y su resultado es el gráfico en la Figura 26, ambos se presentan a continuación.

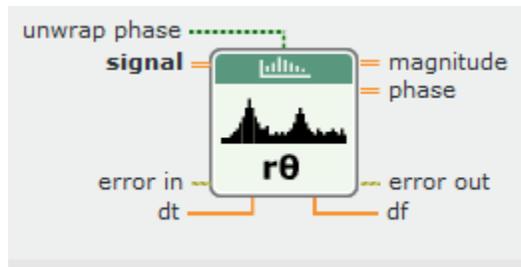


Figura 25. VI " Amplitude and Phase Spectrum". Fuente: Ayuda de LabVIEW.

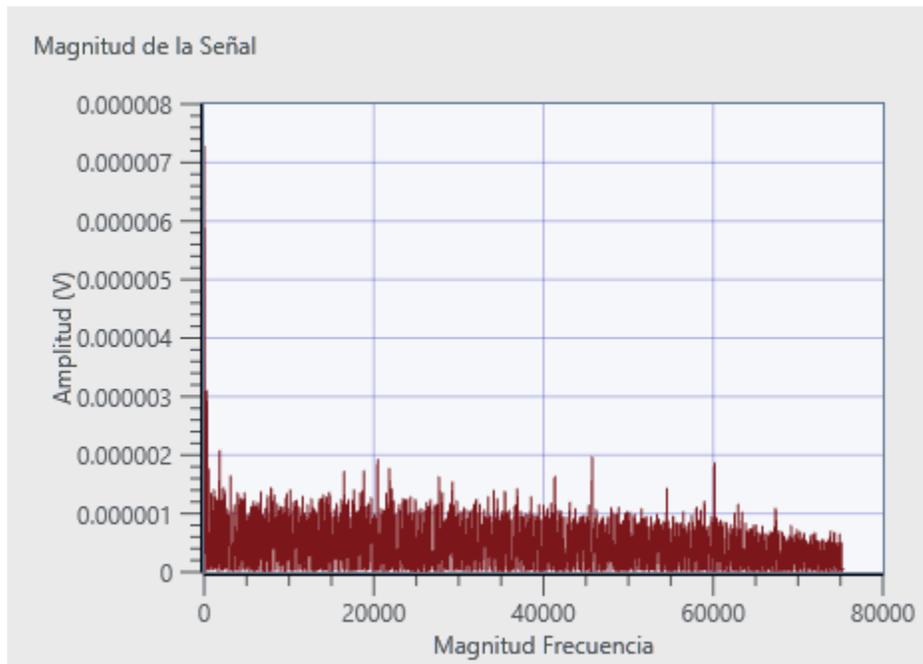


Figura 26. Gráfico en panel frontal de la magnitud de frecuencia. Fuente: creación propia.

A medida que se avanza en el análisis de la señal se requiere de instrumentos virtuales que permiten visualizar resultados de una manera más amigable; asimismo, permiten realizar cálculos matemáticos para ir cumpliendo con

cada uno de los requerimientos solicitados para una entrega satisfactoria del proyecto.

En el siguiente paso se desarrolló un análisis de potencia de la señal. El objetivo de este análisis es el poder entregar a las siguientes etapas del programa cada uno de los valores en magnitud de potencia de las diferentes frecuencias recibidas en el USRP; este paso es vital para la conclusión acertada de los valores a entregar.

El instrumento virtual encargado de esta operación es el “Power Spectrum for 1 Chan (DCB)” (Figura 27). La entrada de este VI es la propia señal recibida directamente de la operación de lectura sin filtros adicionales de manera programática; esto permite una salida que (para efectos del programa) será únicamente el espectro de potencia directamente, este será representado en la gráfica denominada Espectro de Frecuencia en el panel frontal (Figura 28).

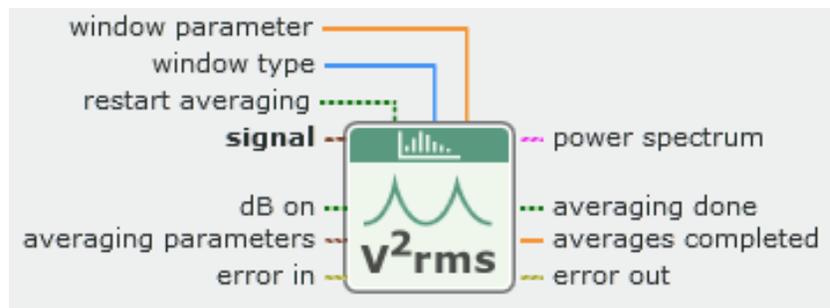


Figura 27. VI Power Spectrum for 1 Chan (DCB). Fuente: Ayuda de LabVIEW.

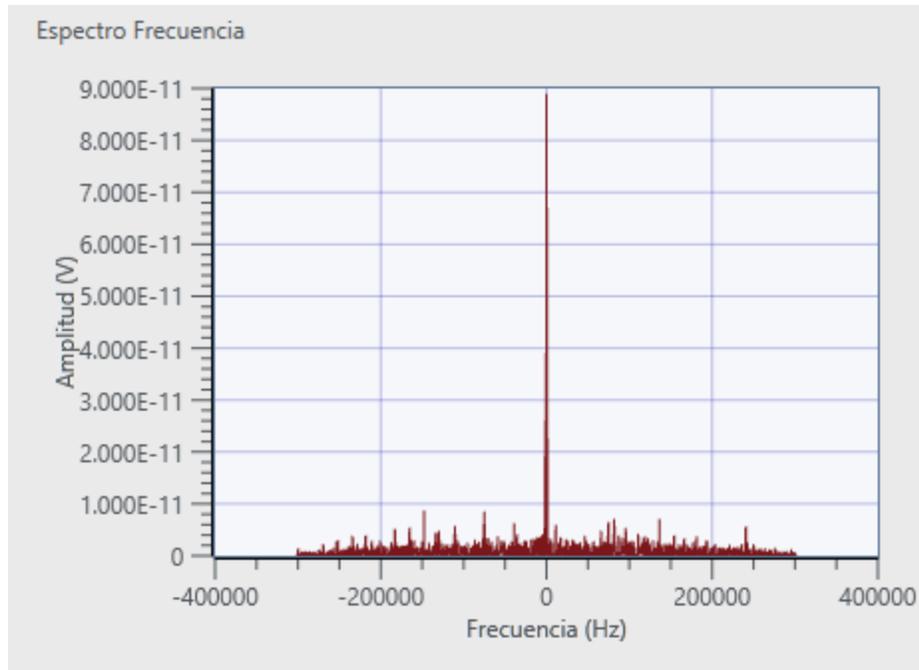


Figura 28. Gráfico de Espectro de Frecuencia. Fuente: creación propia.

Hasta el momento se ha obtenido la señal directamente del USRP. Se configuró la señal con parámetros de entrada pre-establecidos por medio del selector “enum”; se graficó la señal recibida con su trama de bits, así como su magnitud de potencia y su magnitud de frecuencia, de manera que se está dentro de lo establecido para este apartado. Así, los pasos anteriores se aprecian de siguiente manera (Figura 29) en el programa final:

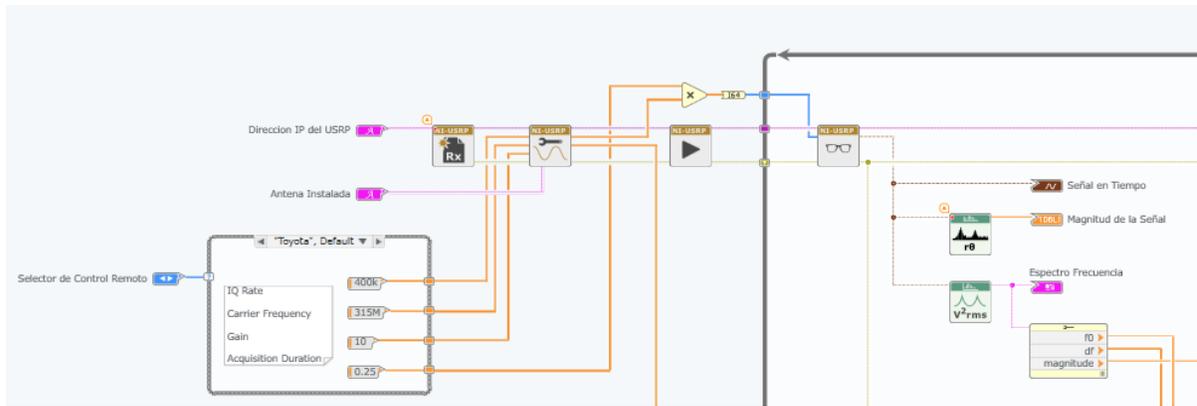


Figura 29. Diagrama de bloques, configuración y lectura y descomposición de señal. Fuente: creación propia.

Para el siguiente paso es necesario descomponer la señal obtenida por el VI “Power Spectrum for 1 Chan (DCB)” en sus diferentes partes. Se requiere de las magnitudes, el cambio de frecuencia y la frecuencia inicial para realizar los cálculos de frecuencia con mayor precisión. Esta descomposición se lleva a cabo gracias a una función de LabVIEW que permite traer de manera individual los resultados de ciertos VI. Esta función es la de los Nodos de Propiedad (Property Nodes) y se puede observar en la Figura 30.

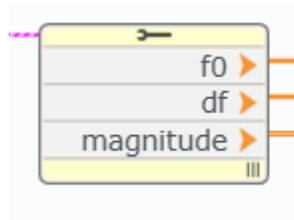


Figura 30. Nodo de Propiedad para VI Power Spectrum for 1 Chan (DCB). Fuente: creación propia.

Para entender un poco mejor cómo se relaciona este nodo con su fuente de datos, la Figura 31 muestra la correcta integración del nodo con su entrada desde el VI de origen.

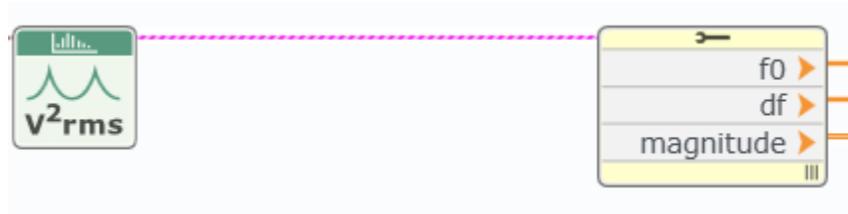


Figura 31. Cableado del VI de Origen al Nodo de Propiedad. Fuente: creación propia.

De acuerdo con los requerimientos obtenidos al establecer el alcance, los datos que faltan y que fueron establecidos como esenciales para evaluar el proyecto como exitoso son: la frecuencia de operación y la magnitud de potencia del emisor de prueba. Para tal efecto se tendrá que hacer un análisis de picos de frecuencia; por lo general, este es un análisis extensivo que requiere de transformadas de Fourier. Sin embargo, el ambiente LabVIEW Communications Design Suite 2.0 incluye un instrumento virtual que permite este análisis al tener de entrada la señal de origen (magnitud en el nodo de propiedad), ver Figura 32.

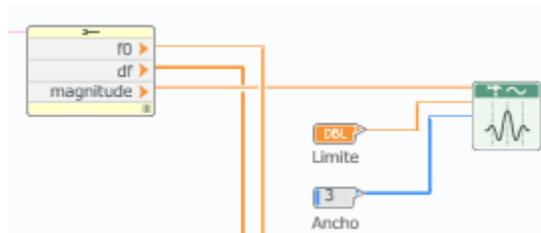


Figura 32 Extracto de Diagrama de Bloques, Nodo de Propiedad y Peak Detector VI. Fuente: creación propia.

La explicación de este bloque no estaría completa sin antes darle un vistazo a la función específica del VI “Peak Detector”. Como su nombre lo indica, es primordialmente un detector de picos; sin embargo, tiene campos de entrada y salida que se han utilizado en el desarrollo de este programa para poder establecer valores base de las ecuaciones matemáticas siguientes que darán los resultados esenciales anteriormente mencionados. En la Figura 33 se puede ver en detalle las entradas y salidas de este instrumento virtual:

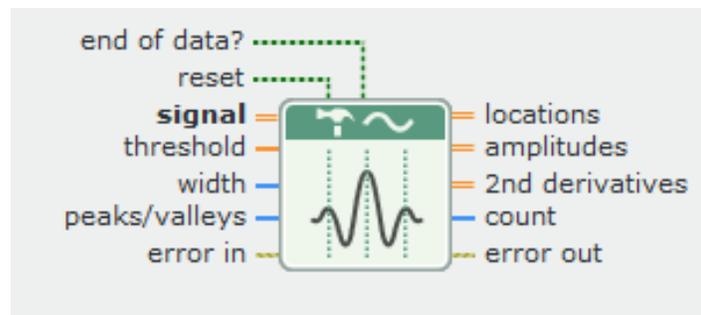


Figura 33. VI Peak Detector. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

El valor de entrada principal que es requerido por este instrumento virtual es la señal en forma de un arreglo de dos dimensiones. Luego de esto y durante el desarrollo del programa, se determinó que las entradas de *threshold* y de *width* son de importancia debido a la siguiente función de cada una. El *threshold* o *límite*, determina la magnitud en el eje vertical que será tomado en cuenta para validar cualquier dato de la señal. Por su parte, el *width* determina el número de elementos, ya sea picos o valles que, siendo adyacentes al elemento de mayor magnitud, serán tomados en cuenta como mediciones válidas.

A partir de los enunciados anteriores, es importante destacar que los llamados elementos se definen en este VI por medio de la entrada “Peaks/Valleys”.

El valor por defecto de esta entrada, al no tener ninguno definido, es de *Peaks*, por lo que no se definirá ningún valor de entrada. En cuanto a salidas de este instrumento, las de mayor interés para propósito del desarrollo son las de *Locations*, *Amplitude* y *Count*, que se explicarán en los párrafos siguientes.

La salida de *Locations* o *Ubicación* se refiere a la ubicación de los picos que cumplen con los parámetros de entrada del VI. En el caso de evaluar los picos, todos aquellos picos de frecuencia que en magnitud superen el *threshold* y que sean la cantidad de picos mayores a el valor de *width*.

Luego del arreglo de salida llamado “*amplitudes*”, se obtiene todo el arreglo completo de valores de los picos establecidos en el valor de “*width*”; de esta manera, se tiene un arreglo de tres elementos. Debido a que la muestra original es de 50,000 valores, se puede decir que la tasa de cambio entre estos picos es despreciable, por lo que se obtendrá el valor de la amplitud ubicada en el índice cero del arreglo. Esto resulta de utilizar la función de extraer el valor del arreglo, esta función y su salida se pueden apreciar en la Figura 34.



Figura 34. Conjunto de funciones para obtener el pico de potencia. Fuente: creación propia.

5.1.5 Bloque mostrar datos esenciales

Para el análisis final de la señal, en donde se despliega la frecuencia de operación del control remoto y la frecuencia de desfase con respecto a la frecuencia central, se obtendrá el arreglo que da la ubicación de los picos que se eligieron como válidos (de acuerdo con el criterio explicado anteriormente), y se podrá saber qué tan lejos o cerca se encuentra de la frecuencia de operación establecida al inicio del programa. Esta ubicación al ser multiplicada por el valor de cambio de frecuencia obtenido en el nodo de propiedad del espectro de frecuencia dará como resultado el valor de frecuencia del pico analizado, y permitirá la suma de la frecuencia inicial (no la de referencia), dando el desfase de frecuencia en kHz (ya que se estableció una ventana de kHz).

La tercera operación en este conjunto es la de obtener la frecuencia de operación del control remoto. Esto se logra sumando los kHz de desfase a la frecuencia de referencia, la cual se obtiene a partir del VI de configuración (ver Figura 19). Todo este proceso se traduce a manera de programa de siguiente forma:

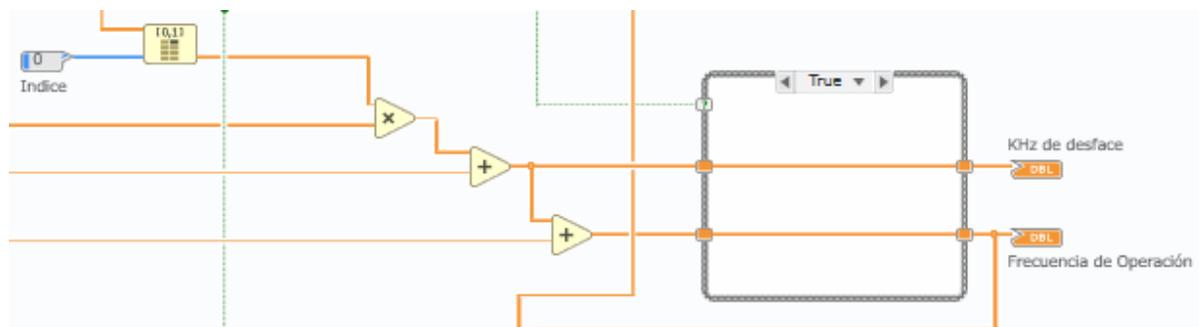


Figura 35. Conjunto de operaciones para calcular frecuencia de operación y desfase. Fuente: creación propia.

Como se puede observar en la Figura 35 se tiene una caja de selección de falso o verdadero. Esta opción permite seleccionar acciones específicas si se da o no una condición; para explicar la decisión en la Figura 36, se debe saber que este depende de la selección de si se dio o no una lectura válida. Esta es un resultado del VI de detector de picos: si hay un pico, se da un resultado booleano que también es representado en el panel frontal, esto se puede ver en las figuras 36 y 37.

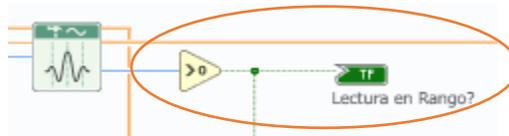


Figura 36. Operación para mostrar lectura valida. Fuente: creación propia.

La razón para tener esta caja de selección en el programa es evitar que existan lecturas de ruido que se estén desplegando en el panel frontal y confundan al usuario. De esta manera si no se tienen lecturas, el valor que se despliega es de cero, esto se puede observar en la Figura 37.

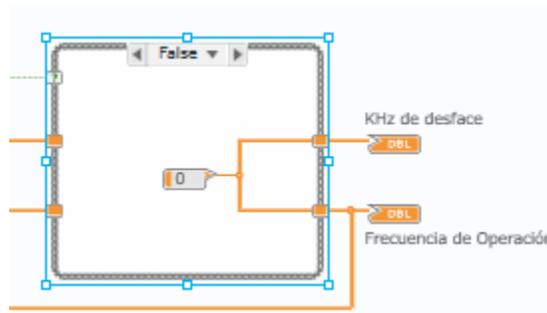


Figura 37. Valores de selección si no hay lectura válida. Fuente: creación propia.

5.1.6 Bloque de almacenamiento de datos

El almacenar los datos es una función opcional solicitada para este programa. Sin embargo, LabVIEW provee de funciones que no requieren de programas adicionales para guardar archivos separados por comas; esta función en el programa está determinada por la selección del usuario en el panel frontal de si quiere o no guardar un archivo con los valores y también de si hay una muestra válida, de otra manera el archivo será muy grande con valores inválidos para la muestra.

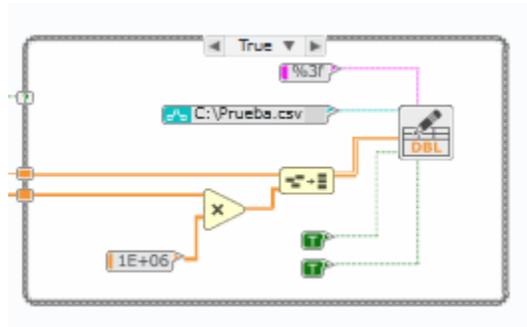


Figura 38. Bloque para salvar archivo. Fuente: creación propia.

Un detalle importante de este bloque es que la opción de falso no hace absolutamente nada, por lo que el bloque está vacío, como se muestra en la Figura 39:

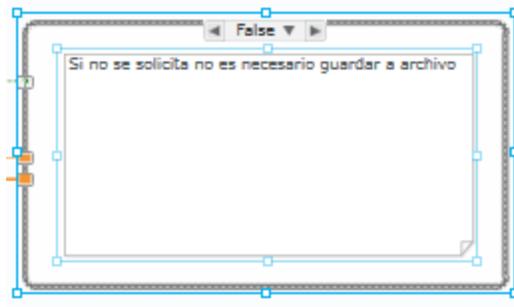


Figura 39. Caso Falso para selección de escritura de archivo. Fuente: creación propia.

La entrada de esta estructura de caso son los datos deseados, que para el programa son: la frecuencia de operación y la frecuencia de desfase. Estos datos van a un VI que crea un arreglo de datos para relacionarlos en el archivo (Figura 40):



Figura 40. VI para crear arreglos de elementos. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

Otra de las particularidades es que el VI que permite escribir datos al archivo requiere de un formato definido, dado en la forma de “%3f”. Esto quiere decir que el texto almacenado, al ser número, se crea con solamente tres dígitos significativos; es por esta razón que se multiplica la diferencia de frecuencia por un millón, de lo contrario, el valor se almacenaría correctamente. Las otras opciones disponibles no proveían de flexibilidad para almacenar estos datos. El instrumento virtual utilizado

que permite escribir el archivo sin ningún otro programa como parte del desarrollo es el “Write to Spreadsheet File” como se observa en la Figura 41.

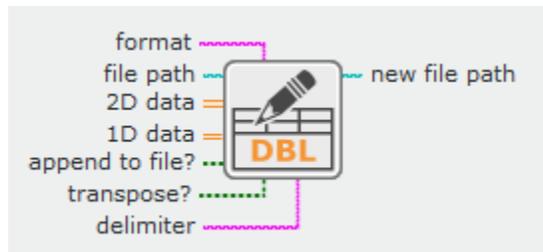


Figura 41. Write to Spreadsheet File VI. Fuente: Ayuda de LabVIEW.

En el programa no se requiere de todos los campos para que este VI funcione, por lo que se limitó al formato y la ruta de almacenamiento, que se definió como la raíz del disco duro de la computadora anfitrión. En el caso específico de los agentes de ventas de National Instruments no hay restricción de escritura en esta dirección, pero se podría cambiar la ruta, de ser necesario, desde este VI.

Las opciones de *Transpose* y *Append to File* fueron definidas como falsa y verdadera, respectivamente, para poder tener columnas en vez de una sola fila, y para usar el mismo archivo y crear una fila nueva con cada lectura. Todo este bloque de lectura, como se ha descrito anteriormente, se puede observar en la Figura 42.

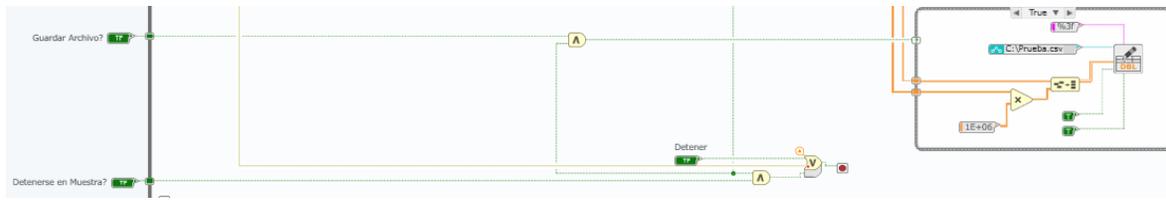


Figura 42. Bloque de escritura a archivo. Fuente: creación propia.

A este punto se ha hecho la lectura, análisis y almacenamiento de la señal; ahora, resta detener el ciclo, ya sea luego de una lectura valida (opción disponible para el usuario) o por solicitud del usuario durante la ejecución del programa. Esto se logra con los botones en el panel frontal, conectados a la opción *detener* del ciclo “while” principal, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Opciones para detener la ejecución del programa. Fuente: creación propia.

5.1.7 Bloque finalización y preparación de siguiente ejecución

El último bloque que ya no involucra ningún cálculo para el programa. Es requerido por LabVIEW para liberar recursos de memoria y procesamiento y evitar así que la computadora anfitriona entre en un ciclo de consumo de recursos. Esto se logra con los instrumentos virtuales de finalización, que son *abortar lectura*, desde el USRP, y el de *cerrar sesión*.

De nuevo, la función de ambos es liberar la memoria caché y desconectar la sesión virtual con el USRP. Al final del programa se tiene un indicador de error en caso de que hubiera algún evento que desencadene un error y la no ejecución del

programa. La Figura 44 muestra la forma en que esto se ve en el diagrama de bloques del programa.

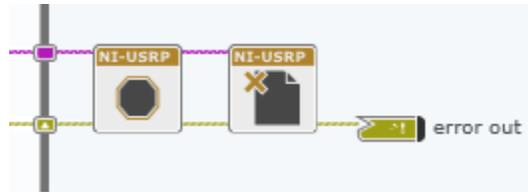


Figura 44. Instrumentos para *cierre de sesión*. Fuente: creación propia.

5.1.8 Diagrama de Programa Completo

Con referencia a los requerimientos del sistema se han cumplido los mismos para el componente de programación. El diagrama del programa completo se puede apreciar en diferentes secciones en las figuras 45, 46, 47, 48 y 49 a continuación.

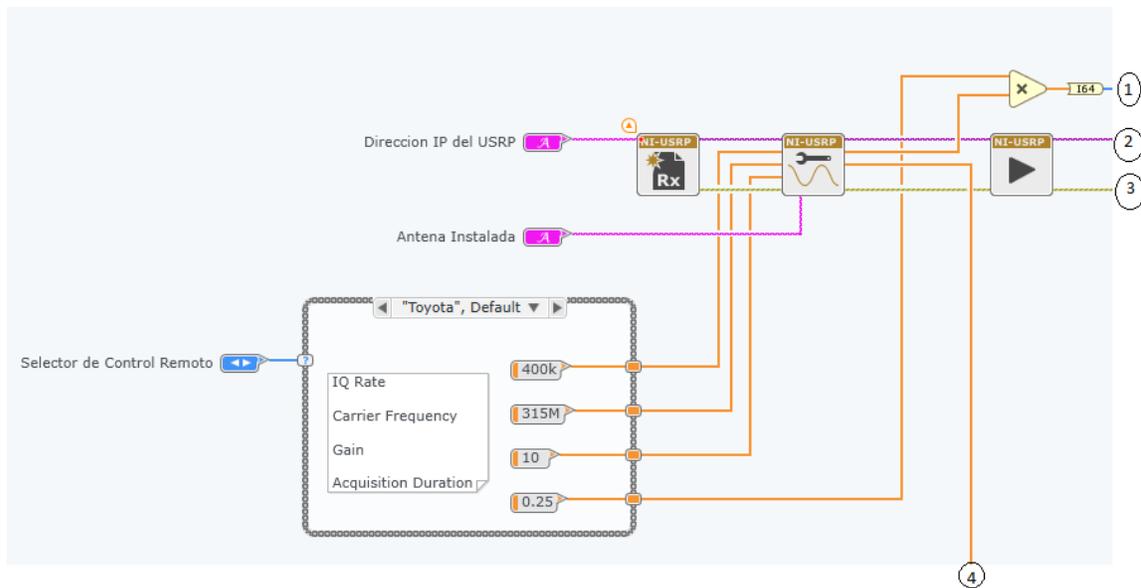


Figura 45. Parte (A) del programa. Fuente: creación propia.

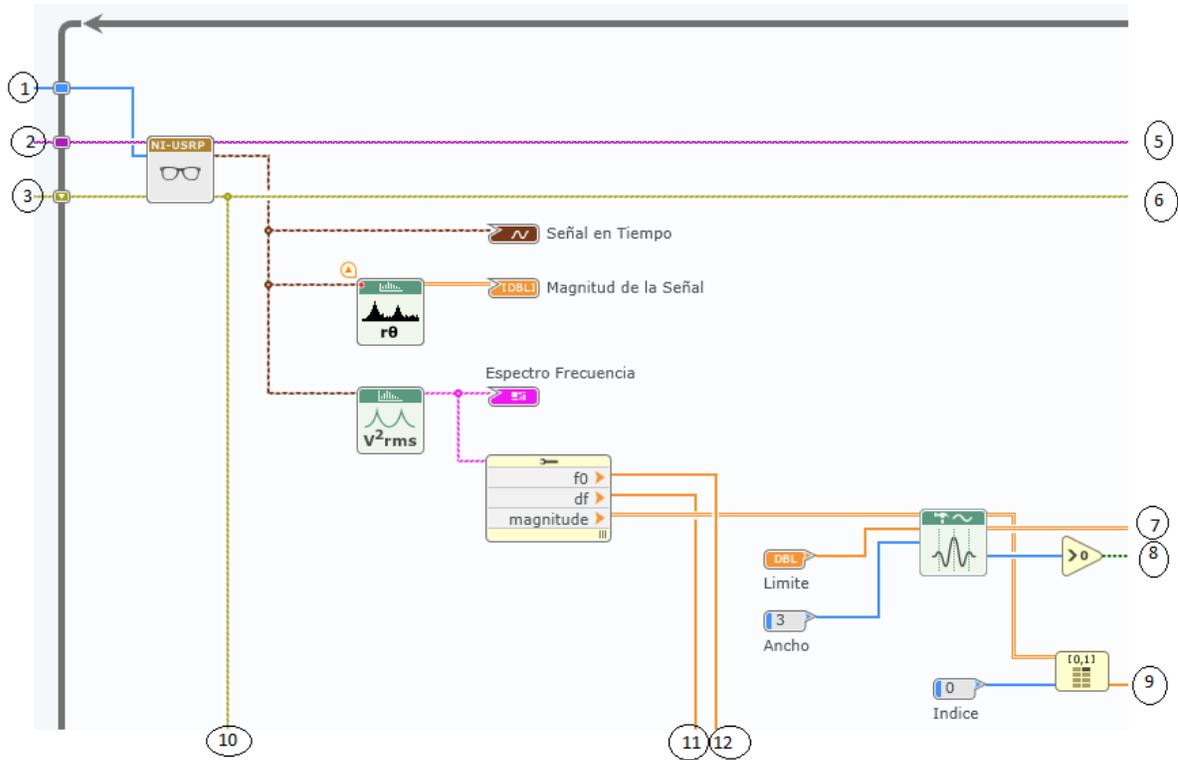


Figura 46. Parte (B) del programa. Fuente: creación propia.

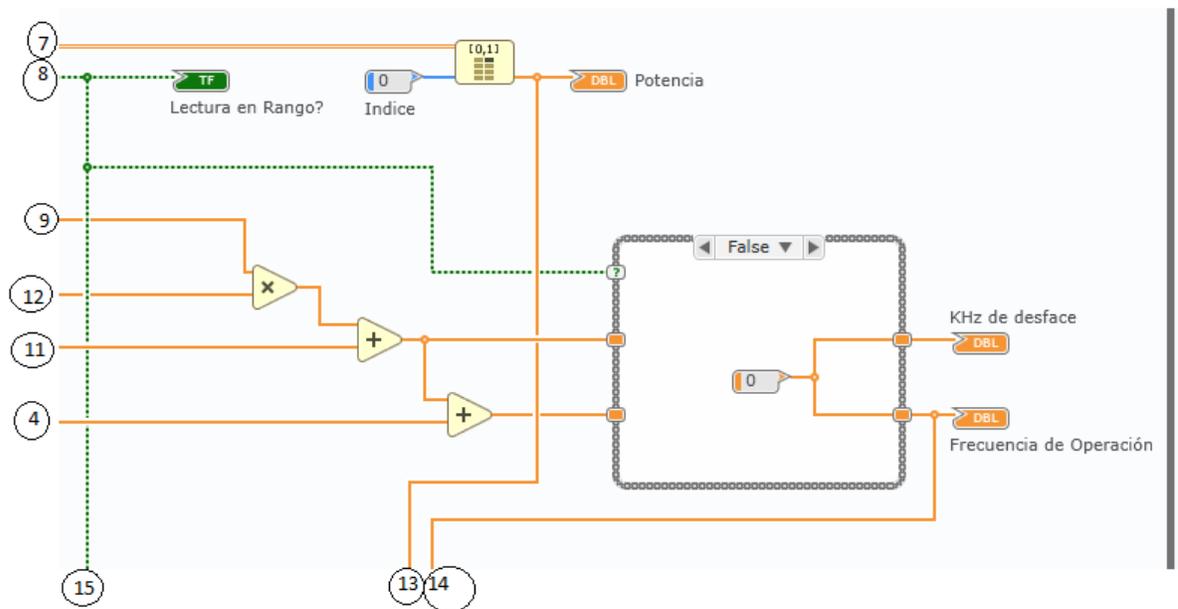


Figura 47. Parte (C) del programa. Fuente: creación propia.

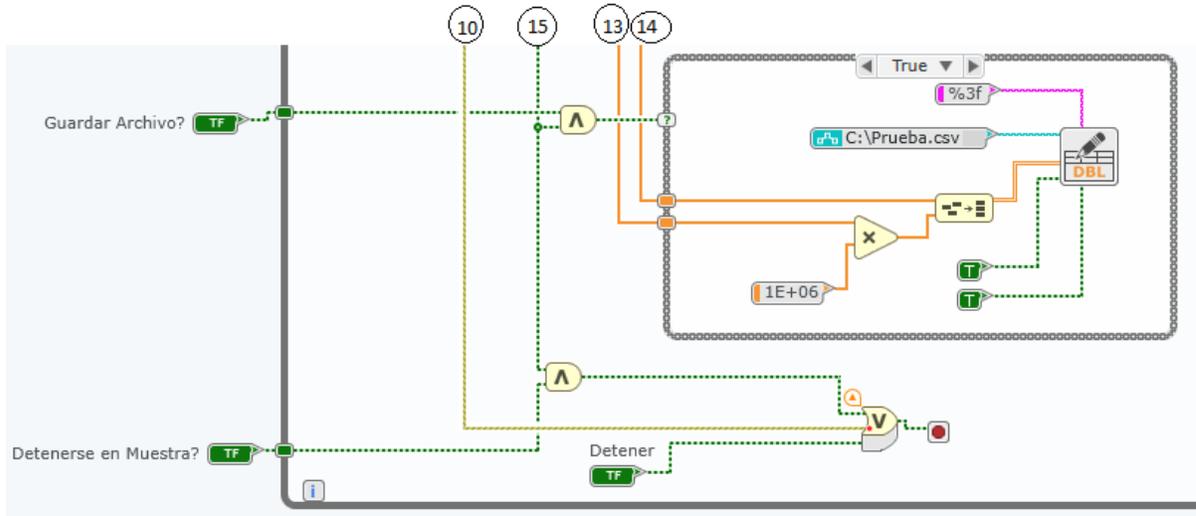


Figura 48. Parte (D) del programa. Fuente: creación propia.

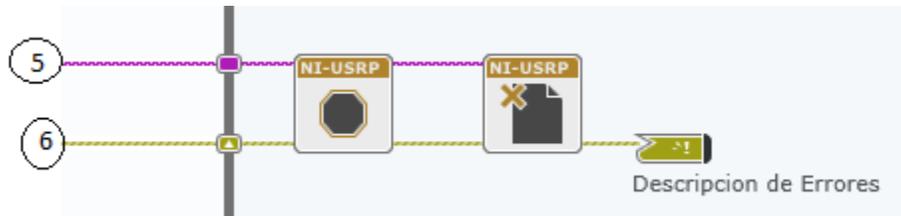


Figura 49. Parte (E) del programa. Fuente: creación propia.

5.2 Integración de los componentes

Al ser este un proyecto de demostración, el paso que sigue luego de la finalización de programación es la puesta en marcha de los diferentes componentes; esto es del *hardware* USRP con la computadora anfitriona para ejecutar el código y poner en funcionamiento el dispositivo.

En este caso, la computadora tiene capacidad de procesamiento estándar para la especificación de los ingenieros de ventas, utilizando un sistema operativo

Windows 10™, con el ambiente LabVIEW Communications Design Software 2.0, y el manejador de Universal Software Radio Protocol 6.0. Como se mencionó anteriormente se tiene una interfaz de red de Gigabit Ethernet para poder enviar y recibir los datos sin problema de cuellos de botella.

Al tener todo conectado se procedió a ejecutar el programa; la conclusión de los resultados obtenidos a partir de estas pruebas se analizará en el capítulo correspondiente al análisis de conclusiones. El sistema de demostración final quedaría de la forma en que se ve aprecia en la Figura 50:

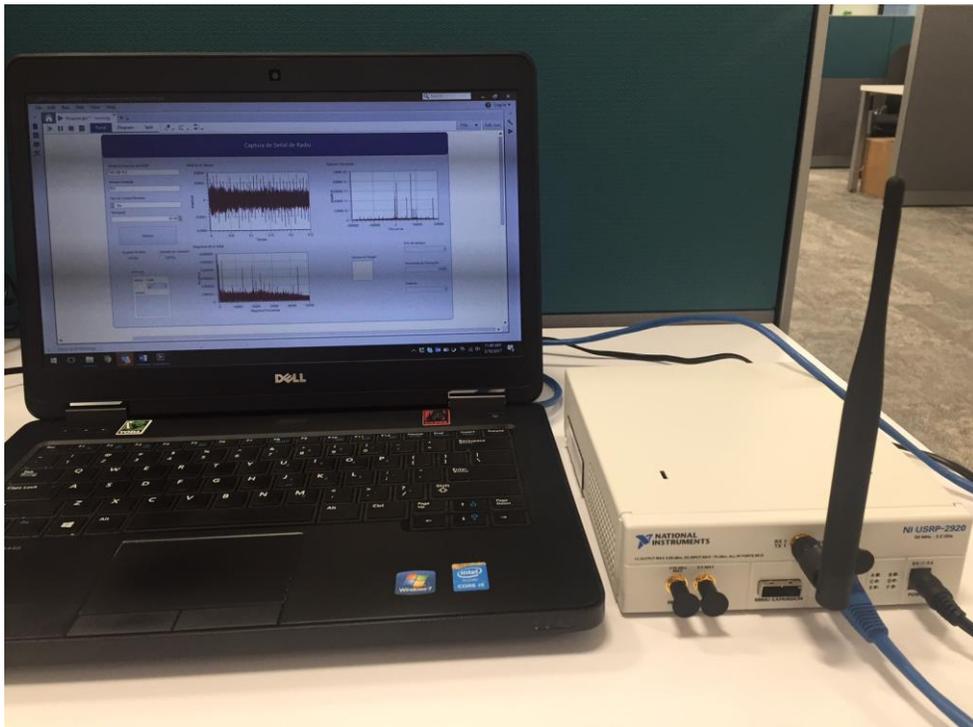


Figura 50. Sistema Ensamblado. Fuente: creación propia.

5.3 Evaluación costo-beneficio

Utilizando productos de National Instruments (incluyendo la licencia de LabVIEW Communications Design Software se tiene el siguiente cuadro de costos (Tabla 2):

Tabla 2. Comparación de costos.

Producto	Parte	Precio en USD
Horas Investigación (30)		\$360
Horas Desarrollo (40)		\$480
Horas Montaje (10)		\$120
USRP 2920	781906-01	\$3,325.00
VERT 2450	783075-01	\$45.00
DELL Latitude	E5280	\$1,019.00
LabVIEW Communications	782949-35	\$3,300.00
	Total	\$8,889.00

Fuente: creación propia.

El competidor del que National Instruments tiene conocimiento en este campo es el analizador de señales de Keysight (anteriormente Agilent); sin embargo, este no tiene ningún modelo específico para esta comparación. Al realizar una búsqueda de los modelos más populares, se encuentra que el modelo N9040B-526 es popular entre las compañías dedicadas a la investigación y desarrollo, por medio de información recibida desde diferentes ingenieros de campo y de ventas. Si bien es cierto este modelo no requiere de *software* para ser operado, el precio de mercado es mucho más elevado, comenzando en alrededor de \$89,655.00, de acuerdo con el sitio Used-line.com (Used Line, n.d.). Asimismo, haciendo una búsqueda de otros instrumentos en la misma línea, se pueden tener precios que desde los \$64,000.00. Estas comparaciones están respaldadas con la información del Anexo 4.

Con esta comparación se tiene una diferencia de más de \$81,000.00 dólares, lo que hace el proyecto apto para su uso y disseminación entre la fuerza de ventas. Si se toma en cuenta que la computadora es un equipo que ya se tiene y que la licencia interna de LabVIEW no tiene ningún costo, se reduce el costo a básicamente el equipo del USRP y la antena (alrededor de \$3,600.00).

5.4 Creación del *Manual de Usuario* del sistema

El manual de usuario para este proyecto se adjunta como parte de los anexos. Este manual será facilitado como parte de la documentación de cierre del proyecto al encargado de Mercadeo, quien, a su vez, lo facilitará a la fuerza de ventas e ingenieros de campo por los medios que National Instruments considere los más adecuados. La idea es que tanto el programa como su documentación se encuentren disponibles en cualquier momento para su fuerza laboral.

5.5 Análisis de resultados

Una vez elaborado el programa hecho e integrado con el *hardware*, se han obtenido los resultados que se muestran a continuación. Con estas pruebas el departamento de mercadeo revisó y ejecutó el programa y, de acuerdo con lo que se había establecido, le han dado el visto bueno (adjunto en anexos) al programa para ser ejecutado por los vendedores de Latinoamérica y sus ingenieros de campo. A continuación, se muestran las diferentes capturas de pantalla al utilizar el control remoto KIA:

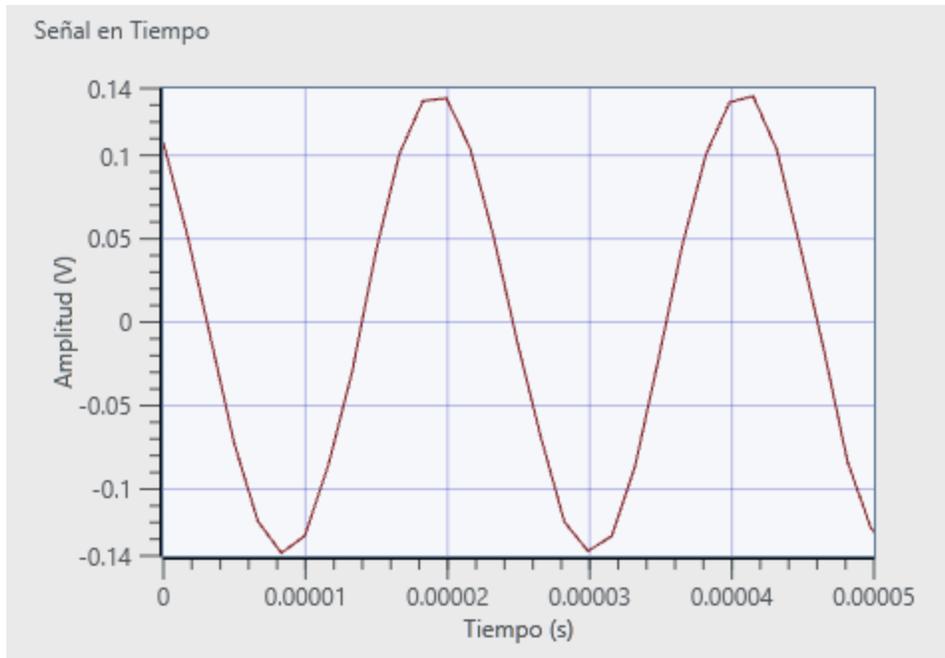


Figura 51. Señal en el Tiempo para el Control KIA. Fuente: creación propia.

A partir de la Figura 51 se puede concluir que la señal de salida del control remoto es recibida por el USRP, y el programa procede a traducir la señal desde el medio físico al medio digital. De esta manera se tiene como exitoso el poder mostrar la señal en la computadora; haciendo una configuración de las capacidades de capa física por medio del programa, se puede ver una clara escala de tiempo y una amplitud en Voltios. Para efectos de este proyecto no se analiza la trama de bits enviada.

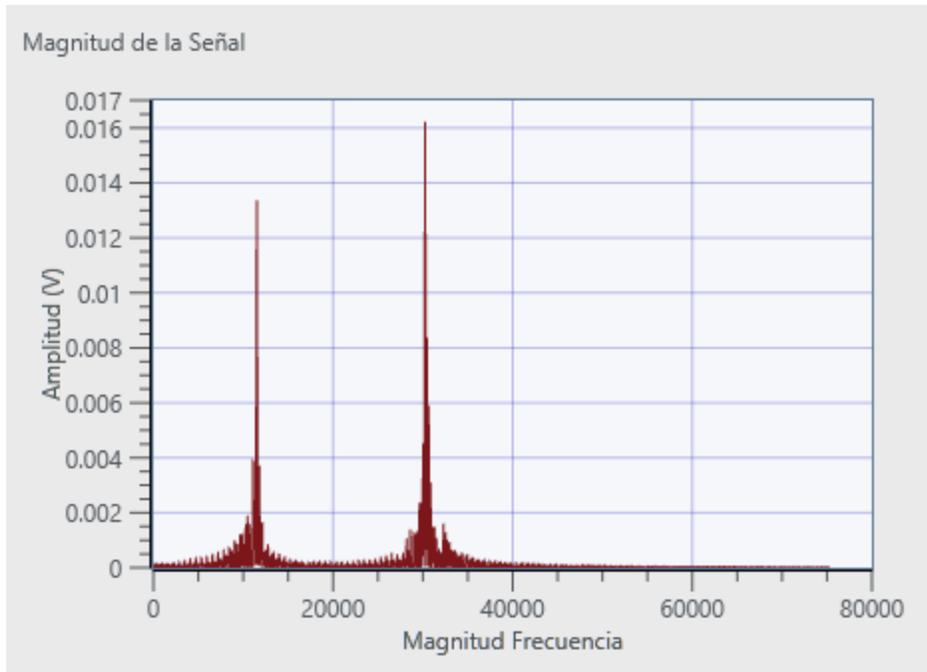


Figura 52. Captura de la Magnitud de la Señal. Fuente: creación propia.

Un rasgo característico del control remoto KIA es que envía dos señales simultáneas. Se concluyó que, a la hora de realizar el análisis de la frecuencia y desfase, se toma la frecuencia con mayor amplitud, debido al límite establecido. Un análisis importante que se puede hacer de la Figura 52 es el hecho que este es un análisis de banda lateral única, lo que significa que la mitad negativa de la señal ha sido suprimida y, como resultado, se obtiene una señal más limpia.

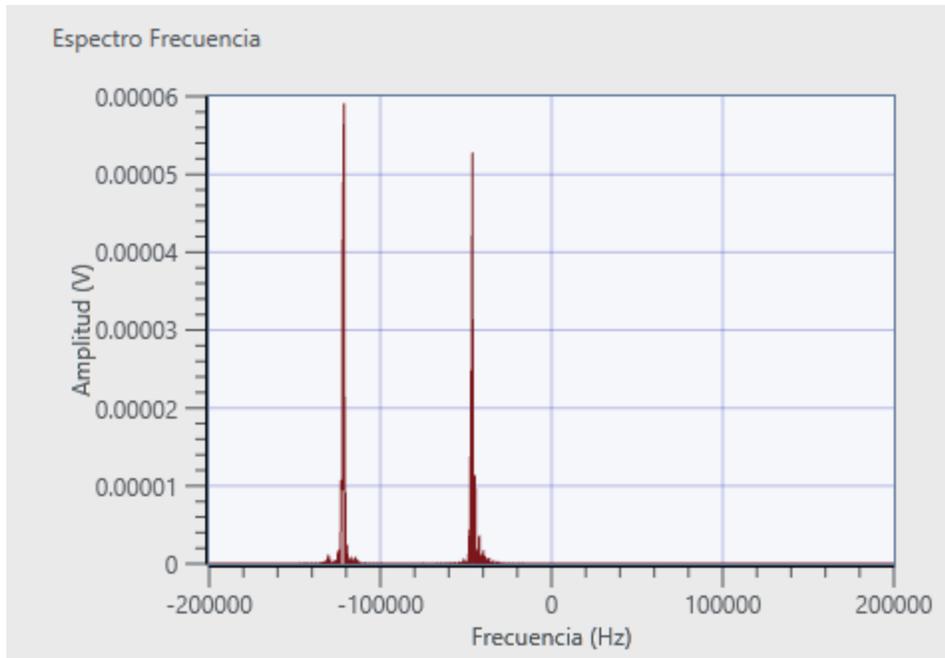


Figura 53. Análisis de Espectro de la Frecuencia. Fuente: creación propia.

De la Figura 53 se obtuvo la información de qué frecuencia específica es la que se está analizando. De nuevo, el resultado fue satisfactorio, ya que se puede observar claramente el desfase hacia la izquierda de la frecuencia de base para este control (predeterminada a 434MHz).

De esta gráfica también se obtiene un resultado en función de la frecuencia, más específicamente el análisis de espectro por transformada de Fourier. Como se mencionó anteriormente, se tiene una frecuencia con mayor amplitud, esto es el resultado de cómo trabaja el control sujeto a pruebas. Si se observa con detalle, se puede apreciar que las frecuencias no son de valor único en su espectro completo; esto se puede traducir al hecho de que el programa, en combinación con el

hardware, permite observar los armónicos de la señal y sus diferentes magnitud. Este comportamiento se observa a través de las diferentes pruebas que se dieron.



Figura 54. Datos Obtenidos en Lectura Válida. Fuente: creación propia.

Debido a que las frecuencias obtenidas y a que la de mayor magnitud es la que se encuentra más hacia la izquierda (ver Figura 53), se puede determinar que la frecuencia de operación es menor a 434MHz. Con las operaciones matemáticas que se explicaron en el capítulo 5 se determinó que la frecuencia de operación es de 433.86MHz y con -13,95KHz de desfase con respecto a la frecuencia de referencia. En la Figura 55 se presentan las capturas de pantalla de la prueba realizada con el control remoto Toyota:

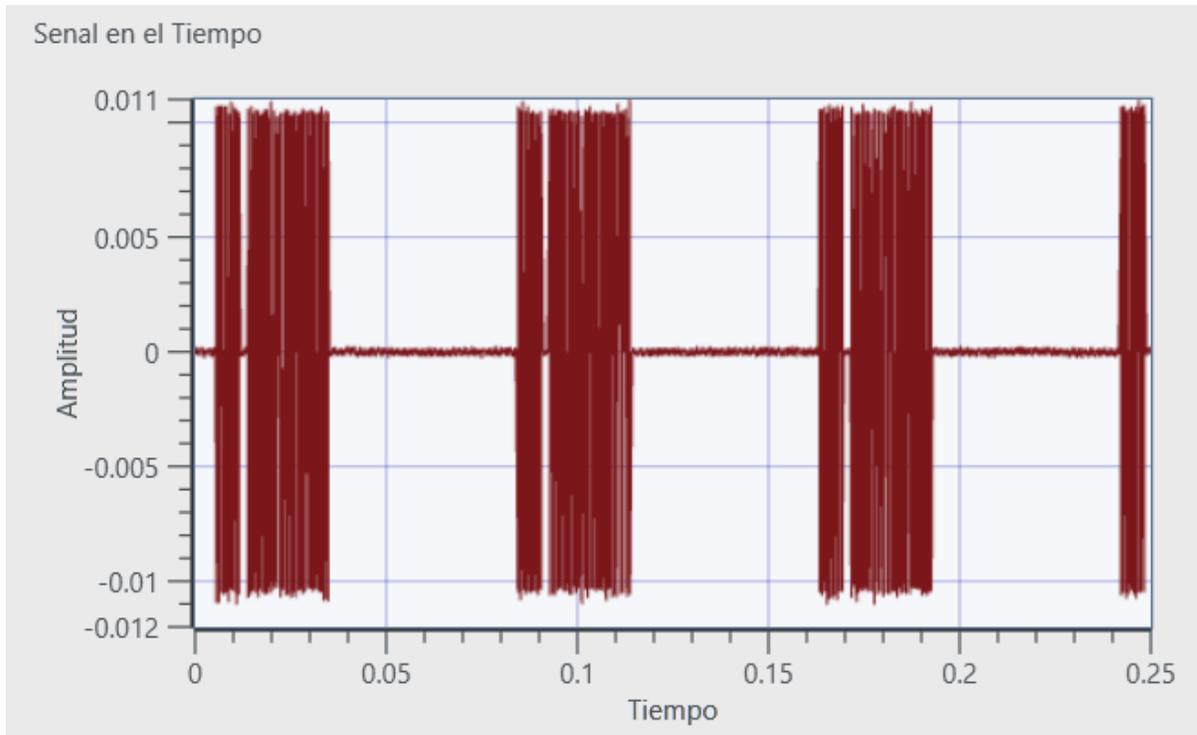


Figura 55. Señal en el tiempo Control Toyota. Fuente: creación propia.

Al igual que en el caso anterior se puede obtener la señal en el tiempo, aquella que es la trama de información en forma de bits que permite al receptor de una alarma saber que comando se le está enviando, se puede observar a una escala de tiempo diferente, ya que se ajusta automáticamente, como esta trama de bits está claramente separada.

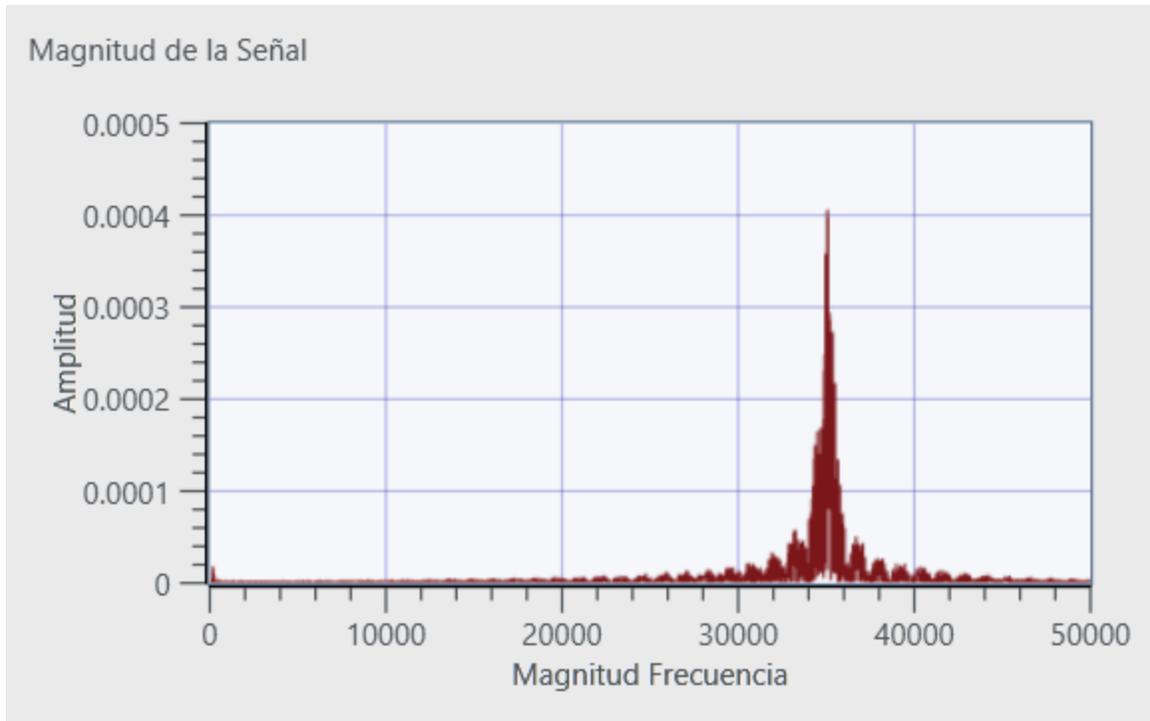


Figura 56. Captura de Magnitud de la Señal. Fuente: creación propia.

Con base en la Figura 56 se concluyó que la magnitud se encuentra en el arreglo en la posición alrededor de 35,000. Asimismo, a partir de este gráfico se puede saber que el control remoto solo envía una trama en la frecuencia, para el análisis de espectro completo se tiene la Figura 57. Al mismo punto de las pruebas, con el control anterior se pueden observar los diferentes valores para las señales de armónicos secundarias, lo que permite ver las diferentes frecuencias que son traducidas por el *software*.

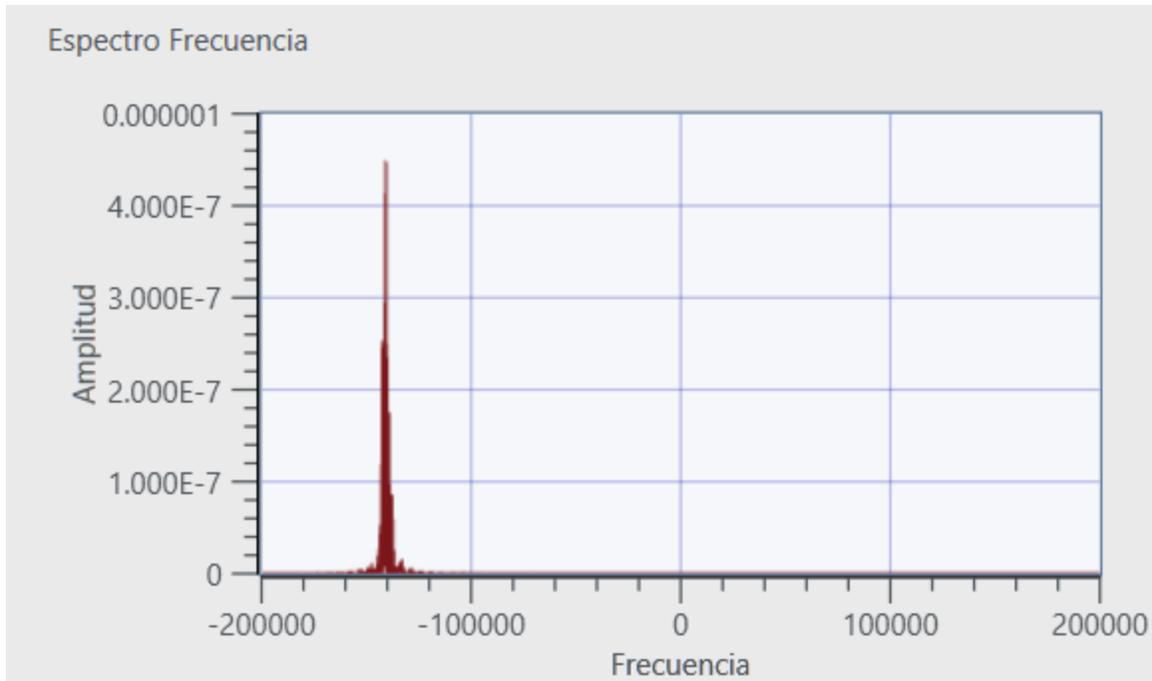


Figura 57. Análisis de Espectro Control Toyota. Fuente: creación propia.

Con base en la Figura 56 y con los datos obtenidos como lectura válida, se tiene que la frecuencia de operación del control remoto es de 314,86MHz y tiene un desfase de -13,76 KHz; con respecto a la frecuencia central predeterminada de 315MHz, su potencia de operación es de $1.88e^{-6}$

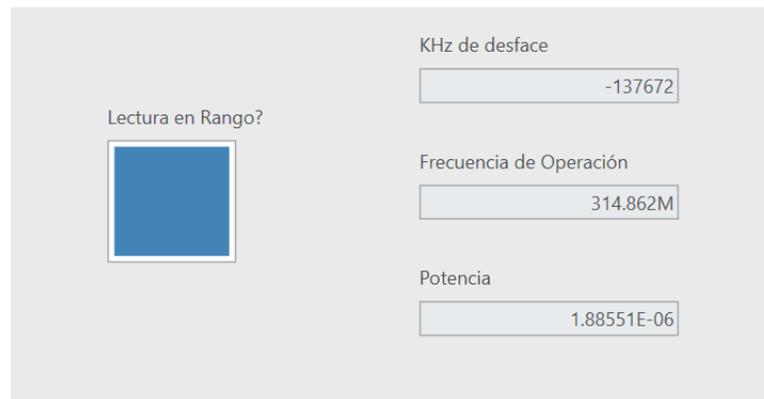


Figura 58. Datos Obtenidos del Control Toyota. Fuente: creación propia.

Asimismo, se guardó el archivo de prueba con ambos controles remotos y se obtuvo el archivo en la raíz del disco duro de la computadora. En la siguiente captura de pantalla (Figura 59) se muestra el resultado de este archivo, abierto desde un block de notas de Windows.

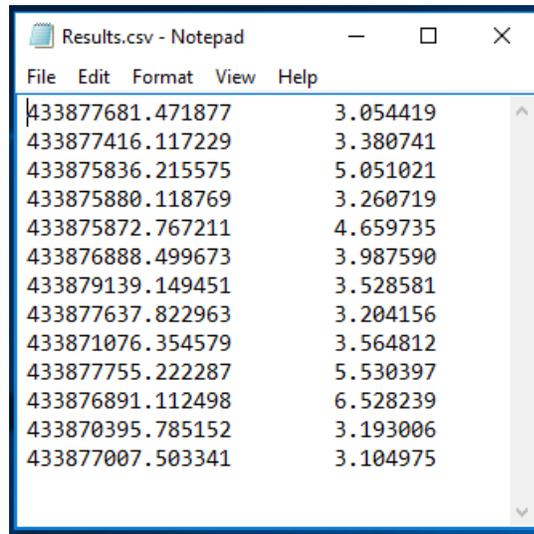


Figura 59 .Datos almacenados en archivo de texto. Fuente: creación propia.

El programa cumplió con la funcionalidad solicitada de detener su ejecución al tomar una muestra válida y ser guardada en archivo y también al momento que el usuario activa el botón de detener la ejecución. Esto se confirma con la carta de aceptación en el Anexo 6.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado el sistema para el análisis de señales de radio frecuencia para la empresa National Instruments, siguiendo los requerimientos técnicos tanto esenciales como secundarios y, al mismo tiempo, manteniendo el detalle de confidencialidad, debido a la naturaleza de generación de ganancia y ventaja en el mercado de investigación, desarrollo y académico se establecen las siguientes conclusiones y recomendaciones, con base en la experiencia obtenida durante el desarrollo de este proyecto:

6.1 Conclusiones

1. Involucrar desde las etapas tempranas del desarrollo del proyecto al encargado del proyecto en el departamento de Mercadeo permitió un desarrollo más acelerado en el cumplimiento de las características definidas como necesarias, así como disponer de más tiempo para desarrollar la mayoría de los requerimientos técnicos que fueron clasificados como opcionales para este proyecto.
2. Los controles remotos seleccionados para las pruebas de campo trabajan en las frecuencias de 434MHz y 315MHz, mientras que el USRP 2920 trabaja en un rango de 50MHz hasta 2.2GHz. De esta manera se concluye que el USRP permite recibir la señal de prueba sin inconvenientes.
3. Teniendo como referencia el estándar del FCC (Anexo 5) se puede concluir que el USRP con un rango de frecuencia de operación de 50MHz

hasta 2.2GHz no solo trabaja con los dispositivos sujetos a la prueba sino también con emisores o receptores inalámbricos dentro de este rango.

Al someter el sistema a pruebas por parte del personal del equipo de ingenieros de campo y de ventas, así como también por el encargado de Mercadeo, se corroboró el cumplimiento de los requerimientos establecidos como criterio de éxito para este proyecto (Anexo 4).

4. Debido a la interoperabilidad de fabricante, que permite una interacción sin problema entre los componentes del sistema, se obtuvo una aplicación efectiva para demostraciones en el campo, capaz de leer las señales de frecuencia de un control remoto por su componente de *hardware* y se brinda un análisis por el programa diseñado para tal fin.
5. El programa funcionó correctamente en todas las pruebas, teniendo un rendimiento de 100% con respecto a las lecturas respectivas efectuadas con el sistema.
6. En cuanto al costo-beneficio del proyecto, este es claro, debido a un ahorro potencial de alrededor de \$80,000.00 en la implementación específica de un sistema equivalente con el equipo de la competencia. Así pues, este es un proyecto viable que generará ganancias no solo a National Instruments, sino también a sus clientes, lo cual servirá para desarrollar una estrategia de ventas.
7. Se compiló el manual de usuario y se presentó al encargado, quien le dio su visto bueno, ya que cumple con proveer a los ingenieros de campo de

una guía paso a paso sobre cómo utilizar el dispositivo para diferentes áreas de evaluación.

8. El ambiente de programación LabVIEW de National Instruments permitió la programación de funciones en capa física, así como el análisis de espectro, dejando en evidencia que es posible la programación de radio definida por *software*.
9. El nivel de detalle que se puede observar en los gráficos, a partir del cual se pueden observar los armónicos de la señal, permite afirmar que la programación en LabVIEW puede reemplazar los instrumentos tradicionales por esta opción más flexible y económica.
10. El programa provee de una función de almacenamiento de datos; por lo tanto, se puede concluir que en una aplicación de mundo real se podría obtener y almacenar datos sin la necesidad de interacción humana.

6.2 Recomendaciones

1. Proveer a las personas involucradas en el desarrollo de proyectos de demostración con el acceso al historial de casos, base de datos de problemas conocidos y, en general, a los recursos que puedan facilitar conocimiento a la hora de realizar programas en el ambiente LabVIEW, resolviendo, de manera más eficiente los problemas que se puedan presentar en el futuro.

2. Brindar entrenamiento sobre el paquete de comunicaciones para LabVIEW al equipo de ingenieros de ventas, en sesiones de una hora semanal por los próximos tres meses, con el propósito de complementar el conocimiento de sobre la unidad de prototipos USRP y las funciones que se pueden desarrollar.
3. Brindar un entrenamiento de 30 minutos sobre el ensamblaje, requerimientos técnicos y ejecución del programa, dirigido a los vendedores que van a hacerse cargo de las demostraciones del sistema.
4. Mantener el *manual de usuario* disponible en cualquier momento para el personal de ventas y de ingeniería, evitando la creación de múltiples versiones. Para esto se recomienda una unidad de red de lectura en donde solo el encargado del departamento de Mercadeo tenga acceso de escritura; en esta misma unidad se pueden almacenar las diferentes versiones del documento que se vayan creando según se agreguen funciones.
5. Desarrollar funciones adicionales en el dispositivo que permitan, además de recibir señales, enviar señales y comandos específicos a otros dispositivos. Ampliar el alcance del dispositivo para poder utilizar otros dispositivos de radiofrecuencia, como lo son radios de onda corta, enrutadores inalámbricos, celulares, entre otros.
6. Dedicar un espacio físico dentro de las instalaciones de National Instruments para realizar pruebas del dispositivo y así evitar tener que ensamblar el sistema cada vez que se quiera utilizar o demostrar.

Bibliografía

- Britannica, T. E. (2006, Septiembre 22). *Electric Current*. Recuperado de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/electric-current>
- Georgia State University. (2008). *Hyperphysics*. Recuperado de Campo Magnético: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/magfie.html#c1>
- Hyperphysics. (2012). *Hyperphysics - Georgia State University*. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/magfie.html>
- KeySight (ebay store). (s.f.). *ebay*. Recuperado de Keysight Store: http://www.ebay.com/itm/Keysight-Premium-Used-N9040B-UXA-Signal-Analyzer-3-Hz-26-5-GHz-Agilent-/182296539206?hash=item2a71b87046&_ga=2.188174888.1630161774.1493417926-d96eec7f3e0e900c14dbfccaf37d0e48
- Maxim Integrated. (2005). *Application Note 3395*. Recuperado de: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3395>
- National Instruments. (s.f.). *Paquete para Comunicaciones de LabVIEW para USRP (SDR)*. Recuperado de USRP: <http://www.ni.com/labview-communications/usrp/esa/>
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodos de la Investigacion*. México: McGraw-Hill.
- Software Defined Radio Forum. (2007). *SDRF Cognitive Radio Definitions*. Recuperado de: http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-R-0011-V1_0_0.pdf
- Universidad de Alcalá. (2016). *Fuentes de Información*. Recuperado de: <http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/index.html>
- Universitat Politècnica de Valencia. (2003). *Antenas*. Recuperado de: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF
- Used Line. (s.f.). *Agilent HP N9040B-526*. Recuperado de: <http://www.used-line.com/signal-analyzer/miscellaneous/keysight-technologies-n9040b/item-10933764>
- WNI México. (s.f.). *WNI México*. Recuperado de: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79

Anexo I. Manual de Usuario

Manual de Usuario para el Sistema de Captura de Señal de Radio por medio del USRP 2920 de National Instruments

El presente documento tiene como propósito establecer la forma correcta de utilizar el Sistema de Demostración de Captura de Señal de Radio por medio del USRP 2920. Antes de ponerlo en funcionamiento es necesario asegurarse de cumplir con los requerimientos técnicos que se presentan a continuación:

- Computadora Dell con la imagen corporativa instalada de Windows 10
- LabVIEW Communications Design Suite 2.0
- USRP Driver 6.0 o superior
- Conexión Gigabit Ethernet
- Antena VERT 2450
- USRP 2920
- Control Toyota y KIA (disponibles en el kit de demostración)

Se deben realizar las conexiones como se establece en el manual de usuario del USRP 2920; luego de esto, debe asegurarse de que la computadora anfitriona tenga una IP fija en 192.168.10.1 (como parte de los datos preestablecidos en su unidad USRP ese es el dominio de IPs fija, el USRP tendrá la dirección 192.168.10.2). A continuación, se le presentará el siguiente panel frontal para ejecutar el programa (Figura 1):

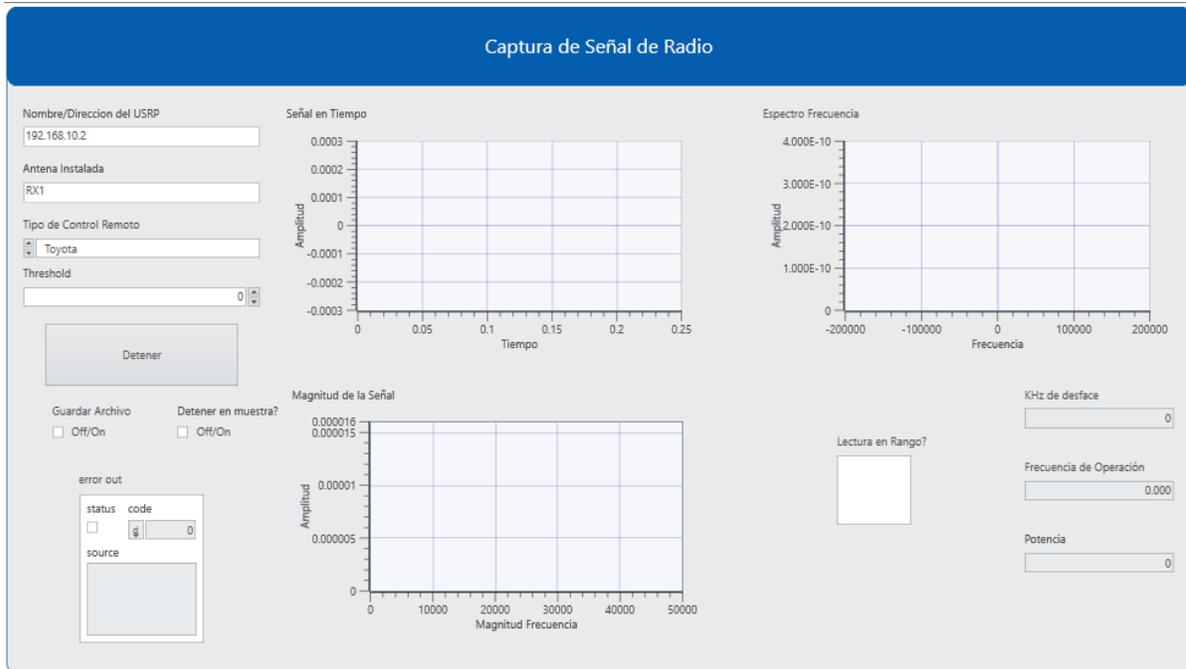


Figura 1. Panel Frontal del Programa. Fuente: creación propia.

Este panel está diseñado para poder escoger pocas opciones con una amplia gama de resultados. La dirección IP del USRP debe estar establecida como 192.168.10.2 y la antena correctamente instalada en el receptor RX1.

Luego de esta selección, el panel frontal debe elegirse el control remoto a probar, ya sea el KIA o el Toyota. Estas opciones se encuentran disponibles en el menú de selección llamado “tipo de control remoto” (Figura 2):

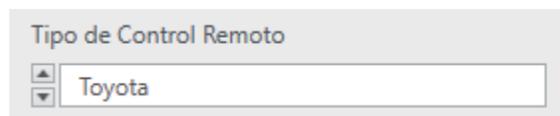


Figura 2. Menú de Selección de Control Remoto, Fuente: Creación Propia

El espacio de **Threshold** (Figura 3) le permite determinar la potencia máxima a la que se va a realizar la medida; el valor recomendado es superior a 1KHz y se puede refinar dependiendo de la distancia con el control remoto y de que tan atenuada se reciba la señal.



Figura 3..Campo de Threshold en Panel Frontal. Fuente: creación propia.

La opción *Guardar Archivo* le permite guardar un archivo con todas las muestras de la ejecución que hayan sido válidas y la opción *Detener en Muestra* permite detener el programa a la primera lectura válida de la señal. El botón de *Detener* le permite detener el programa en cualquier momento durante su ejecución. Estas opciones se pueden observar en la Figura 4 que se muestra a continuación.

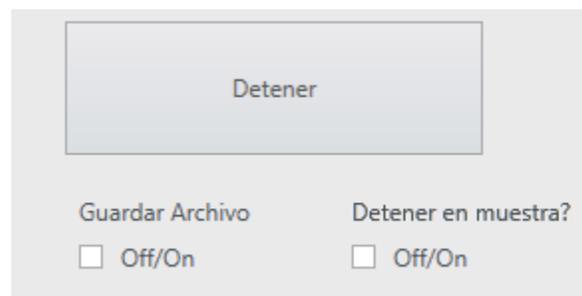


Figura 4. Opciones para *Detener programa* o *Guardar Archivo*. Fuente: creación propia.

Luego de que estas opciones han sido configuradas, dependiendo de la necesidad de la prueba, el programa se puede ejecutar y los resultados que se pueden observar en pantalla son los siguientes:

-Si hay un error de salida o alguna razón por la cual el programa no se pueda ejecutar, esto será notificado por medio del cuadro *Error Out*, que se muestra a continuación en la Figura 5:

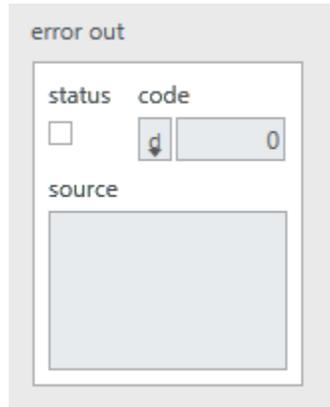


Figura 5. Cuadro de notificación de errores. Fuente: creación propia.

En cuanto a las señales, se puede observar la cadena de bits enviada por el control remoto, en la gráfica llamada “Señal en el Tiempo” (Figura 6). La magnitud de la señal se puede obtener en la gráfica llamada “Magnitud de la Señal” (Figura 7), mientras que el espectro de la señal se puede observar en la gráfica llamada “Espectro de Frecuencia” (Figura 8).

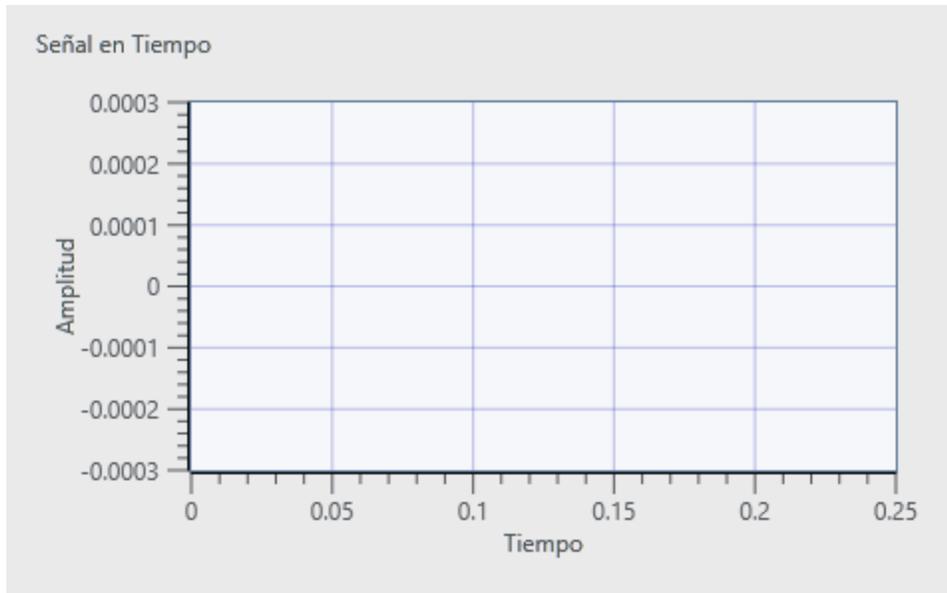


Figura 6. Gráfica de señal en el tiempo. Fuente: creación propia.

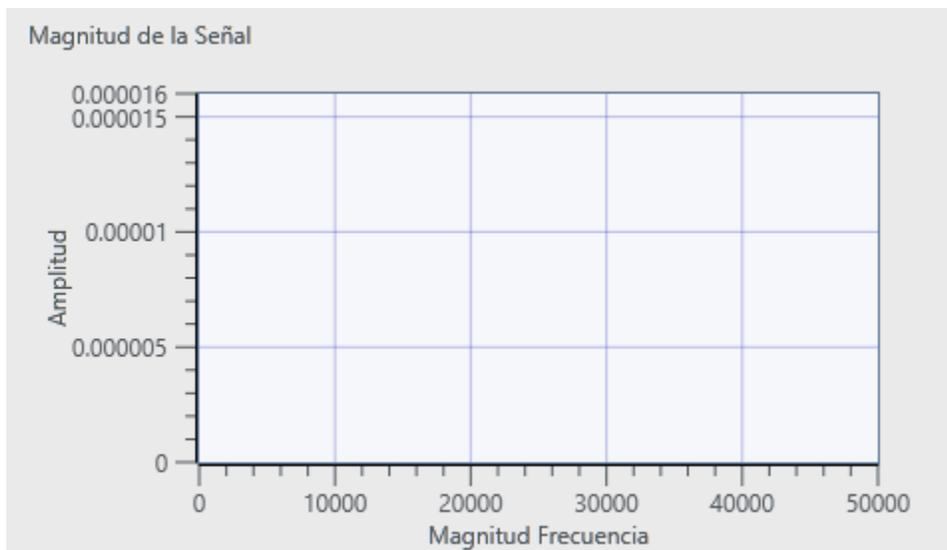


Figura 7. Gráfica de la magnitud de la señal, Fuente: creación propia.

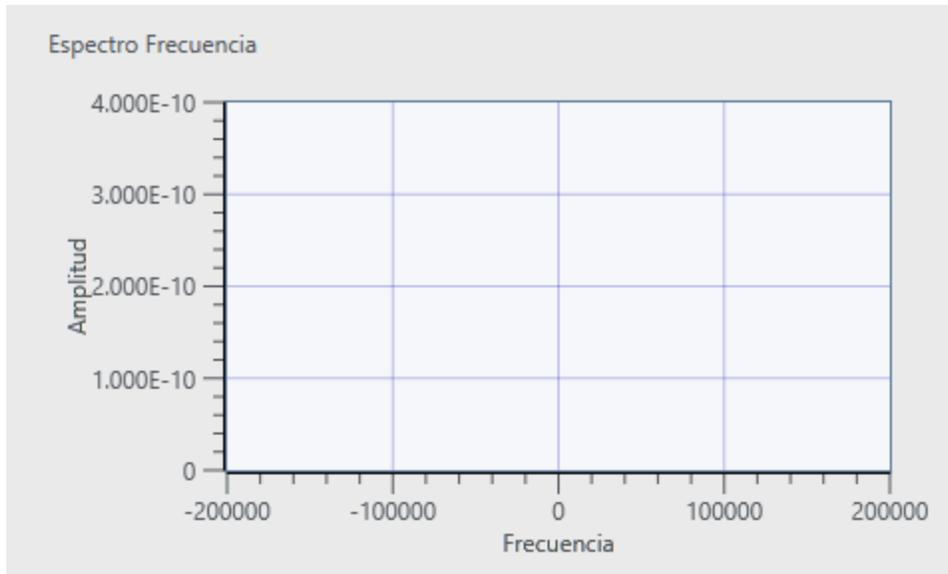


Figura 8. Gráfica de espectro de frecuencia. Fuente: creación propia.

Los campos restantes que se observan son si la lectura es válida y cumple con los requisitos del control remoto y de Threshold, así como los resultados de los KHz de desfase en comparación con la señal de acarreo, la frecuencia de operación y la potencia de la señal; estos se muestran en la Figura 9 (ver abajo):

Lectura en Rango?

KHz de desfase

Frecuencia de Operación

Potencia

0

0.000

0

Figura 9. Opciones de lectura de la señal. Fuente: creación propia.

Recuerde que si seleccionó la opción *Guardar Archivo* el mismo será creado en el directorio raíz de su computadora en forma de archivo de texto y el programa le solicitará el nombre que desea ponerle a este archivo.

Si tiene más consultas con respecto a este sistema de demostración o su ejecución, por favor diríjase al equipo de Mercadeo para Latinoamérica.

ANEXO II. ENTREVISTA CON EL ENCARGADO DE MERCADEO

1. ¿Cuál es la necesidad que hay que resolver?

En este momento debido a un estudio que se hizo a lo interno, se pudo observar el comportamiento de venta de ciertos productos que no están siendo tan positivos como se esperaba, especialmente el USRP que ha sido un producto clave al que se le quiere dar más desarrollo. Es de ahí que se ha comenzado a desarrollar una estrategia de mercadeo para darle más fuerza a este producto. Con esto en mente la primera etapa de este proyecto se procedió a conversar con el equipo de ventas de Latinoamérica lo que dejó en claro la falta de desarrollo de equipos de pruebas alrededor del USRP.

2. ¿Cuál es el rol de mercadeo en resolver esta necesidad?

El equipo de mercadeo es responsable de definir y ejecutar la estrategia con los distribuidores de National Instruments, a pesar de que estos detalles son confidenciales por la sensibilidad de desarrollo en el área con respecto a nuestros competidores, es parte de nuestras responsabilidades el facilitar al equipo de ventas con equipo de demostración, ideas para capacitar al personal y así incrementar las ventas.

3. ¿Qué presupuesto se tiene para desarrollar este proyecto?

Una buena pregunta, aquí la clave es que no se puede comprar equipo diferente al que ya tenemos, esto es para mantener el presupuesto al mínimo, eso quiere decir

que se da como una iniciativa local, primeramente, si el prototipo funciona entonces podemos discutir de una aplicación a la siguiente escala lo que permitiría obtener fondos para equipo específico o mejor al que se tiene actualmente.

4. ¿Cuál es el tiempo máximo para el desarrollo de este proyecto?

La idea es que este proyecto se pueda concluir para el inicio del tercer cuarto del siguiente año (2017), eso nos da el suficiente tiempo para el desarrollo del proyecto y también dar el entrenamiento apropiado al equipo responsable de la ejecución en el campo. Eso sí, este tiempo incluye la documentación del proyecto y poder tener listo el manual.

5. ¿Cuáles son los requerimientos técnicos del proyecto?

Bueno los requerimientos en general del proyecto se basan en lo que queremos mostrar a los clientes, en base a discusiones que hemos tenido a lo interno y desencadenaron el desarrollo de este proyecto, es así como tenemos la lista de requerimientos (ver Anexo3 con la lista que fue entregada)

6. En cuanto a la integración del sistema, ¿qué tan portátil debe ser?

Como se especifica en la lista (de requerimientos) tiene que ser muy portátil, la idea de las demostraciones es que se puedan hacer en el campo, eso quiere decir que el ingeniero de ventas pueda tener la capacidad de llevar el USRP a través de

aeropuertos y andarlo en una maleta sin mayor problema, los dispositivos de emisión se tienen que proveer ya que no tenemos seguridad que un cliente los tenga a mano, por eso tenemos que limitar esto a controles de alarma para carros, y podemos usar un par con diferentes frecuencias que sean las más comunes.

7. ¿Cuáles son los mayores competidores en el área de medición de radiofrecuencia?

Pues en esta área hay mucha competencia por que la gama de productos es muy amplia dependiendo de la aplicación, hay aplicaciones sencillas que son abarcadas por instrumentos básicos, y hay aplicaciones muy complejas que son lideradas por fabricantes muy específicos, en nuestro caso tratamos de llegar a todos los mercados y esa es la magia de NI, podemos hacer que un solo equipo trabaje en diferentes áreas solo cambiando la programación del equipo. Pero bueno el mayor competidor que tenemos hasta el momento de acuerdo al equipo de ventas es Keysight, antes eran Agilent, y uno de sus espectrómetros el N9040UX.

8. ¿Hay algún requisito luego de la finalización del proyecto?

El proyecto como un todo se desarrolla y finaliza normalmente, no hay algo específico luego de finalizarlo, sin embargo, como le mencione anteriormente si necesitamos que el equipo este entrenado en el uso del proyecto y que haya un manual luego de que usted finalice la integración de todas las partes.

9. ¿Cuál es el criterio de éxito de para el proyecto?

Se debe evaluar el proceso de integración, pero más que nada que se permita desplegar la información que es parte de la lista (de requerimientos, adjunta en el Anexo 3), si esto se despliega de forma correcta y es una interfaz amigable con el usuario podemos decir que el proyecto de desarrollo es un éxito, luego de eso vendría la evaluación a lo interno para la viabilidad de su aplicación.

10. ¿Qué riesgos existen alrededor de la implementación del proyecto a nivel de equipos externos al de mercadeo?

Como en todo debe de haber una comunicación fluida entre ambos departamentos, a pesar de que nosotros (departamento de mercadeo) ayudamos formando la estrategia y las alianzas, proveyendo las herramientas es responsabilidad de la dirección de ventas la dirección de cómo aplicarlas y utilizarlas. Entonces existe el riesgo de que ellos no vean el valor, pero para eso tenemos la lista de requerimientos que fue compilada en conjunto con ellos.

ANEXO III. REQUERIMIENTOS INICIALES



Estimado Eric,

Según lo conversado, adjunto las especificaciones del sistema.

Especificaciones del Sistema

Información anecdótica relevante:

El dispositivo debe mostrar las capacidades de la plataforma de NI para aplicaciones de radiofrecuencia. Esto debe lograrse mediante una aplicación práctica con la que la audiencia pueda relacionarse y comprender rápidamente, por esta razón hemos decidido que la aplicación esté relacionada con la lectura de las frecuencias de los controles de alarma-apertura/cierre de vehículos.

Especificaciones de Hardware:

- El dispositivo debe ser realizado utilizando la plataforma de prototipado NI USRP.
- El dispositivo debe tener la capacidad de leer la señal de los radios de control de vehículos marca Toyota y Kia, de manera que el ejemplo a mostrar sea de fácil comprensión por parte de la audiencia.

Especificaciones de Software:

- El software debe tener una Interfaz Gráfica amigable con el Usuario, las entradas (controles) y salidas (resultados) deben ser claras de comprender
- El software debe desarrollarse mostrando las capacidades del software de desarrollo LabVIEW Communications System Design Suite

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Esteban Baradín', written over a horizontal line.

Esteban Baradín
Field Marketing – Latam
National Instruments
Esteban.baradin@ni.com

ANEXO IV. COTIZACIONES VIRTUALES DE LOS INSTRUMENTOS

Los costos de los componentes de National Instruments se pueden ver en la siguiente figura:

Mi Carro de Compras (US Dollars)

NI ofrece envío estándar gratis! El envío estándar gratis será aplicado automáticamente en nuevas cotizaciones y órdenes de compra.

Estos precios no incluyen los impuestos y derechos de importación, los cuales deben ser pagados por separado por la empresa importadora (si aplica). Para obtener más información, por favor contáctenos a info.latam@ni.com

Número de Parte	Descripción	Envío estimado	Precio Unitario	Cant.	Total
781906-01	NI USRP-2920, 50 MHz to 2.2 GHz Software Radio Kit	5 - 8	\$ 3,325.00	<input type="text" value="1"/>	\$ 3,325.00 ✕
783075-01	Vert2450 Vertical Antenna (2.4-2.5 and 4.9-5.9 GHz) Dualband	8 - 13	\$ 45.00	<input type="text" value="1"/>	\$ 45.00 ✕

Añada productos al carro

[Actualizar Cantidad](#)

Total de Artículos: 2

Subtotal: \$ 3,370.00

Envío en Costa Rica: Gratis

Total de la Orden: \$ 3,370.00

Figura 60. Cotización de los componentes de National Instruments. Fuente: creación propia.

El precio del competidor Keysight N9040B UX se maneja en un rango de precio de lista de \$89,655.00 para equipos nuevos, y para equipos usados de \$67,241.25

SAVE WITH EVERYDAY LOW PRICES [See all eligible items](#)

Keysight Premium utiliza el analizador de señal N9040B UX, 3 HZ a 26.5 GHz (Agilent) - mostrar título original

Estado del artículo: **Reacondicionado por el fabricante**

"Premium Used – like new. Including same standard accessories and warranty like purchasing a new" ... Más información

Precio de venta: ~~USD89 655.00~~

Ahorras: **USD22 413.75 (25% de descuento)**

Ahora: **US \$67 241.25**
Aproximadamente ₡ 37 882 394.37

¡Cómpralo ahora!

Agregar al carro de compras

Mejor oferta: **Hacer oferta**

11 lo marcaron como favorito

➔ Agregar a Lista de favoritos

★ Agregar a colección

Usuario antiguo Acepta Mejor oferta

Envío: **No se hacen envíos a Costa Rica** | [Ver detalles](#)

Ubicación del artículo: Keysight Factory, Penang, Malasia

Figura 61. Cotización de equipo Keysight. Fuente: (KeySight (ebay store), n.d.)

**ANEXO V. CÓDIGO DE REGULACIONES
FEDERALES DEL FCC, TITULO 47, PARTE 15,
SECCIÓN 15.231**

§ 15.231 Periodic operation in the band 40.66-40.70 MHz and above 70 MHz

(a) The provisions of this section are restricted to periodic operation within the band 40.66-40.70 MHz and above 70 MHz. Except as shown in paragraph (e) of this section, the intentional radiator is restricted to the transmission of a control signal such as those used with alarm systems, door openers, remote switches, etc. Radio control of toys is not permitted. Continuous transmissions, such as voice or video, and data transmissions are not permitted. The prohibition against data transmissions does not preclude the use of recognition codes. Those codes are used to identify the sensor that is activated or to identify the particular component as being part of the system. The following conditions shall be met to comply with the provisions for this periodic operation: (1) A manually operated transmitter shall employ a switch that will automatically deactivate the transmitter within not more than 5 seconds of being released. (2) A transmitter activated automatically shall cease transmission within 5 seconds after activation. (3) Periodic transmissions at regular predetermined intervals are not permitted. However, polling or supervision transmissions to determine system integrity of transmitters used in security or safety applications are allowed if the periodic rate of transmission does not exceed one transmission of not more than one second duration per hour for each transmitter. (4) Intentional radiators which are employed for radio control purposes during emergencies involving fire, security, and safety of life, when activated to signal an alarm, may operate during the pendency of the alarm condition (b) In addition to the provisions of § 15.205, the

field strength of emissions from intentional radiators operated under this section shall not exceed the following:

Fundamental frequency (MHz)	Field strength of fundamental (microvolts/meter)	Field strength of spurious emissions (microvolts/meter)
40.66-40.70	2,250	225
70-130	1,250	125
130-174	1 1,250 to 3,750	1 125 to 375
174-260	3,750	375
260-470	1 3,750 to 12,500	1 375 to 1,250
Above 470	12,500	1,250

1 Linear interpolations.

(1) The above field strength limits are specified at a distance of 3 meters. The tighter limits apply at the band edges.(2) Intentional radiators operating under the provisions of this section shall demonstrate compliance with the limits on the field strength of emissions, as shown in the above table, based on the average value of the measured emissions. As an alternative, compliance with the limits in the above table may be based on the use of measurement instrumentation with a CISPR quasi-peak detector. The specific method of measurement employed shall be specified in the application for equipment authorization. If average emission measurements are employed, the provisions in § 15.35 for averaging pulsed emissions and for limiting peak

emissions apply. Further, compliance with the provisions of § 15.205 shall be demonstrated using the measurement instrumentation specified in that section.(3) The limits on the field strength of the spurious emissions in the above table are based on the fundamental frequency of the intentional radiator. Spurious emissions shall be attenuated to the average (or, alternatively, CISPR quasi-peak) limits shown in this table or to the general limits shown in § 15.209, whichever limit permits a higher field strength.(c) The bandwidth of the emission shall be no wider than 0.25% of the center frequency for devices operating above 70 MHz and below 900 MHz. For devices operating above 900 MHz, the emission shall be no wider than 0.5% of the center frequency. Bandwidth is determined at the points 20 dB down from the modulated carrier.(d) For devices operating within the frequency band 40.66-40.70 MHz, the bandwidth of the emission shall be confined within the band edges and the frequency tolerance of the carrier shall be $\pm 0.01\%$. This frequency tolerance shall be maintained for a temperature variation of -20 degrees to $+50$ degrees C at normal supply voltage, and for a variation in the primary supply voltage from 85% to 115% of the rated supply voltage at a temperature of 20 degrees C. For battery operated equipment, the equipment tests shall be performed using a new battery.(e) Intentional radiators may operate at a periodic rate exceeding that specified in paragraph (a) of this section and may be employed for any type of operation, including operation prohibited in paragraph (a) of this section, provided the intentional radiator complies with the provisions of paragraphs (b) through (d) of this

section, except the field strength table in paragraph (b) of this section is replaced by the following:

Fundamental frequency (MHz)	Field strength of fundamental (microvolts/meter)	Field strength of spurious emission (microvolts/meter)
40.66-40.70	1,000	100
70-130	500	50
130-174	500 to 1,500 ¹	50 to 150 ¹
174-260	1,500	150
260-470	1,500 to 5,000 ¹	150 to 500 ¹
Above 470	5,000	500

¹ Linear interpolations.

In addition, devices operated under the provisions of this paragraph shall be provided with a means for automatically limiting operation so that the duration of each transmission shall not be greater than one second and the silent period between transmissions shall be at least 30 times the duration of the transmission but in no case less than 10 seconds.

[54 FR 17714, Apr. 25, 1989; 54 FR 32340, Aug. 7, 1989]

ANEXO VI. CARTA DE ACEPTACIÓN



Estimado Eric,

Hemos recibido, probado y validado el dispositivo creado durante su proyecto de graduación, basado en las especificaciones entregadas al inicio del mismo, concluimos que el entregable final del proyecto es **aceptado**.

- Cumplimiento con **requerimientos de HW: 100%**
- Cumplimiento con **requerimientos de SW: 100%**
- Calificación general del **dispositivo: 100%**
 - Portabilidad: 100% - el dispositivo solo requiere del USRP, laptop y dos controles.
 - Usabilidad (GUI): 100% - La interfaz cumple con las buenas prácticas de programación en LabVIEW y es amigable con el usuario.
 - Respuesta del sistema: 100% - El sistema funcionó en todas las pruebas que realizamos
- Calificación general del **manual de usuario: 100 %**
 - Legibilidad: 100% - la guía es de fácil comprensión
 - Usabilidad: 100% - los usuarios lograron utilizar la guía para utilizar el dispositivo
 - Presentación: 100% - la guía es simple y directa a lo que se necesita operar

Gracias por su tiempo y dedicación a la realización de este proyecto.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Esteban Baradín', written over a horizontal line.

Esteban Baradín
Field Marketing – Latam
National Instruments
Esteban.baradin@ni.com