



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL
TELECONTROL DE VUELO DE UNA PLATAFORMA
MULTIROTOR TIPO CUADRICOPTERO MEDIANTE MYRIO
FPGA”**

AUTOR: ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER

DIRECTOR: ING. JESSY ESPINOSA

LATACUNGA

2018



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL TELECONTROL DE VUELO DE UNA PLATAFORMA MULTIROTOR TIPO CUADRICOPTERO MEDIANTE MYRIO FPGA**” realizado por el señor **ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 06 Agosto del 2018

ING. JESSY ESPINOSA

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER**, con cédula de identidad N° 1724912512 declaro que este trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL TELECONTROL DE VUELO DE UNA PLATAFORMA MULTIROTOR TIPO CUADRICOPTERO MEDIANTE MYRIO FPGA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, 06 Agosto del 2018

ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER

C.C: 1724912512



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL TELECONTROL DE VUELO DE UNA PLATAFORMA MULTIROTOR TIPO CUADRICOPTERO MEDIANTE MYRIO FPGA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 06 Agosto del 2018

ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER

C.C: 1724912512

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y culminar mi carrera, por guiarme por el buen camino y darme las fuerzas para seguir adelante sin desmayar en los problemas que se me presentaban en el transcurso de mi vida como estudiante.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres, Jorge & Ofelia, por su apoyo, consejos, comprensión, ayuda en los buenos y más aún en los malos momentos.

Por último, pero no menos importante a mis compañeros, que más que amigos en el lapso de mi vida estudiantil los he llegado a considerar como hermanos por siempre estar en todo momento en cada aventura, cada locura y porque en esta armonía grupal hemos logrado culminar una meta más en nuestras vidas y a mi directora de trabajo de grado quién me ayudó en todo momento, Ing. Jessy Espinosa.

JONATHAN

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo de grado quiero agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo arduo y honradez en toda circunstancia. A toda mi familia, por haber sido mi apoyo incondicional durante todo este tiempo.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de Gestión de Tecnologías, a mis profesores en especial a la Ing. Jessy Espinosa y Ing. Pablo Pilatasig quienes con su enseñanza de sus valiosos conocimientos en diferentes áreas de la Electrónica hicieron que pueda crecer y formarme día a día como un excelente profesional, gracias a cada uno de ustedes por su dedicación, apoyo incondicional, amistad y sobre todo por toda la paciencia.

JONATHAN

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	xv
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Alcance	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1. FPGA.....	5
2.1.1. Comparación de FPGA con otros dispositivos	5
2.1.2. Características	7
2.1.3. Lenguaje de programación de los FPGA´s	10
2.1.4. Aplicaciones de los FPGA´s.....	11

2.2.	NI myRIO	13
2.2.1.	Características	14
2.2.2.	Canales E/S Analógicos y Digitales de NI myRIO	17
2.3.	Software LabVIEW	19
2.3.1.	Características	20
2.4.	Vehículos Aéreos no tripulados o Drones	20
2.4.1.	Aplicaciones y usos de los drones	23
2.4.2.	Características, categorías y clasificación de los drones	24
2.4.3.	Clasificación	25
CAPÍTULO III.	26
3.1.	Preliminares	26
3.2.	Requerimientos mínimos de hardware	26
3.2.1.	Chassis F450 DJI Drone QUADCOPTER version PCB	27
3.2.2.	Batería de polímero de litio (LiPo) 3S 11.1v	28
3.2.3.	Motor Brushless 2212 920kv	29
3.2.4.	Hélices 3DR Master Airscrew	29
3.2.5.	Controlador electrónico de velocidad o ESC 30A	30
3.2.6.	Controladora de vuelo NAZA M Lite	31
3.2.7.	Configuración de los ESC y radio control	34
3.2.8.	Conexión de motores, Naza M Lite y receptor RC	35
3.2.9.	Conexión de NI myRIO con la controladora Naza M Lite	36
3.2.10.	Ensamblaje físico del cuadricoptero	37
3.3.	Requerimientos mínimos de Software	40
3.3.1.	Instalación de LabVIEW 2017 con su módulo FPGA	40
3.3.2.	Instalación del software DJI NAZA M Assistant_2.40	45
3.4.	Configuración del telecontrol de vuelo	47
3.4.1.	Configuración del punto de acceso WiFi de myRIO	47

3.4.2. Configuración del VI de telecontrol con myRIO FPGA.....	49
3.5. Pruebas de Funcionamiento del sistema	65
CAPÍTULO IV	70
4.1. Conclusiones	70
4.2. Recomendaciones	71
GLOSARIO DE TERMINOS	72
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de conectores MXP A y B	16
Tabla 2 Aviso por colores del Led Indicador	33
Tabla 3 Distancia de alcance de la señal WiFi.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura genérica PAL	6
Figura 2 Arquitectura FPGA de matriz genérica	7
Figura 3 Reducción de datos y procesamiento de señales.....	11
Figura 4 Digitalizador implementado en un FPGA	12
Figura 5 Control de sistemas con FPGA.....	12
Figura 6 E/S de lazo cerrado y protocolos	13
Figura 7 NI myRIO	14
Figura 8 Diagrama de bloques del Hardware de NI myRIO	15
Figura 9 Señales Primarias/Secundarias en los Conectores MXP A y B	16
Figura 10 Circuito de entrada analógicas de NI myRIO	17
Figura 11 Circuito de salidas Analógicas de NI myRIO	18
Figura 12 Circuito pull-up del conector MXP.....	19
Figura 13 Circuito pull-down del conector MSP	19
Figura 14 Vehículo Aéreo no Tripulado	21
Figura 15 Cronología de nombre aplicados a aeronaves robóticas	22
Figura 16 Prototipo de un UAV de uso civil	23
Figura 17 Dimensiones del Chasis F450	27
Figura 18 Chasis DJIF450	28
Figura 19 Batería tipo LiPo	28
Figura 20 Motor Brushless	29
Figura 21 Hélices 3DR Master Airscrew	30
Figura 22 Controlador de motores brushless 30A.....	31
Figura 23 Controladora Principal (MC)	32
Figura 24 Unidad Versátil (UV)	32
Figura 25 Led indicador e interfaz USB	33
Figura 26 Módulo compas y GPS	34
Figura 27 Diagrama de configuración de los ESC	35
Figura 28 Diagrama de conexión motores, Naza M Lite y receptor	36
Figura 29 Diagrama de bloques de conexiones de NI myRIO	37
Figura 30 Colocación de los brazos y tren de aterrizaje	38
Figura 31 Colocación de las hélices y motores.....	38

Figura 32 Colocación de NAZA, ESC	39
Figura 33 Partes del Cuadricoptero	39
Figura 34 Arranque de instalación de LabVIEW 2017	40
Figura 35 Selección de módulos y Toolkits.....	41
Figura 36 Aceptación de acuerdos de licencias.....	41
Figura 37 Búsqueda de actualización del software.....	42
Figura 38 Solicitud de información para registración del usuario.....	42
Figura 39 Rutas de instalación de LabVIEW	43
Figura 40 Aceptación de licencias de Toolkits.	43
Figura 41 Verificación de toolkits a instalarse.....	44
Figura 42 Finalización de la instalación del software	44
Figura 43 Verificación de la instalación del software	45
Figura 44 Selección de idioma de instalación.....	45
Figura 45 Bienvenida al asistente de instalación de NAZA.....	46
Figura 46 Ruta de instalación del software	46
Figura 47 Entorno de trabajo NAZA M Lite V2.....	47
Figura 48 Aplicación NI MAX para configuración de myRIO.....	47
Figura 49 Creación del punto de acceso de WiFi myRIO	48
Figura 50 Guardado de la configuración de WiFi.....	48
Figura 51 Creación de un nuevo proyecto en LabVIEW	49
Figura 52 Creación del nuevo proyecto en myRIO	49
Figura 53 Selección del chasis de myRIO	50
Figura 54 Módulos y toolkits de myRIO	50
Figura 55 Creación del nuevo VI en FPGA.....	51
Figura 56 Selección de conector MXP y de E/S DIO.....	51
Figura 57 Panel de Funciones y estructuras de LabVIEW.....	52
Figura 58 Estructura Flat Sequence	52
Figura 59 Designación de salida del FPGA	53
Figura 60 Guardado del proyecto en FPGA.....	53
Figura 61 Selección del modo de compilación de FPGA	54
Figura 62 Proceso de compilación y verificación de fallos.....	54
Figura 63 Grabado del código en el FPGA de myRIO	54
Figura 64 Finalización del grabado de FPGA	55
Figura 65 Creación del VI de control de vuelo	55

Figura 66 Colocación del botón “stop” y “wait” del programa.....	56
Figura 67 Referencia de FPGA VI.	56
Figura 68 Función de control de lectura/escritura e invocar método.....	57
Figura 69 Conexión del Invoke Method Function.....	57
Figura 70 Conexión del FPGA VI Reference y Close FPGA VI	57
Figura 71 Configuración del “Open FPGA VI”.....	58
Figura 72 Configuración de la ruta del FPGA VI.....	58
Figura 73 Selección de ruta del “Open FPGA VI”.	59
Figura 74 Selección de arranque del “Invoke Method”.	59
Figura 75 Colocación de los Pointer Slide	60
Figura 76 Rango de operación de los Slide	60
Figura 77 Colocación del Menú Ring y Botton.....	61
Figura 78 Selección de nodos en el Read/Write Control.	61
Figura 79 Conexión del menú ring.....	62
Figura 80 Conexión de los “Count” del Read/Write Control	62
Figura 81 Conexión del botón de desbloqueo de motores.....	63
Figura 82 Secuencia del desbloqueo de motores.....	63
Figura 83 Secuencia de conexión del acelerador.....	64
Figura 84 Diagrama de bloques del Host VI.....	64
Figura 85 Panel Frontal	65
Figura 86 Panel Frontal ejecutándose.....	65
Figura 87 Distancia máxima de vuelo	66
Figura 88 Pruebas de estabilidad con PC.....	67
Figura 89 Distancia máxima de vuelo	67
Figura 90 Aviso de pérdida de Señal WiFi.....	68
Figura 91 Señal perdida de WiFi.....	68

RESUMEN

En el siguiente proyecto técnico se realizó la implementación de un telecontrol de vuelo para un cuadricoptero mediante myRIO y su módulo FPGA, con visualización de los mandos en el software LabVIEW.

Se estableció la estructura a utilizar en el ensamblaje de cuadricoptero como motores y hélices que permitan el empuje y funcionamiento estable del dron, con una carga 717 gramos correspondientes al peso de la myRIO y dos baterías LiPo, pudiendo soportar un peso adicional de 200 gramos para ubicar más dispositivos.

Las pruebas de estabilización y alcance de señal de la controladora Naza se realizó con un control RC, permitiendo configurar los motores y ganancias, hasta conseguir una estabilización de vuelo adecuada y un correcto funcionamiento del cuadricoptero, se pasó a la siguiente etapa en donde se generó el código para el telecontrol mediante MYRIO FPGA y el software LabVIEW, para lo cual se elaboró un instrumento virtual con las características de funcionamiento de un control RC, a través de cinco señales de tipo servo que simulan los movimientos del cuadricoptero como el alerón, elevador, acelerador, giro y modos de vuelo.

Para la conexión entre dispositivos se configuro el punto de acceso de WiFi de myRIO y se realizó las pruebas de alcance de señal en diferentes lugares, en un área cercana al Aeropuerto Internacional Cotopaxi, la cual fue limitada por los inhibidores lo que produjo una reducción al 5% de la señal WiFi de 120m a 6 metros de altura y la segunda prueba se realizó en otro sector con un alcance de 10 metros de altura.

Palabras Clave:

FPGA

myRIO

LabVIEW

Telecontrol

Cuadricoptero

ABSTRACT

The structure to be used in the quadricopter assembly was established as motors and propellers that allow the trust and stable operation of the drone, with a load of 717 grams corresponding to the weight of myRIO and two LiPo batteries, being able to support an additional weight of 200 grams to place more devices.

The stabilization and signal range tests of the Naza controller were performed with an RC control, allowing the configuration of the engines and gains, until achieving an adequate flight stabilization and a correct operation of the quadricopter, the next stage was taken where the code for the remote control was generated by MYRIO FPGA and the LabVIEW software, for this purpose a virtual instrument was developed with the operating characteristics of an RC control, through five servo-type signals that simulate the movements of the quadricopter such as the wing, elevator, accelerator, rotation and flight modes.

For the connection between devices, the myRIO WiFi access point was configured and the signal range tests were carried out in different locations, in an area near the Cotopaxi International Airport, which was limited by the inhibitors which produced a 5% reduction of the WiFi signal from 120m to 6m in height and the second test was carried out in another sector with a range of 10m in height.

KEY WORDS:

FPGA

myRIO

LabVIEW

Remote Control

Quadricopter

CHECKED BY:

Lcda. María Elisa Coque

DOCENTE UGT

CAPÍTULO I

1.1. Antecedentes

La Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi, en la cual se forman jóvenes civiles y militares en diferentes carreras, como la carrera de Tecnología en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica.

La carrera de Electrónica cuenta con instalaciones y laboratorios con la tecnología adecuada para concatenar la teoría con la práctica de los estudiantes, apoyando las investigaciones innovadoras y proyectos que puedan servir como base para futuras generaciones, toma también como referencia a investigaciones realizadas anteriormente dentro y fuera del país en temas acordes a la carrera como son los siguientes casos.

En la investigación realizada por (Aguilar, Torres, Jimenes, & Cabrera, 2015) con el tema “BALANCE DE UN HEXÁPODO EN TIEMPO REAL UTILIZANDO UNA FPGA”. Cuyo objetivo fue el balance y adaptación de un robot hexápodo a todo tipo de terreno, para lo cual se utilizó los acelerómetros disponibles del dispositivo NI myRIO 1900, la adquisición de datos y manejo de los servomotores se lo realizo a través del FPGA Xilinx Z-7010, logrando que funcione de forma autónoma.

En la investigación de (Kang, Kim, & Lee, 2015) con el tema “LOCALIZACIÓN DE UN DRON EN INTERIORES MEDIANTE FUSIÓN DE SENSORES BASADOS EN VISIÓN”. A través de un GPS y un giróscopo Rate Gyro, se logró establecer la posición del dron dentro un ambiente totalmente sellado, realizando una serie de algoritmos de análisis dinámico y adquisición de datos para poder fusionar de señales de ambos dispositivos, creando así un punto de referencia para determinar la posición real del dron, se utilizó un dispositivo FPGA XQ4010E-4PG191M para lograr el acople y procesamiento de las señales en tiempo real y de manera precisa, con visualización en un computador.

De acuerdo con las investigaciones realizadas el uso de dispositivos con tecnología FPGA ha ido abarcando casi todos los componentes electrónicos tanto para el control y la adquisición de datos generando así un gran avance en los sistemas autónomos basados en FPGAs, siendo totalmente necesario que las Instituciones de Educación Superior provean conocimientos en el manejo, programación y mantenimiento de dispositivos con tecnología FPGA.

1.2. Planteamiento del problema

En el laboratorio de Instrumentación Virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE con sede en la ciudad de Latacunga refleja una necesidad relevante en torno al avance tecnológico en el control y uso adecuado de sistemas FPGAs, utilizados por la gran capacidad de procesamiento, flexibilidad.

La falta de conocimientos sobre controladores basados en dispositivos FPGAs, imposibilitan el desarrollo de algoritmos para el telecontrol de aeronaves no tripuladas, a pesar de contar en el laboratorio con tarjetas que poseen esta tecnología.

De no darse la implementación de este tipo de proyecto los afectados son los estudiantes y docentes de la carrera de Electrónica, debido a que en la actualidad el uso de controladores basados en FPGAs, está en casi todos los dispositivos que se usa a diario, esto conlleva a que en su vida profesional se pueda encontrar con problemas referentes a la reparación, programación o mantenimiento de dispositivos basados en esta tecnología.

1.3. Justificación

El implementar un algoritmo para el telecontrol de vuelo de una plataforma multirrotor tipo cuadricoptero con visualización de los mandos en un computador y de su interacción con el software NI LabVIEW, ayuda adquiera conocimientos teóricos y prácticos sobre el manejo de plataformas multirrotor tipo cuadricoptero, FPGAs, manejo de Toolkits de LabVIEW que permitan el desenvolvimiento en su vida laboral.

Es factible realizar la implementación del telecontrol de vuelo porque se dispone del software y hardware, manuales de los dispositivos a utilizarse, así como la facilidad del uso de laboratorios para realizar las pruebas o ensayos y verificar el correcto funcionamiento del telecontrol de vuelo de la plataforma multirrotor.

Con este proyecto se quiere lograr que el estudiante desarrollé nuevas destrezas en el ámbito electrónico y de programación, así como el manejo de drones, consiguiendo que los estudiantes se desenvuelvan de mejor manera en el ámbito laboral.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

“Implementar un algoritmo para el telecontrol de vuelo de una plataforma multirrotor tipo cuadricoptero mediante myRIO FPGA y el software NI LabVIEW.”

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la funcionalidad de la tarjeta NI myRIO con su módulo FPGA en el telecontrol de vuelo para una plataforma multirotor tipo cuadricoptero.
- Elaborar la interfaz HMI para la visualización de mandos del telecontrol de vuelo en el software NI LabVIEW.
- Implementar un algoritmo para el telecontrol de plataformas multirotoricas tipo cuadricoptero mediante el software NI LabVIEW.
- Realizar pruebas de funcionamiento y alcance del WiFi para evitar fallos y pérdida de señales.

1.5. Alcance

La implementación de un algoritmo de programación para el control de vuelo de una plataforma multirotor, va dirigido a los alumnos de la Carrera de Electrónica mención Instrumentación y Aviónica de la Unidad de Gestión de Tecnologías, el cual permite desarrollar habilidades y destrezas en el manejo de la tarjeta de adquisición de datos NI myRIO, módulo FPGA, así como en el software de visualización NI LabVIEW, cumpliendo con los perfiles educativos de altos estándares y sirviendo como base para el desarrollo de futuras aplicaciones.

CAPÍTULO II

2.1. FPGA

FPGA proviene del inglés Field Programmable Gate Array el cual significa Conjunto de puertas programable en campo, está provisto de múltiples compuertas que dependiendo a la programación pueden servir como entrada o salida.(Adhul, Nandagopal, & Revathi, 2017)

En la actualidad se ha convertido en una plataforma de implementación factible para los controladores de sistemas embebidos, la reconfigurabilidad de implementación paralela, alto rendimiento, la personalización y la capacidad de implementar componentes tanto de hardware y software de un embebido en un solo dispositivo hacen que los FPGA sean más convenientes para el uso en controladores con un sistema embebido.(Adhul et al., 2017)

La empresa Xilinx fue la que introdujo las primeras matrices de puertas programables en campo o FPGAs en el año de 1984 al mercado, pero no fue hasta el año 1988 que las personas lo conocieron como FPGA, esto lo logro Actel el cual fue el que popularizo este término entre las personas.(Trimberger, 2018)

2.1.1. Comparación de FPGA con otros dispositivos

a) FPGA contra ASIC

Según (Trimberger, 2018) en su artículo científico explica que:

Desde la década de 1980 la compañía ASIC (Circuitos Integrados de Aplicaciones Específicas) lideraba el mercado de la electrónica debido a sus circuitos integrados de bajo costo, alta velocidad y alta capacidad; pero la funcionalidad de la empresa ASIC se llegó a definir mediante a las herramientas de mascara personalizadas esto conlleva a que todos los clientes de ASIC llegaran a pagar por dichas mascarar un cargo de ingeniería no recurrente o NRE, esto debido a que ASIC no poseía herramientas personalizadas. Los FPGAs para ganar el mercado electrónico redujeron sus costos iniciales y se arriesgaron a construir una lógica digital personalizada, también al diseñar un dispositivo de silicio

personalizado el cual podría ser utilizado por cientos de personas con esto los proveedores de FPGA llegaron a reducir efectivamente los costos de NRE que ASIC tenía bastante altos.

b) FPGA versus PAL

(Trimberger, 2018) en su artículo menciona que:

La lógica de arreglo programable o PAL estaba bien establecida antes de la llegada de los FPGA, sin embargo, los FPGAs tenían una ventaja en su arquitectura ya que los PAL tan solo constaban de dos niveles de estructura lógica; en la Figura 1, se puede observar esos dos niveles, en el lado izquierdo del PAL hay un array programable que genera términos de productos y de cualquier combinación de estos, y sus inversas. En la derecha cuenta también con un fijo o puerta en el bloque que completa la función de lógica de combinación de términos de macrocell. Cada salida de macro célula es una salida del chip.

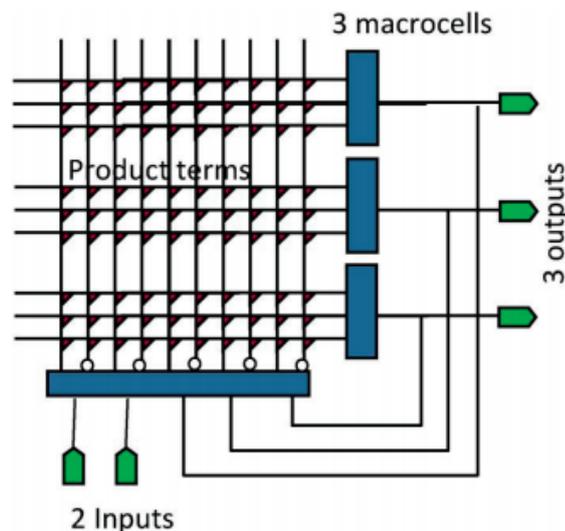


Figura 1 Arquitectura genérica PAL

Fuente: (Trimberger, 2018)

La propuesta de innovación de los FPGAs fue la eliminación del “and”, que proporcionaba la programabilidad de su chip, en lugar de eso propusieron que la configuración de sus celdas de memoria sea distribuida alrededor de una matriz para poder controlar la funcionalidad y el cableado de este FPGA. (Trimberger, 2018)

Como lo recalca (Trimberger, 2018) en su artículo científico:

Con estos cambios los FPGAs dejó de lado la eficiencia de la matriz de los PAL a favor de la escalabilidad arquitectónica de un FPGA; la arquitectura de un FPGA se muestra en la Figura 2, la cual se compone de un conjunto de lógicas programables e interconectadas con conmutadores programables de campo; con todos estos cambios innovadores la capacidad y el rendimiento de los FPGA ya no eran limitado, ahora no todos los pines del chip eran salidas por lo que la capacidad podría llegar a crecer con la ley de Moore.

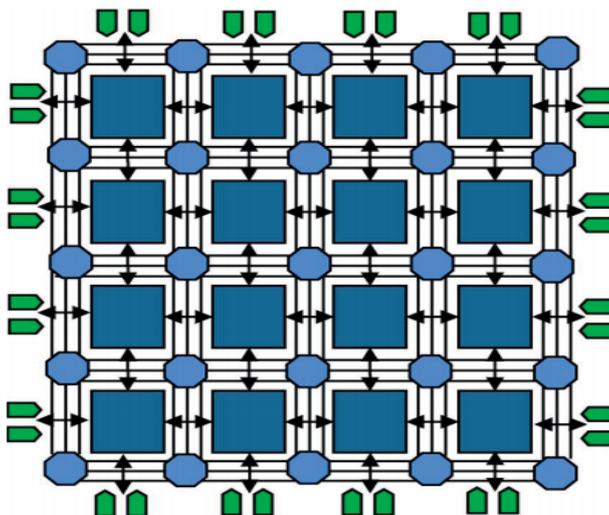


Figura 2 Arquitectura FPGA de matriz

Fuente: (Trimberger, 2018)

El diseño de chips cada vez más pequeños y más potentes en lo que se refiere a eficiencia y rendimiento ha ido avanzado a pasos agigantados en las últimas décadas, unos de los chips actualmente utilizados más comúnmente en casi todos los aparatos electrónicos son los FPGAs.

2.1.2. Características

Un FPGA comúnmente consta de cinco partes o bloques principales de los cuales dependiendo de las interconexiones que se realice en el mismo, el FPGA podrá realizar cualquier tipo de tarea previamente programada. (Bernal, 2014)

- a) Bloques de entrada/salida
- b) Bloque de lógica configurable
- c) Bloque de memoria RAM
- d) Bloques multiplicadores
- e) Gestor digital de reloj

a) Bloques de entrada/salida

Como lo expresa (Bernal, 2014) en su investigación:

Son aquellos que controlan el flujo de datos entre los pines de entrada/salida, la lógica interna del dispositivo, también soportan el flujo bidireccional y un conjunto de estándares de voltaje e impedancia controlada proporcionando así una interfaz programable unidireccional o bidireccional. Los IOB's se encuentran organizados en cuatro bancos los cuales mantienen separado el suministro de Vcco y Vref, la separación de cada uno de los suministros permite que cada banco de forma independiente pueda ajustar el Vcco, y del mismo modo pasa con el Vref.

La estructura interna de los bloques de entrada/salida está conformada por tres principales rutas, las cuales tienen su propio elemento de almacenamiento que pueden llegar actuar como registros:

- La trayectoria de entrada
- La trayectoria de salida
- La trayectoria de tres estados.

Dentro de cada uno de los IOB se encuentran resistencias tanto pull-up como pull-down que dependiendo de las tareas que realice fuerzan una entrada o salida a un estado lógico determinado. (Bernal, 2014)

b) Bloques Lógicos configurables

Según (Bernal, 2014) los Bloques Lógicos configurables:

Contienen Look-Up Tables (LUT), basadas en la tecnología RAM (LUTs) para poder así implementar las funciones lógicas y elementos de almacenamiento que pueden ser usados como flip-flops o como latches según lo que se necesite. También como unas características adicionales poseen: multiplexores, compuertas aritméticas, acarreo lógico, las cuales

llegan a simplificar toda la lógica y funciones aritméticas que existan. Los multiplexores se combinan con gran eficacia con las LUT, para poder permitir las operaciones lógicas más complejas. La cadena de acarreo en conjunto con varias compuertas de lógica aritmética soporta la implementación de diferentes operaciones matemáticas rápidas y eficaces, también incluyendo sencillas funciones booleanas, tal como multiplicadores de dos bits.

c) Bloques de memoria RAM

Los bloques de memoria proveen almacenamiento de datos en bloques de 18 Kb (kilobits) con dos puertos independientes cada uno. Cada puerto posee su propio conjunto de datos, líneas de reloj y control para cada una de las operaciones de escritura sincrónica y lectura. Cada uno de los puertos se puede configurar de forma independiente, seleccionando un número diferente tanto para la entrada como para la salida de datos.(Bernal, 2014)

d) Bloques de multiplicación

Estos bloques aceptan dos números binarios de 18 bit como entrada y a la vez entregan uno de 36 bits, también realizan principalmente la multiplicación de dos números, como el almacenamiento de datos simples. (Bernal, 2014)

e) Gestor digital de reloj

Estos son elementos proveen funciones digitales auto calibradas, las que se encargan de distribuir y retrasar arbitrariamente en pocos grados, desfasar en 90, 180, y 270 grados, dividir y multiplicar las señales de reloj de todo el circuito. (Bernal, 2014)

También proporciona una flexibilidad, desplazamiento de fase y asimetría. Para poder lograr esto el DCM, emplea un bucle cerrado de retardo, que es un sistema de control digital que usa un lazo de retroalimentación para poder mantener las características de la señal de reloj con un alto grado de precisión.(Bernal, 2014)

Una de las ventajas del uso de los FPGAs es que los podemos usar una y otra vez, implementando así varios y diferentes proyectos, además de que este dispositivo posee una gran cantidad de compuertas con lo que puede llegar a trabajar a grandes velocidades, al poder trabajar a grandes velocidades los FPGAs son aplicados en sistemas de testeo de circuitos obteniendo muy buenos resultados. (Bernal, 2014)

2.1.3. Lenguaje de programación de los FPGAs

Una de las tareas de los programadores de FPGAs es definir las funciones que los CLB, seleccionar el modo de operación de los IOB e interconectarlos entre sí para poder lograr un correcto funcionamiento y ejecución del programa. (Abundiz, 2009)

“El diseñador cuenta con la ayuda de entornos de desarrollo especializados en el diseño de sistemas a implementarse. Un diseño puede ser capturado ya sea como esquemático, o haciendo uso de un lenguaje de programación especial. Estos lenguajes de programación especiales son conocidos como HDL” (Abundiz, 2009)

También en el intento de crear un lenguaje más fácil de programación National Instruments desarrollo Labview FPGA, el cual está basado en el lenguaje de programación gráfica el cual permite grabar y crear programas de FPGA.

2.1.4. Aplicaciones de los FPGAs

Las aplicaciones de las FPGAs son bastante amplias debido a su versatilidad, precio y flexibilidad, sabiendo esto se puede decir que las principales aplicaciones de los FPGAs son en el procesamiento digital de señales, comunicaciones y proceso de datos. Los FPGAs se aplican más en la actualidad en sistemas de automatización. (National, 2010)

- a) Reducción de datos y procesamiento de señales
- b) Control de sistemas
- c) E/S de lazo cerrado y protocolos

a) Reducción de datos y procesamiento de señales

Los FPGA tienen la habilidad de cómputo en paralelo y un procesamiento de potencia original, se utiliza para realizar procesamiento en líneas de transferencia de datos, como la de un convertidor A/D en algún digitalizador, la principal meta del FPGA en aplicación de procesamiento de señales es reducir la carga del procesamiento de PC, así como también limitar la cantidad de datos que necesita transferir a través del bus a la PC. (National, 2010)

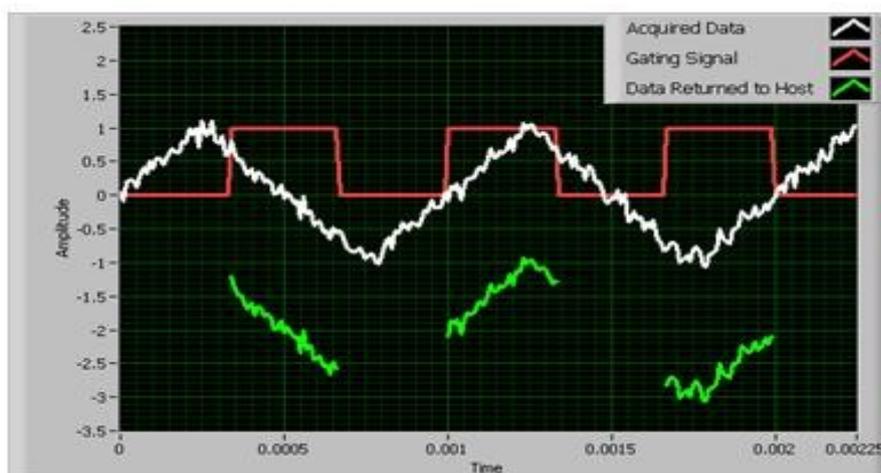


Figura 3 Reducción de datos y procesamiento de señales

Fuente: (National, 2010)

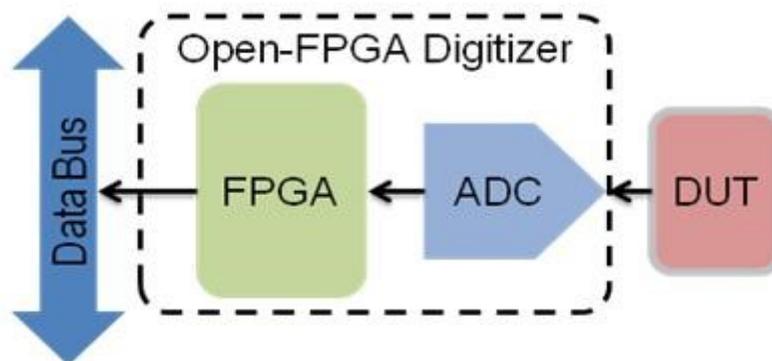


Figura 4 Digitalizador implementado en un FPGA

Fuente: (National, 2010)

b) Control de sistemas

(National, 2010) sostiene que:

Otro uso de los FPGAs es un sistema de pruebas como controlador maestro de disparo de múltiples instrumentos, si se usa un FPGA para manejar la coordinación de tareas a través de múltiples dispositivos se añade otro nivel de determinismo e inteligencia a la toma de decisiones de un sistema de pruebas complejo. También con el uso de esta tecnología se puede beneficiarse con una respuesta más rápida a un cambio de sistemas con rutinas de falla predeterminadas.

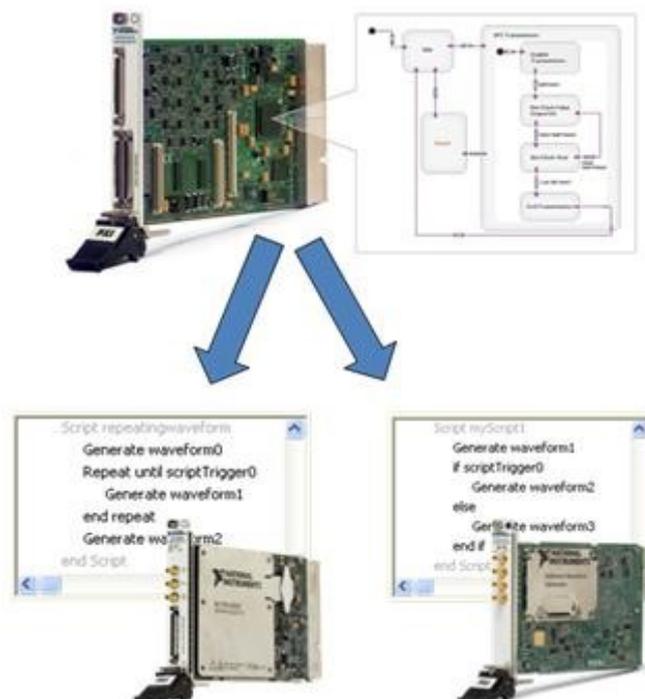


Figura 5 Control de sistemas con FPGA

Fuente: (National, 2010)

c) E/S de lazo cerrado y protocolos

(National, 2010) en su artículo afirma que:

Los ciclos de reloj del dispositivo bajo prueba (DUT), requieren una decisión en tiempo real por el servidor para así poder comprobar el dispositivo adecuadamente, con un sistema adecuado debe desplegar completamente la inteligencia al FPGA para la guía de paso/falla en sistemas de lazo cerrado, para alguna aplicación se debe realizar la comunicación en un protocolo inalámbrico o cableado, el cual requiere una capa significativa de codificación y decodificación antes de tomar una decisión.

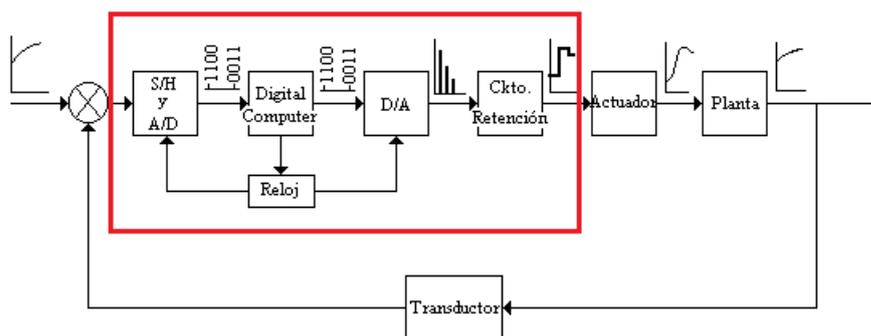


Figura 6 E/S de lazo cerrado y protocolos

Fuente: (National, 2010)

2.2. NI myRIO

Una de las ventajas más importantes de NI myRIO, es su rendimiento en tiempo real así como también la personalización de E/S con las que podemos diseñar una interfaz gráfica para el usuario. (Harane, Bhoir, Patkar, & Karia, 2017)

(Instruments, 2014) explica en su investigación que:

Es un dispositivo compacto de sistema embebido, principalmente fue creado para que los estudiantes creen y diseñen sistemas de control y procesos industriales reales, también es un herramienta reprogramable, configurable y reutilizable. NI myRIO utiliza herramientas en tiempo real para poder realizar proyectos totalmente autónomos y precisos, también con su módulo Wi-Fi junto con su memoria integrada permite que se puedan desplegar aplicaciones de forma remota y ejecutarlos sin conexión a un ordenador.



Figura 7 NI myRIO

Fuente: (Instruments, 2014)

“El entorno de programación LabVIEW MyRIO permite una comunicación fiable entre los elementos de hardware y software. NI MyRIO se conecta con dispositivos externos mediante pines analógicos y digitales o mediante varios buses de comunicación: UART, SPI.” (Rob, Rusu-Anghel, & Panoiu, 2017)

2.2.1. Características

En su artículo (Instruments, 2014) afirma que:

El myRIO-1900 es una herramienta que se puede utilizar para la enseñanza e implementación de múltiples conceptos de diseño con un dispositivo de E/S reconfigurables (RIO). Con E/S en ambos lados del dispositivo en forma de conectores MXP y MSP, también con 10 entradas analógicas, 6 salidas analógicas, 40 líneas de E/S digitales, consta también con WiFi, LEDs indicadores, un push-button para aplicaciones de booleanos, un acelerómetro interno, un FPGA Xilinx y un procesador dual-core ARM Cortex-A9.

Este dispositivo se puede programar con LabVIEW o C, lo más usado para la programación de NI myRIO es el software LabVIEW debido a HMI (interfaz hombre maquina) fácil de comprender, también porque usa el lenguaje de programación gráfica y estructural.

La tarjeta de adquisición de datos NI myRIO, es una tarjeta que proporciona entradas analógicas (AI), salidas analógicas (AO), entradas y salidas digital (DIO), audio y salida de potencia en un dispositivo embebido compacto. La tarjeta NI myRIO se puede conectar a un ordenador host a través de USB e inalámbrico 802.11b, g, n.(National Instruments, 2012)

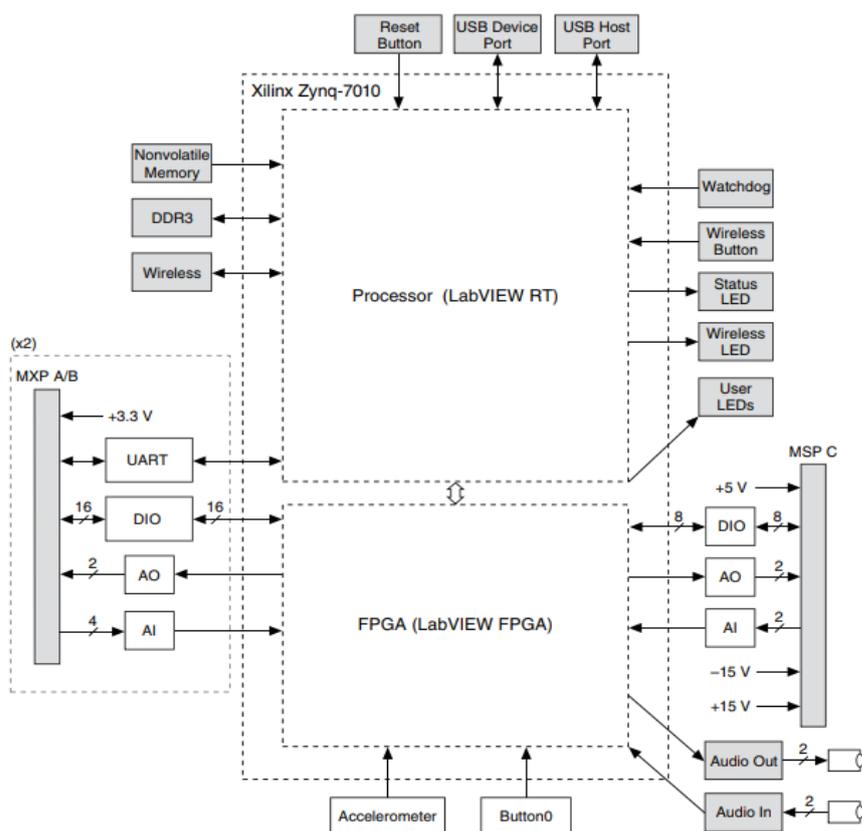


Figura 8 Diagrama de bloques del Hardware de NI myRIO
Fuente: (National Instruments, 2012)

Los conectores de NI myRIO tanto A y B del puerto de expansión (MXP) son conjuntos idénticos como lo podemos observar en la figura 9, para la distinción de señales NI myRIO nombro sus conectores como “ConnectorA/DIO1 y ConnectorB/DIO1”, en la tabla 1, se muestra la descripción de los conectores MXP A y B.(National Instruments, 2012)

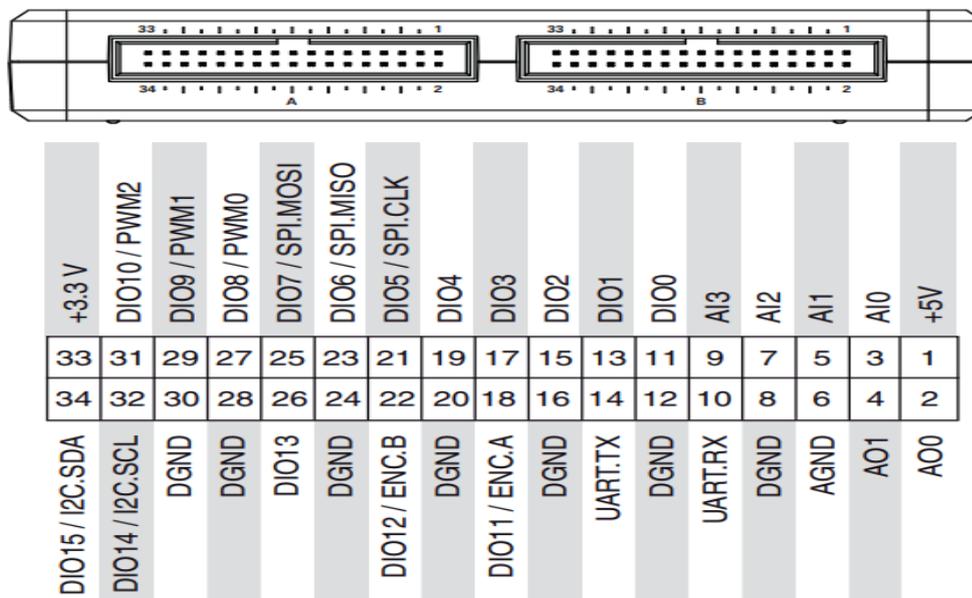


Figura 9 Señales Primarias/Secundarias en los Conectores MXP

Fuente: (National Instruments, 2012)

Tabla 1

Descripción de conectores MXP A y B

Nombre de señal	Referencia	Dirección E/S	Descripción
+5V	DGND	Salida	Potencia de salida de 5V
AI(0...3)	AGND	Entrada	Canales de entrada analógica
AO(0...1)	AGND	Salida	Canales de salida analógica
AGND	N/A	N/A	Referencia para entrada y salida analógica
+3,3V	DGND	Salida	Potencia de salida de 3V
DIO(0...15)	DGND	Salida/Entrada	Líneas digitales de uso general con salida de 3,3 V, entrada compatible con 3,3 V/5 V.
UART.RX	DGND	Entrada	Entrada de recepción UART. Las líneas UART son eléctricamente idénticas a las líneas DIO
UART.TX	DGND	Salida	Salida de transmisión UART. Las líneas UART son eléctricamente idénticas a las líneas DIO.
DGND	N/A	N/A	Referencia para entrada y salida digital

Fuente: (National Instruments, 2012)

2.2.2. Canales E/S Analógicos y Digitales de NI myRIO

a) Canales de entrada Analógicos

La tarjeta NI myRIO cuenta con canales de entrada analógicos en los conectores de expansión MXP tanto A y B, conector C del mini puerto del sistema MSP y un conector de entrada de audio estéreo, todo este sistema se multiplexa a un único convertidos analógico-digital (ADC) que muestran todos los canales del dispositivo. (National Instruments, 2012)

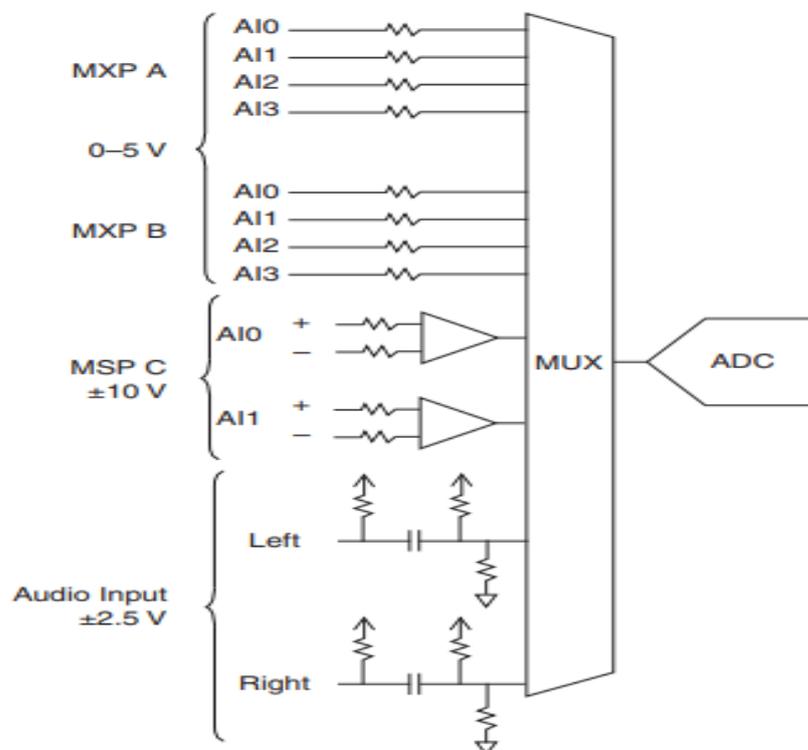


Figura 10 Circuito de entrada analógicas

Fuente: (National Instruments, 2012)

b) Canales de salida Analógicos

Cada canal de salida analógica de NI myRIO posee un convertidor Digital-Analógico (DAC) dedicado, gracias a esto todos los puertos pueden actualizarse simultáneamente sin provocar fallos o errores, los DAC están controlados por dos buses de comunicación serie del FPGA integrado en myRIO. (National Instruments, 2012)

Los conectores MXP A y B llegan a compartir un bus, y el MSP C y las salidas de audio comparten otro bus diferente al MXP, por consecuencia produce una velocidad máxima de actualización y de procesamiento entre todos sus puertos. (National Instruments, 2012)

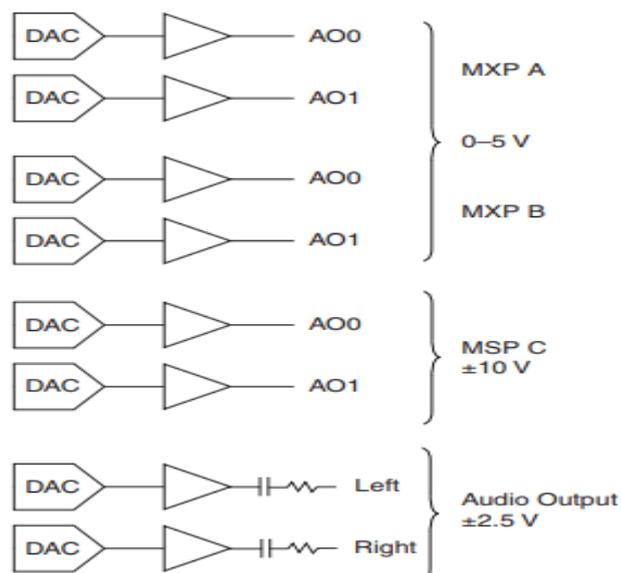


Figura 11 Circuito de salidas Analógicas

Fuente: (National Instruments, 2012)

c) Líneas de DIO

NI myRIO cuenta con líneas de DIO de propósito general con 3.3v en los conectores MXP y MSP, los conectores MXP A y B poseen 16 líneas de DIO por conector es decir entre ambos tendrías 32 líneas. (National Instruments, 2012)

En los conectores MXP de 0-13 cada línea posee una resistencia pull-up de 40k Ω conectada a 3.3v y las líneas de DIO 14 y 15 tienen una resistencia igualmente pull-up de 2.1k Ω a 3.3v, mientras que el conector MSP C, cuenta con 8 líneas de DIO en este caso este conector posee una resistencia pull-down de 40k Ω conectada a GND.(National Instruments, 2012)

Una ventaja de NI myRIO es que cada una de las líneas se puede programar independientemente como entrada o salida. Las funciones secundarias incluyen Serial Peripheral Interface Bus (SPI), I2C, modulación de ancho de pulso (PWM). (National Instruments, 2012)

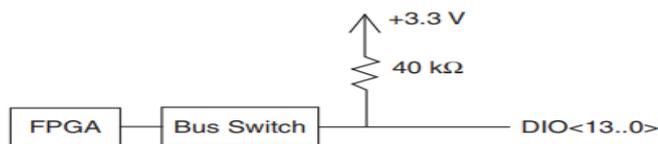


Figura 12 Circuito pull-up del conector MXP

Fuente: (National Instruments, 2012)

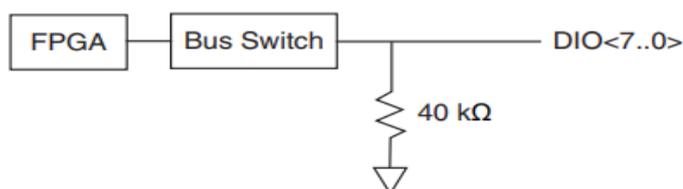


Figura 13 Circuito pull-down del conector MSP

Fuente: (National Instruments, 2012)

2.3. Software LabVIEW

Según (de Andrade Fernandes, Ribeiro, & Torne, 2018) sustentan que:

Hoy en la actualidad existen varias herramientas informáticas y lenguajes de programación con muchas y diferentes aplicaciones específicas para proyectos y simulaciones en diferentes áreas, algunos de estos lenguajes de programación pueden llegar a generar paquetes para poder simular ciertas aplicaciones o sistemas operativos, uno de estos lenguajes de programación es LabVIEW el cual se considera un entorno de desarrollo para la invención de aplicaciones personalizadas que puedan interactuar con datos del mundo real.

LabVIEW es un entorno de programación grafica con muchas características de software diseñadas por NI y opciones de hardware que es la razón principal de su gran acogida en los diferentes campos de aplicación, este se puede utilizar para comunicar con otros hardware como un DAQ, Visión y otros dispositivos de movimiento igualmente desarrollados por NI.(Adhul et al., 2017)

2.3.1. Características

a) Banco de datos

Los bancos de datos se pueden llegar a crear y gestionar de una forma manual o automática, de forma informatizada dependiendo de las necesidades del usuario. En diferentes casos se pueden utilizar sistemas de gestión de bancos de datos que componen un conjunto de aplicaciones específicas para realizar diferentes tareas.(Harane et al., 2017)

b) Entorno de Programación

El entorno de programación en el que está basado LabVIEW es de una estructura secuencial siguiendo la analogía con los instrumentos de un laboratorio de instrumentación básica.(Goswami & Alam, 2017)

c) Programación Grafica

(Instruments, 2014) en su artículo dice que:

LabVIEW sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar VIs. Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Cuando el nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la trayectoria del flujo de datos. El movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VIs y las funciones en el diagrama de bloques.

2.4. Vehículos Aéreos no tripulados o Drones

Los vehículos aéreos no tripulados o UAVs son en la actualidad mayor usados debido a su bajo costo, alta maniobrabilidad, entre otras muchas características. Los UAVs se están utilizando cada vez más tanto en aplicaciones civiles como militares, entre el uso de drones de células pequeñas o DSC.(Dong et al., 2018)

Los DSC pueden desplegarse rápidamente y así poder permitir la comunicación en situaciones peligrosas o donde los humanos no puedan ingresar, terremotos, deportes o competencias.(Dong et al., 2018)



Figura 14 Vehículo Aéreo no Tripulado

Fuente: (Wikipedia, 2010)

El uso de los UAVs tuvo sus primeros modelos contruidos y volados en la primera mitad del siglo XIX, los primero priones en el campo de los UAVs fueron: Cayley, Stringfellow, entre otros pioneros en la aviación.(Dpto. Comunicación, 2015)

Los primeros modelos sirvieron como bancos de pruebas tecnológicos para posteriormente desarrollar modelos mucho más grandes e incluso con un piloto a bordo. El termino vehículo aéreo no tripulado se hizo más común en los años 1990 para así poder describir a aeronaves robóticas y este remplazo al termino vuelo aéreo pilotado remotamente o RPV.(Dpto. Comunicación, 2015)

Está representada gráficamente en la Figura 15, la cronología de los diferentes nombres que han ido tomando a través del paso de los años las aeronaves robóticas

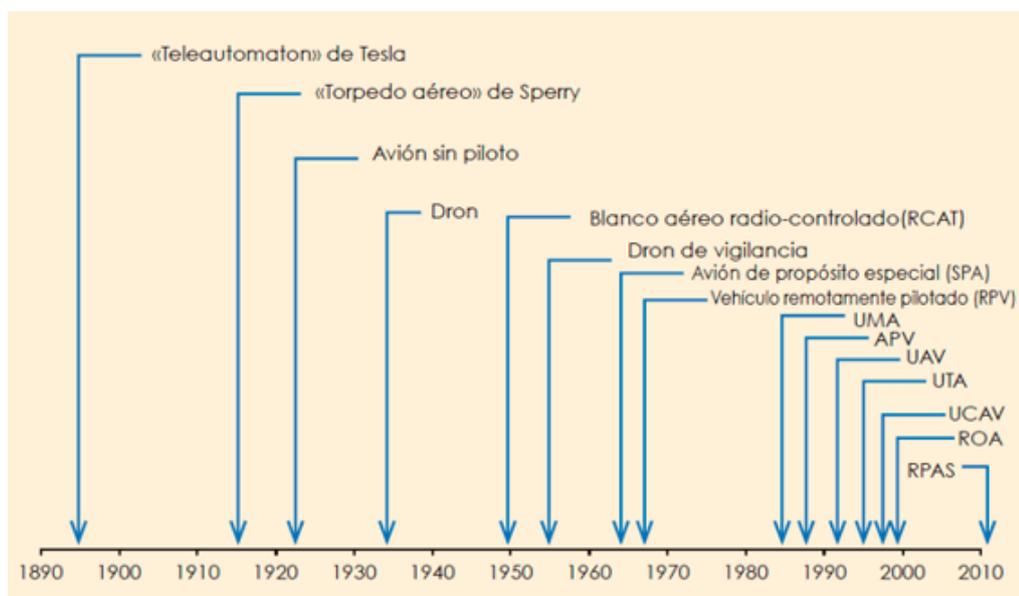


Figura 15 Cronología de nombre aplicados a aeronaves robóticas

Fuente: (Dpto. Comunicación, 2015)

(Yumpu, 2013) en su artículo afirma que:

En el año 2011 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), el cual es el organismo especializado de las naciones unidas para la aviación civil y también del cual España forma parte a partir de haber suscrito el Convenio de Chicago de 1994, publicaron su circular 328 en la cual por primera vez se reconoce a las aeronaves no tripuladas como aeronaves y con todo lo que ellos atrae consigo, y de entre muchas posibles tipologías se escoge a las que se pilotan de manera remota para ser consideradas como aptas para la aviación civil.

Los UAV son aeronaves muy pequeñas a comparación de las aeronaves tripulas por pilotos, pueden ser controlados por control remoto sin la necesidad de un tripulante a bordo de la aeronave, están equipados con equipamiento de última tecnología como sensores infrarrojos, control de radares, cámaras de alta resolución y GPS.(Navas, 2016)

Los UAVs están constituidos de materiales compuesto ligeros para poder así reducir su peso y llegar aumentar la capacidad de maniobrabilidad, la resistencias del material compuesto permite un crucero estable en elevadas alturas, los prototipos de UAV militares pueden tener cámaras infrarrojas de última generación, laser o misiles guiados.(Garciglia, 2015)



Figura 16 Prototipo de un UAV de uso civil

Fuente: (Garciglia, 2015)

2.4.1. Aplicaciones y usos de los drones

Los UAV tienen una gran aplicación en áreas muy diversas, debido a que pueden desplazarse rápidamente sobre cualquier terreno ya sea regular o irregular, accidentado o poder superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes y videos de alta resolución, así como también la información recogida por diversos sensores que posea el dron. (Garciglia, 2015)

Los drones de tipo helicóptero pueden incluso buscar personas desaparecidas en lugares inaccesibles para los rescatistas, el reducido tamaño de estas aeronaves permite tenerlos siempre disponibles en todo momento. El bajo costo de este tipo de drones a comparación con el costo habitual de un helicóptero tradicional los hacen más aptos para esas tareas.(Garciglia, 2015)

Según (Garciglia, 2015) afirma que entre las aplicaciones del uso de los drones están:

- a) **Medio Ambiente:** Nos permite elaborar diferentes mapas de polución lumínica y monitorizar la eficiencia de medidas ecos energéticos, control y seguimiento de accidentes industriales con derrames tóxicos en medios terrestres o acuáticos, también con el control de almacenaje y depósito de residuos industriales y su respectivo tratamiento.

- b) **Agricultura:** Ayuda en el control y monitoreo del estado de cultivos mediante imágenes aéreas transmitidas desde la cámara del dron hacia un receptor, también en la eficiencia del control de regadíos y fumigación.
- c) **Ganadería:** En el control y monitoreo de ganados o rebaños en campo abierto y de grandes cantidades de animales mediante cámaras superpuestas en el UAV.
- d) **Construcción e inspecciones:** En esta aplicación nos ayuda a verificar las obras de construcción ya sea de edificios o grandes proyectos arquitectónicos desde aire.
- e) **Control y análisis de multitudes:** Esta aplicación es más usada para los medios de comunicación ya que en esta pueden obtener imágenes y videos de las grandes concentraciones de personas ya sean en espacios públicos y privados.

2.4.2. Características, categorías y clasificación de los drones

a) Categoría y características

Según (Garciglia, 2015) los clasifica por el tamaño y peso de los diferentes tipos de drones de la siguiente manera:

- **Micro-UAV:** Son drones pequeños de que caben en la palma de la mano comúnmente llamados micro-drones, a menudo no sobrepasan los 20 cm de longitud y pesan menos de un 1kg.
- **Mini-UAV:** Son de tamaño pequeño sobrepasan los 20 cm de longitud, esto pueden ser impulsados o lanzados por una persona.
- **Small Táctical UAV:** Son los intermedios entre los mini-UAV y TUAV, por lo general este tipo de drones pueden ser impulsados por catapultas o algún sistema de lanzamiento similar.
- **Táctical UAVS TUAVs:** Son usados para el reconocimiento de lugares con una gran autonomía de vuelo y con un alcance de hasta 200 km en línea de vista.

2.4.3. Clasificación

(Garciglia, 2015) clasifica a los drones de la siguiente manera:

- **Blancos Aéreos:** Estos proporciona la artillería en tierra o en aire, es un blanco el cual simula una aeronave o misil enemigo, este tipo es más usados para prácticas militares y entrenamiento de los mismos.
- **Reconocimiento:** Estos proveen una información detallada de inteligencia de un campo de batalla o lugar específico.
- **Combate:** Este tipo de dron proporciona una capacidad de ataque aéreo en misiones de alto riesgo, es controlado con un piloto en tierra a largas distancias, por lo general llevar infrarrojos y misiles teledirigidos mayormente usado en el campo militar.
- **Logística:** Son UAVs diseñados únicamente para operaciones de carga y descarga de paquetes, abastecimientos y operaciones de logística en general.
- **Investigación y desarrollo:** UAVs diseñados específicamente para el desarrollo de nuevas tecnologías para futuras aplicaciones de investigación o combate.
- **Civiles y comerciales:** Son usados en enseñanza del manejo de los mismos o en competencias de diferentes disciplinas, están desarrollados y adaptados únicamente para uso de civiles.

CAPÍTULO III

3.1. Preliminares

En este capítulo se detalla la implementación del software y hardware que se utilizó en el telecontrol de vuelo para una plataforma multirrotor, esto se lo llevó acabo con el uso de NI myRIO y su módulo FPGA, se desarrolló una interfaz de control de vuelo en el software LabVIEW para poder controlar los movimientos y modos de vuelo del dron. Las señales generadas en el módulo FPGA fueron conectadas hacia las entradas de la controladora de vuelo Naza M Lite, llegando a simular así un receptor RC de un radio control, la comunicación entre el cuadricoptero y LabVIEW se la realizo mediante una conexión WiFi.

3.2. Requerimientos mininos de hardware

Los componentes necesarios para la implementación del telecontrol de vuelo son los siguientes:

- Chassis F450 DJI Drone QUADCOPTER version PCB
- Batería de polímero de litio (LiPo) 3S 11.1v
- Motor Brushless 2212 920kv
- Hélices 3DR Master Airscrew
- Controlador electrónico de velocidad o ESC 30^a
- Controladora de vuelo NAZA M Lite
- Diagrama de bloques funcional de conexiones

3.2.1. Chasis F450 DJI Drone QUADCOPTER version PCB

El chasis del DJI F450 esta echo de nylon y carbono los cuales son materiales sumamente resistentes a caídas y accidentes, este modelo ya viene integrado con una placa PCB para facilitar la soldadura de los controladores de los motores o ESC.

Posee también un refuerzo de fibra de vidrio del 30% en el total de toda su estructura, además cuenta con la posibilidad de acoplar un tren de aterrizaje y un gimbal o estabilizador de cámara. Cuenta con un peso de 800g a 1.600g peso máx. En la Figura 18, se puede observar la estructura de vuelo del F450 armada, mientras que en la Figura 17, se observa las dimensiones de chasis F450.

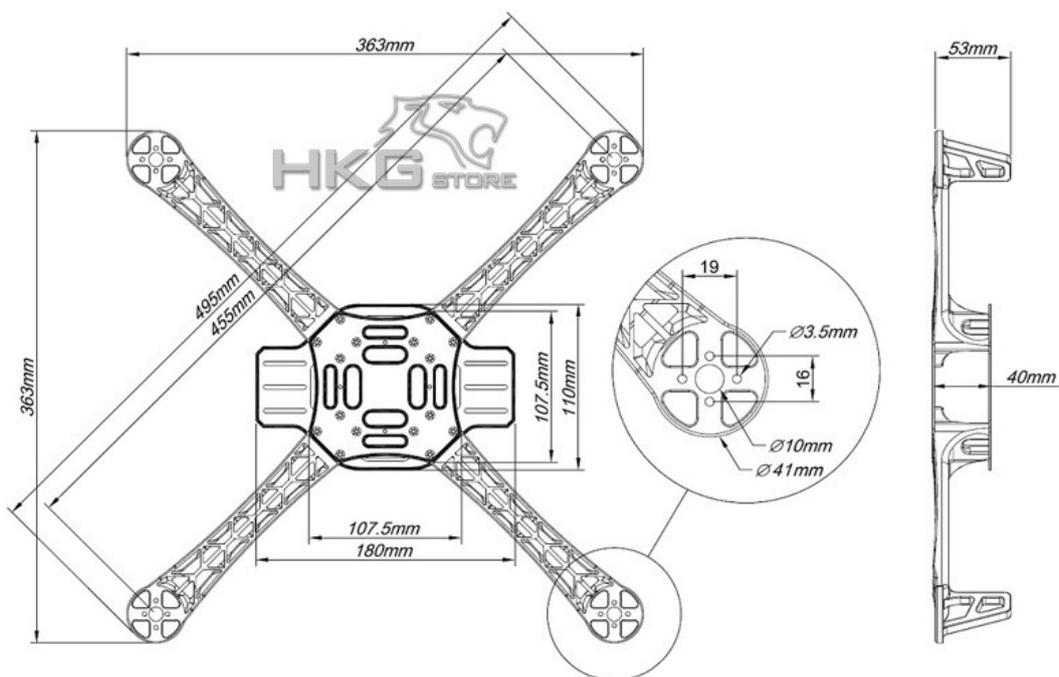


Figura 17 Dimensiones del Chasis F450

Fuente: (ModelTronic, 2014)

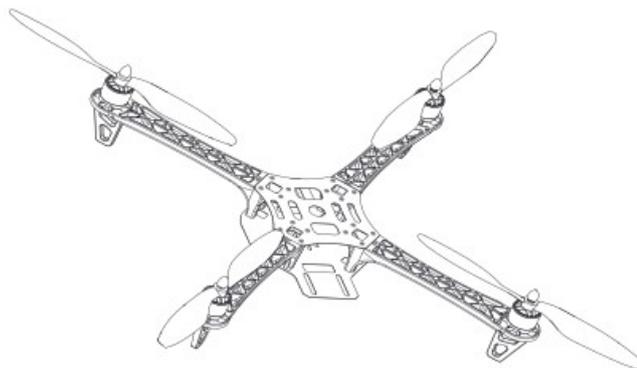


Figura 18 Chasis DJIF450

Fuente: (pelikandaniel, 2012)

3.2.2. Batería de polímero de litio (LiPo) 3S 11.1v

La batería de LiPo usada es de tipo recargable, posee un voltaje de 11.1v con un amperaje de 5000 mAh y una tasa de descarga de 55C, está constituida de 3 celdas conectadas en serie, cada una de estas celdas posee un voltaje de 3.7v.

La intensidad máxima que puede llegar a entregar las baterías de tipo LiPo se miden con la unidad “C”, en donde esta letra representa la capacidad que tiene la batería para dividir almacenamiento por hora, la tasa de descarga de las baterías LiPo se puede calcular con la ecuación:

$$\text{Tasa de descarga} = C \cdot \text{Ah} / h$$

- C = intensidad máxima
- Ah = amperio hora
- h = hora



Figura 19 Batería tipo LiPo

Fuente: (Flureon, 2015)

3.2.3. Motor Brushless 2212 920kv

La denominación “Brushless” proviene del inglés “sin escobillas”, estos tipos de motores tienen un contacto directo con colector del motor, estos motores son comúnmente fabricados con una aleación cobre.

Este tipo de motores se clasifican según sus Kv (Kilo Volt), esto hace referencia a la velocidad de giro por voltio que posee cada motor, mientras más alto sea el Kv tendrá mayor velocidad de giro y menos fuerza de empuje, para la realización de este proyecto se escogió un motor de 920 Kv debido a que posee una gran fuerza de empuje y una velocidad suficiente para elevar al dron.



Figura 20 Motor Brushless

Fuente: (Amazon, 2017)

3.2.4. Hélices 3DR Master Airscrew

Las hélices de tipo 3DR Master Airscrew de 10 pulgadas, gracias a su forma y grado de inclinación ayudan a un menor consumo de energía, una disminución del ruido y un acople universal para cualquier tipo de motor, este tipo de hélice es usado mayormente en drones con pesos que superan los 2 kg ya que en conjunto con los motores ayudan a producir una mayor fuerza de empuje y menor turbulencia en vuelo brindando así a una mayor estabilidad de vuelo y control del dron.



Figura 21 Hélices 3DR Master Airscrew

Fuente:(GuiaDrone, 2017)

3.2.5. Controlador electrónico de velocidad o ESC 30A

Los controladores electrónicos de velocidad ayudan a controlar la cantidad de corriente y voltaje suministrada a los motores para acelerar o desacelerar los mismos, también poseen una conexión para radio control RC, con el cual varía la velocidad del motor al que está conectado, los ESC se seleccionan de acuerdo al tipo de motor y Kv que posea, para este proyecto se seleccionó un ESC de 30A, debido a que la corriente pico de los motores brushless seleccionados anteriormente en el momento del arranque alcanzan entre los 25 a 28 amperios, para evitar un fallo por sobre carga de debe dimensionar adecuadamente el ESC, teniendo en cuenta también en qué condiciones de uso va a estar.



Figura 22 Controlador de motores brushless 30A

Fuente: (Aeromodelismo, 2012)

3.2.6. Controladora de vuelo NAZA M Lite

La controladora de vuelo NAZA-M LITE es desarrollado por la empresa DJI es un sistema de piloto automático, esta controladora fue seleccionada para este proyecto debido a su gran estabilidad de vuelo en turbulencias, una excelente retención de altitud y nivelación, fácil conexión y modos de vuelos para drones de 3 a 6 motores.

Esta controladora posee 4 dispositivos con los cuales pude establecer una posición casi exacta y una estabilidad de vuelo adecuada para el procesamiento de imágenes aéreas.

- Controlador principal (MC)
- Una unidad versátil (UV)
- Led indicador e interfaz USB
- Módulo compas y GPS
- Un soporte para GPS

a) Controladora Principal (MC)

El controlador Principal o MC es el cerebro principal sistema de estabilización de vuelo, este dispositivo se puede comunicar con todos los ESC que estén conectados al MC y también con el transmisor RC del radiocontrol donde recibe las señales de tipo servo para así poder llevar acabo

la funcionalidad de piloto automático, también consta de una Unidad de Medición Inercial (IMU) en su interior consta de tres acelerómetros, uno para cada uno de los ejes (x, y, z), es un dispositivo compacto y sellado para evitar el ingreso de partículas.



Figura 23 Controladora Principal (MC)

Fuente: (DJI, 2014)

b) Unidad Versátil (UV)

Este dispositivo está específicamente diseñado para NAZA-M ya sea en cualquiera de sus versiones como es Lite y V2, esta unidad resuelve el problema de alto consumo de energía del sistema multirotor; también suministra y monitorea la cantidad que entrega la batería al NAZA y a otros elementos electrónicos conectados a él, en la Figura 24, se puede ver al UV que al igual que el MC es compacto.

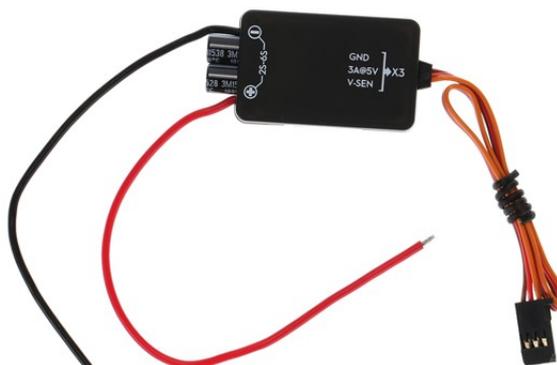


Figura 24 Unidad Versátil (UV)

Fuente: (DJI, 2014)

c) Led Indicador e interfaz USB

En esta versión del NAZA M Lite posee un led indicador e interfaz USB para la actualización del firmware de Naza y configuración del MC como se puede observar en la Figura 25, en versiones anteriores este led y USB venían integrados en el UV, el del de este dispositivo es de tres colores (rojo, verde, tomate) en el que cada color indica una función o aviso como lo representa en la Tabla 2.



Figura 25 Led indicador e interfaz USB

Fuente: (DJI, 2014)

Tabla 2

Aviso por colores del Led Indicador

Calibración del compas	Indicación por colores		
Calibración horizontal	1 naranja estático		
Calibración vertical	1 verde estático		
Falla en la calibración	rojo en titilación		
Otros			
Señal del TX perdida	naranja en titilación		
Baja tensión u otros errores	rojo en titilación		
Conexión a PC correcta	1 verde estático		
Inicio de Autocomprobación	los tres colores alternadamente y culmina con 4 verdes		
Modo de control del GPS	Manual	Atti.	GPS Atti.
Satélites del GPS <5	3 rojos	3 rojos, 1 naranja	3 rojos, 1 verde
Satélites del GPS =5	2 rojos	2 rojos, 1 naranja	2 rojos, 1 verde
Satélites del GPS =6	1 rojo	1 rojo, 1 naranja	1 rojo, 1 verde
Satélites del GPS >6	nada	1 naranja	1 verde

Fuente: (DJI, 2014)

d) Módulo compas y GPS

El módulo compas del NAZA ayuda a tener una dirección cardinal orientada casi precisa con los puntos cardinales de la tierra, también ayuda en el modo de retorno a casa (return to home) en caso de pérdida de señal del RC.

El GPS ayuda a mejorar el vuelo por tareas de fotografía para mantener una estabilidad de vuelo sin muchas vibraciones, orientación inteligente basada comunicación satelital, también ayuda en el modo de Position Hold (conservar posición) y en conjunto con el compás en el retorno a casa, la exactitud del GPS es de 2.5 metros en el eje horizontal y 0.8 metros en el eje vertical.



Figura 26 Módulo compas y GPS

Fuente: (DJI, 2014)

3.2.7. Configuración de los ESC y radio control

La siguiente conexión se realiza por una sola vez con los ESC nuevos, para poder configurarlos con el radio control y el stick de aceleración.

- Soldar los tres pines de conexión de los motores de tipo brushless con los pies del ESC teniendo en cuenta que si el motor gira en sentido contrario tan solo se debe desoldar dos pines e invertirlos.

- Conectar de la misma manera los tres motores restantes, señalar los motores que irán al lado derecho e izquierdo del dron para comprobar si sentido de giro.
- Conectar la alimentación de uno de los controladores de velocidad a la batería LiPo y el cable de bus de datos del ESC conectar al canal 3 del receptor del radio control.
- Configurar el modo de inicio de los ESC, moviendo el stick del acelerador al rango mínimo y máximo.
- Realizar el mismo procedimiento para los tres motores restante sin cambiar la conexión del cable de bus de datos del ESC.

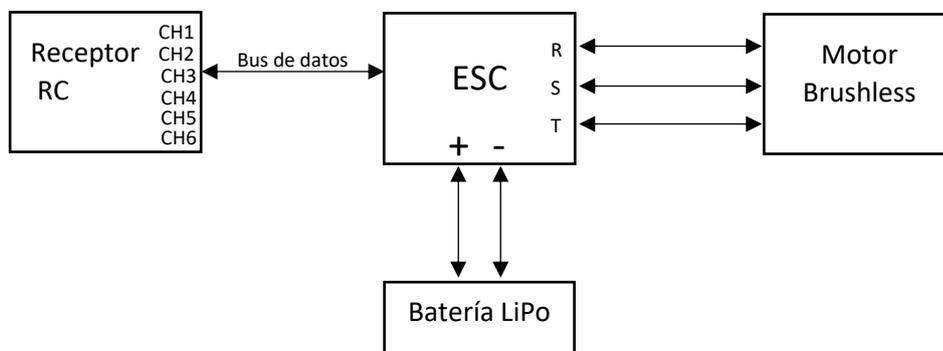


Figura 27 Diagrama de configuración de los ESC

3.2.8. Conexión de motores, Naza M Lite y receptor RC

La siguiente conexión se realizó para probar la funcionalidad del cuadricoptero, como el sentido de giro de los motores, aceleración, desaceleración y estabilidad de vuelo

- Conectar los cables de datos a las entradas de la controladora Naza y a los diferentes canales (CH) del receptor de radio control, solo en las entradas A (Alerón), E (Elevador), T (Acelerador), R (Giro) y U (Modos de Vuelo) de la controladora.

- Conectar los cables del bus de datos de los ESC a las diferentes salidas de la controladora teniendo en cuenta que el Naza posee una identificación para el número de motores que posea el dron (M1 hasta M6).
- Conectar el cable de bus de datos de la unidad versátil a la entrada X3 de la controladora para energizar todo el circuito directo desde la LiPo.
- Conectar el led indicador y el GPS en la entrada pre-establecida por la controladora Naza

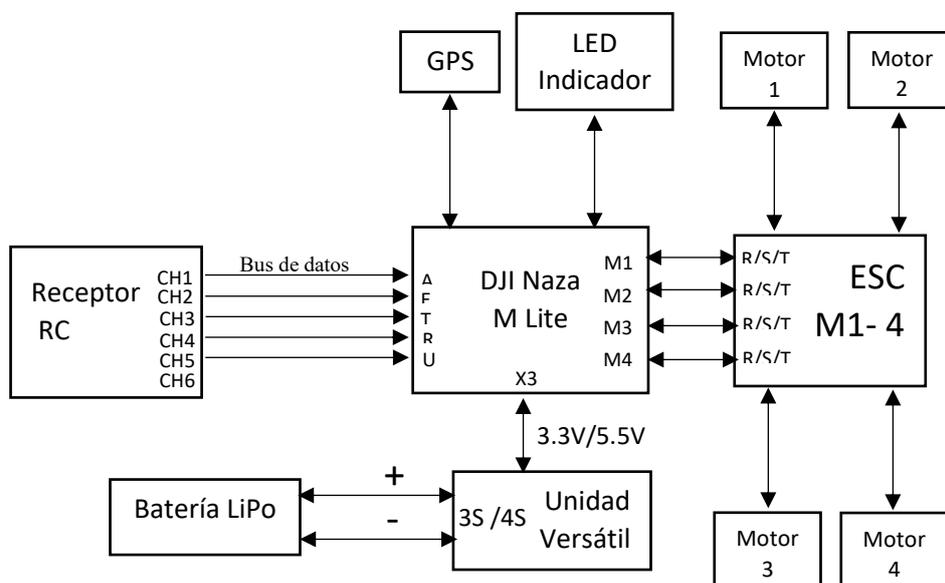


Figura 28 Diagrama de conexión motores, Naza M Lite y receptor

3.2.9. Conexión de NI myRIO con la controladora Naza M Lite

La siguiente conexión se realiza para controlar el cuadricoptero mediante LabVIEW, myRIO y con conexión WiFi.

- Conectar los canales DIO0 hasta el DIO4 del conector MXP A de la myRIO a las entradas de la controladora Naza, reemplazando al receptor RC.

- Energizar a la myRIO con una batería LiPo de 11.1v y 1000mAh, o desde la misma LiPo usada para el circuito de motores, cabe destacar que, si se energiza la myRIO desde la mismo LiPo del circuito de motores, la autonomía de vuelo del dron se reduciría considerablemente, debido a que habrá un mayor consumo de energía.
- Conectar la myRIO mediante WiFi hacia la PC y mantener las demás conexiones realizadas anteriormente.

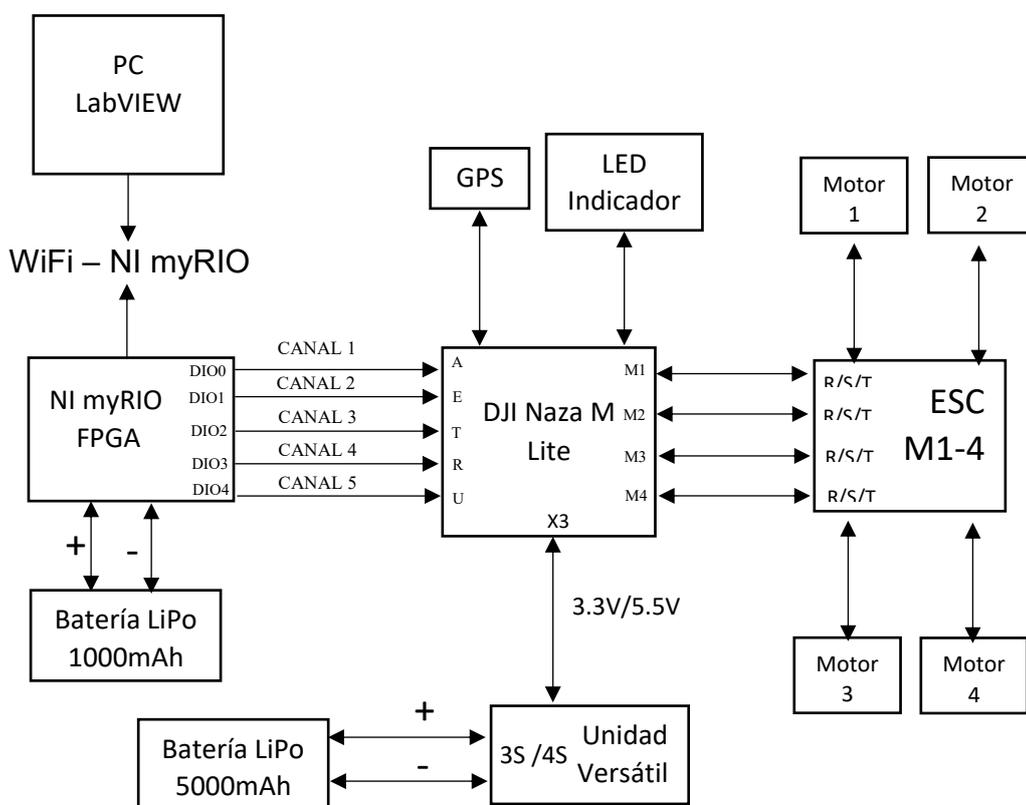


Figura 29 Diagrama de bloques de conexiones de NI myRIO

3.2.10. Ensamblaje físico del cuadricoptero

- Colocar todos los brazos del dron y ajustarlos con los tornillos propios del chasis, ajustar el tren de aterrizaje del dron a la placa inferior con tornillos de presión, debido a que esta parte del chasis soportara todo el peso total del dron.



Figura 30 Colocación de los brazos y tren de aterrizaje

- b)** Ajustar los motores a los extremos del dron, coloque las hélices teniendo en cuenta el número de motor y el sentido de giro.



Figura 31 Colocación de las hélices y motores

- c)** Conectar la controladora de vuelo NAZA, ESC, myRIO siguiendo los diagramas de conexiones detallados en los literales 3.2.7 a 3.2.9.



Figura 32 Colocación de NAZA, ESC

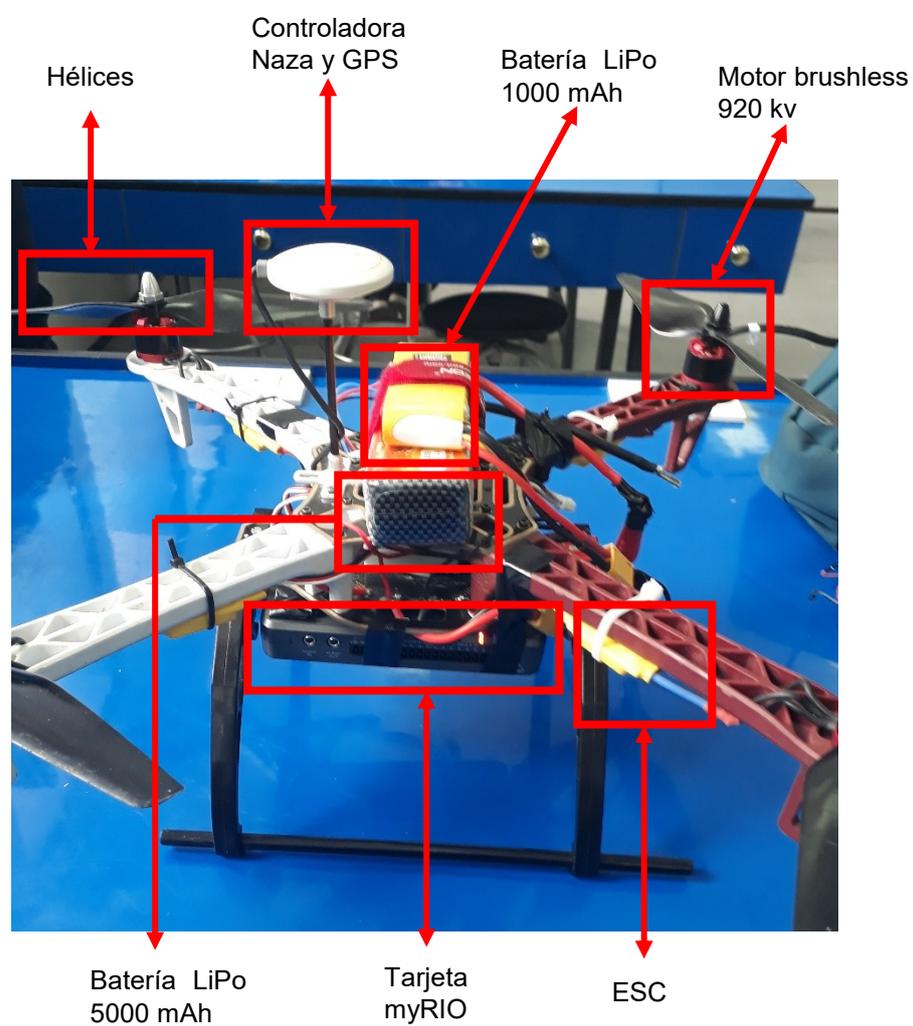


Figura 33 Partes del Cuadricoptero

3.3. Requerimientos mínimos de Software

Para desarrollar el instrumento virtual de telecontrol mediante FPGA y la configuración del dispositivo NAZA se utilizaron los siguientes softwares:

- LabVIEW 2017
- DJI NAZA M Assistant_2.40

3.3.1. Instalación de LabVIEW 2017 con su módulo FPGA

- a. Ejecutar el archivo setup del disco uno de instalación, una vez que se ejecute el archivo se despliega la ventana de la figura 34 y dar clic sobre “Next”.
- b. Seleccionar los módulos y toolkits que se necesita, en este caso activar los ítems que se muestran en la figura 35 y dar clic en “Next” para iniciar el proceso de instalación.



Figura 34 Arranque de instalación de LabVIEW 2017

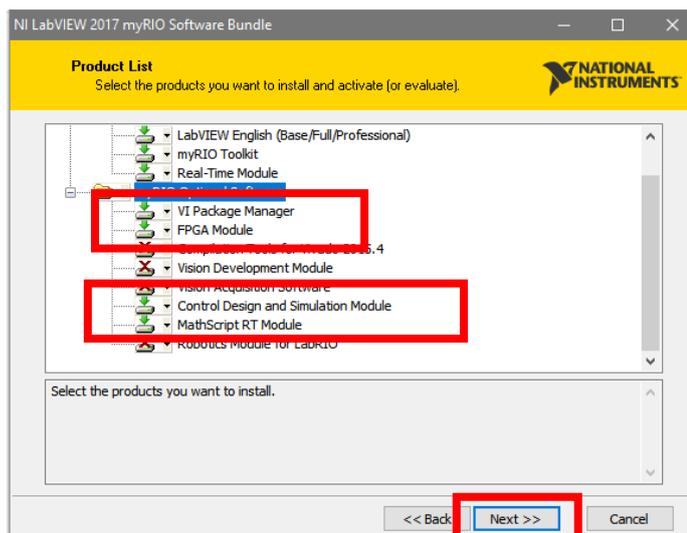


Figura 35 Selección de módulos y Toolkits

- c. Quitar la selección de aceptación de actualizaciones de LabVIEW y dar clic en “Next” para proceder con la instalación.

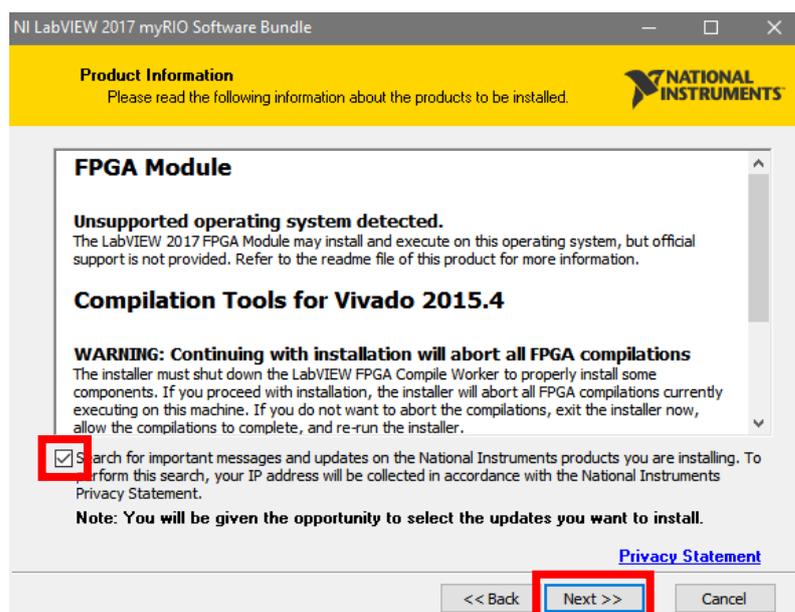


Figura 36 Aceptación de acuerdos de licencias

- d. Se despliega la ventana de la figura 37 e indica la búsqueda de actualizaciones del software, al finalizar se abre otra ventana y es opcional llenar los campos que se encuentran en blanco.

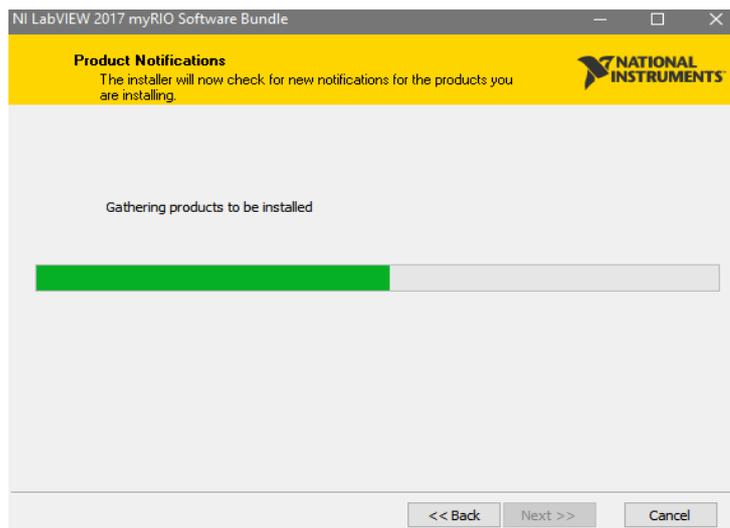


Figura 37 Búsqueda de actualización del software

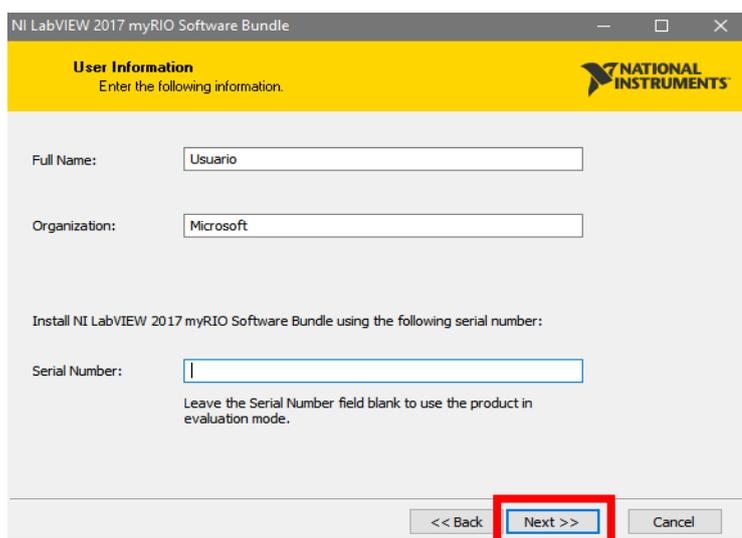


Figura 38 Solicitud de información para registraci3n del usuario

- e. Seleccionar la ruta de instalaci3n del software, se recomienda mantener la ruta designada por defecto, dar clic en “Next”, se despliega la ventana de la figura 40, con el contrato de licencia de los Toolkits del software, aceptar todas las licencias y presionar “Next”.

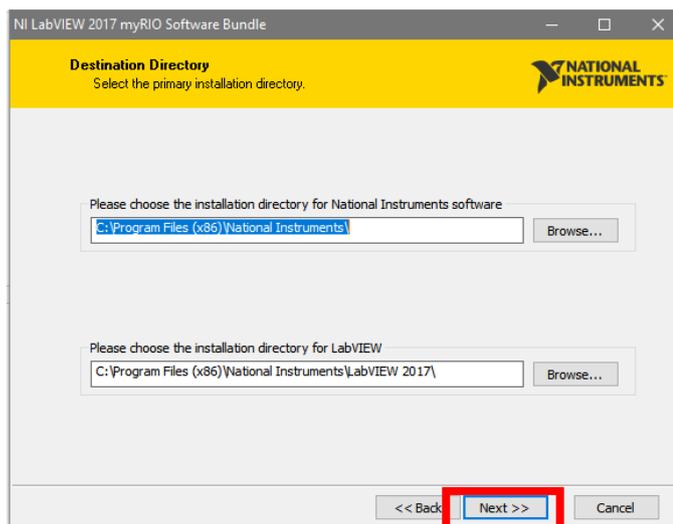


Figura 39 Rutas de instalación de LabVIEW

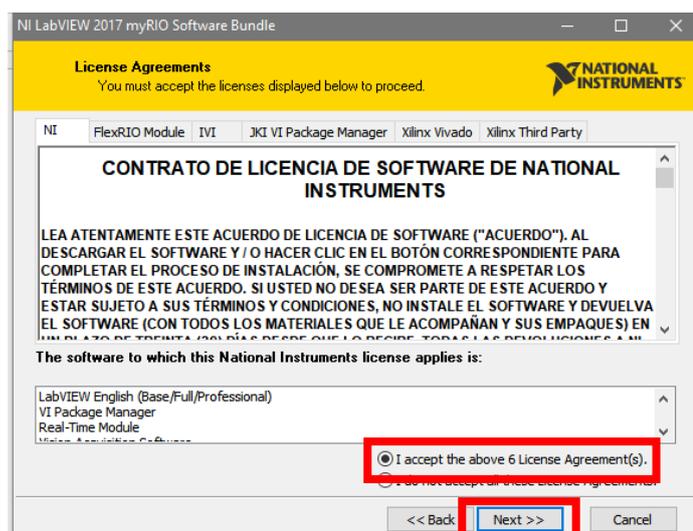


Figura 40 Aceptación de licencias de Toolkits.

- f. Se despliega la ventana indicadora de todos los módulos y toolkits por instalarse, dar clic en “Next”, y aparecerá la ventana del avance de la instalación del software. (Ver figura 41)

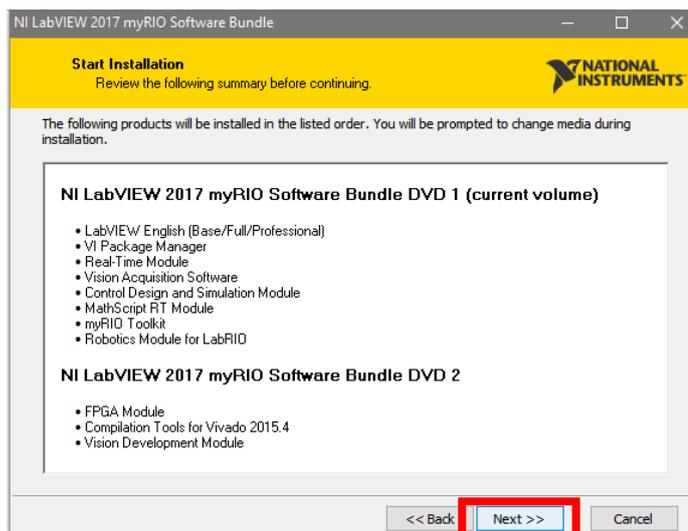


Figura 41 Verificación de toolkits a instalarse.

- g. En el transcurso de la instalación aparecerá un mensaje en el cual pedirá que se inserte el disco 2, ejecutarlo y continuar con la instalación.

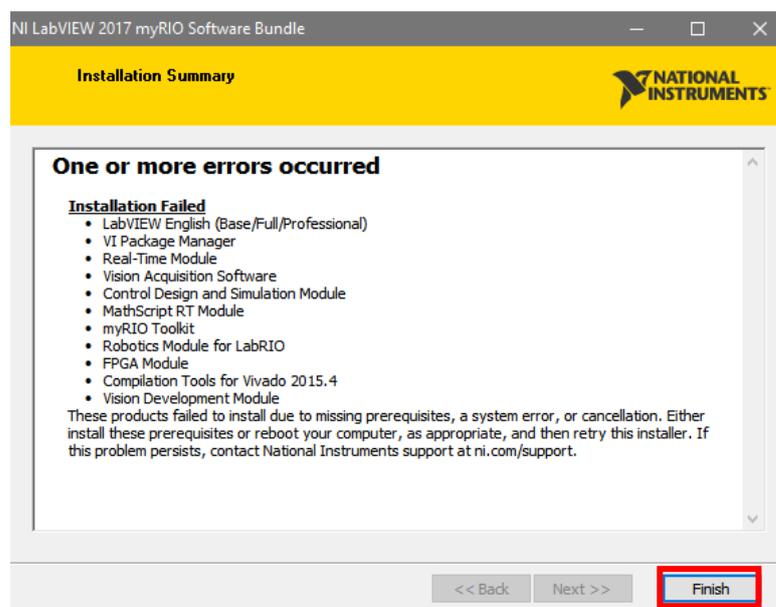


Figura 42 Finalización de la instalación del software

- h. Para verificar la correcta instalación del software, dar clic en el acceso directo, en el cual se muestra el entorno de trabajo de LabVIEW 2017.

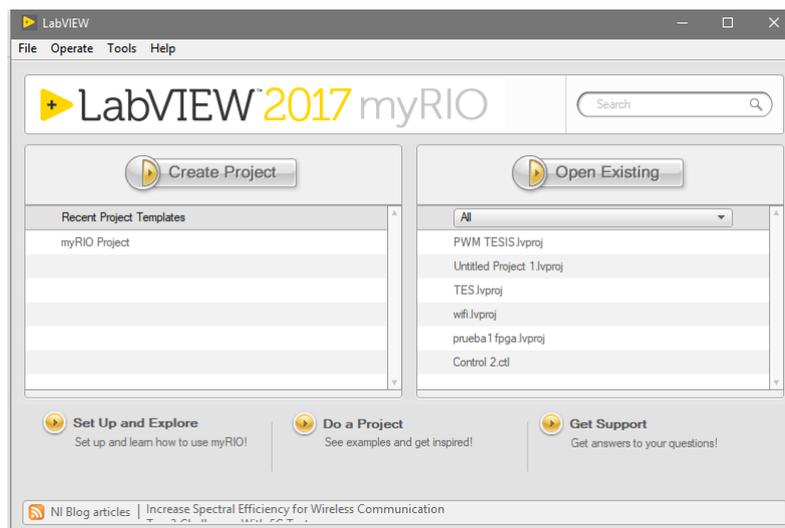


Figura 43 Verificación de la instalación del software

3.3.2. Instalación del software DJI NAZA M Assistant_2.40

- a. Dirigirse a la página oficial de DJI, descargar el software y controladores del NAZA M Lite.
- b. Ejecutar el setup del instalador de DJI NAZA M Assistant_2.40 como administrador, seleccionar el idioma de la instalación y presionar “ok”.

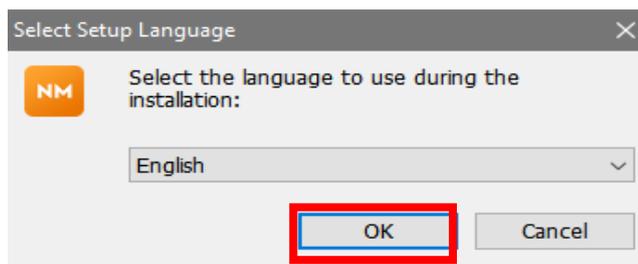


Figura 44 Selección de idioma de instalación

- c. Seguir el asistente de instalación de NAZA, dar clic en “Next”, se abre otra ventana en la cual indica las rutas de instalación de NAZA, presionar en “Next” para continuar con la instalación.

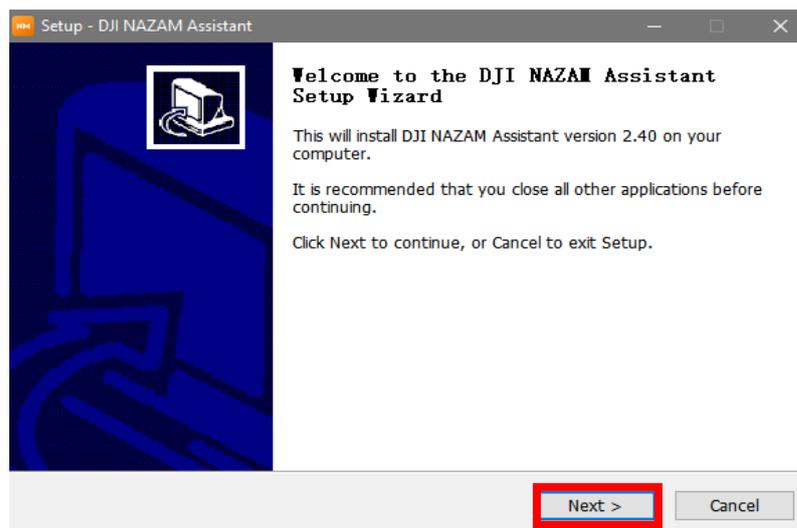


Figura 45 Bienvenida al asistente de instalación de NAZA

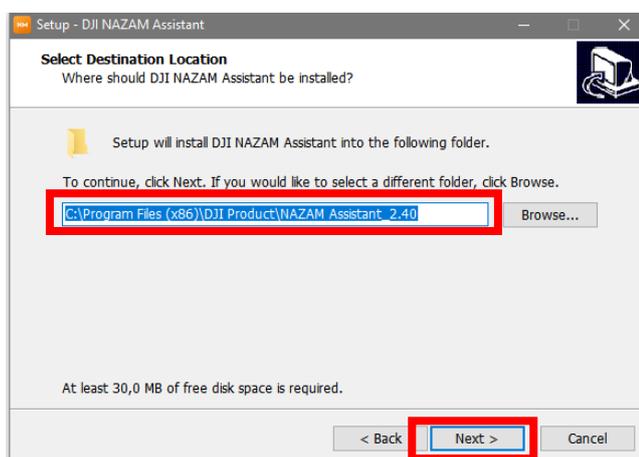


Figura 46 Ruta de instalación del software

- d. Comenzará la instalación del software NAZA M Assistant_2.40, al finalizar la instalación dar clic en “finish”.
- e. Para verificar la correcta instalación, dar clic en el acceso directo en él se muestra el entorno de trabajo del NAZA M Lite V2, conectar el Naza a la PC para que se instale de forma automática los drivers.

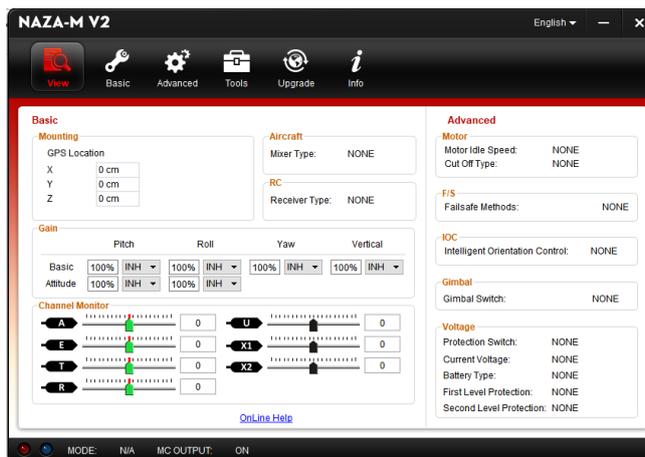


Figura 47 Entorno de trabajo NAZA M Lite V2

3.4. Configuración del telecontrol de vuelo

3.4.1. Configuración del punto de acceso WiFi de myRIO

- a. Para la configuración por primera vez de NI myRIO 1900 para punto de acceso WiFi, realizar la conexión física mediante el cable USB, abrir el NI MAX.
- b. Abrir “Remote Systems”, se desplegará todos datos y nombre del dispositivo myRIO conectado.

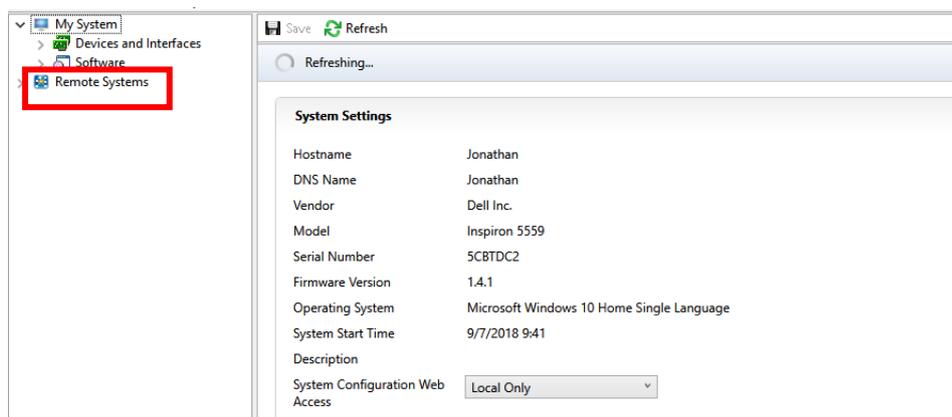


Figura 48 Aplicación NI MAX para configuración de myRIO

- c. Seleccionar “Create Wireless Network”, colocar el país en el que se encuentra la myRIO, seleccionar “DHCP Only” como lo muestra en la figura 49.

The screenshot shows the configuration page for the myRIO. It is divided into two main sections: Ethernet Adapter and Wireless Adapter.

Ethernet Adapter usb0 (Primary)

Adapter Mode	TCP/IP Network
MAC Address	00:80:2F:17:D5:2D
Configure IPv4 Address	DHCP Only
IPv4 Address	0.0.0.0
Subnet Mask	0.0.0.0
Gateway	0.0.0.0
DNS Server	0.0.0.0

[More Settings](#)

Wireless Adapter wlan0

Wireless Mode	Create wireless network
Country	Ecuador
MAC Address	00:80:2F:17:D5:2E
Status	Broadcasting my rio.
SSID	my rio This wireless network is saved. Enter new security settings
Configure IPv4 Address	DHCP Only
IPv4 Address	172.16.0.1
Subnet Mask	255.240.0.0

Figura 49 Creación del punto de acceso de WiFi myRIO

- d. Guardar las configuraciones, en la parte superior de la ventana seleccionar “save”, se procede a configurar automáticamente la tarjeta myRIO como un punto de acceso de WiFi, pero sin conexión a un servidor de internet, se encenderá el led de color tomate en la tarjeta myRIO, esto indicará que ya está activado el puerto de acceso WiFi.

The screenshot shows the top navigation bar of the myRIO configuration interface. The 'Save' button is highlighted with a red box. Below the navigation bar, the network configuration page is visible, showing the same settings as in Figure 49.

Navigation bar: [Rest](#) [Save](#) [Refresh](#) [Set Permissions](#) [Log In](#)

Network Adapters

Ethernet Adapter usb0 (Primary)

Adapter Mode	TCP/IP Network
MAC Address	00:80:2F:17:D5:2D
Configure IPv4 Address	DHCP Only
IPv4 Address	0.0.0.0
Subnet Mask	0.0.0.0
Gateway	0.0.0.0
DNS Server	0.0.0.0

[More Settings](#)

Wireless Adapter wlan0

Wireless Mode	Create wireless network
Country	Ecuador
MAC Address	00:80:2F:17:D5:2E
Status	Broadcasting my rio.

Figura 50 Guardado de la configuración de WiFi.

3.4.2. Configuración del VI de telecontrol con myRIO FPGA

Para la configuración del VI de telecontrol en myRIO FPGA, se debe realizar en dos partes una que será la implementación del FPGA VI, en la que estará el código de generación de señales de tipo servo y otra la implementación del Host VI el cual contará con los controles de movimiento del dron.

1. Configuración del FPGA VI.

- a) Conectar la PC en la red de WiFi myRIO, crear un nuevo proyecto y seleccionar en la parte izquierda de la ventana “myRIO”, después en “Blank Project”.

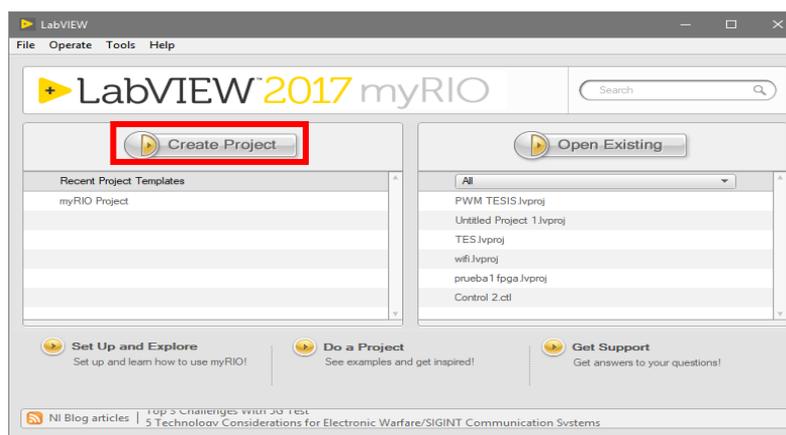


Figura 51 Creación de un nuevo proyecto en LabVIEW

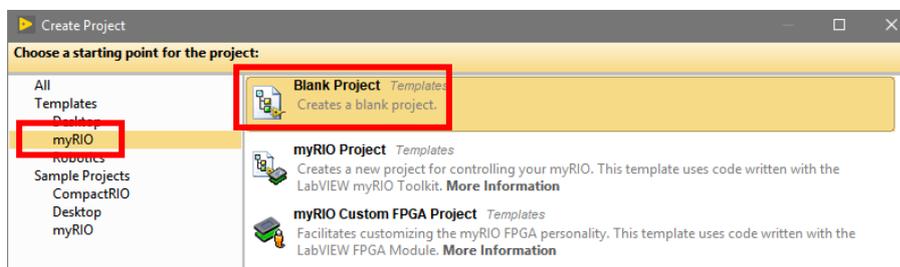


Figura 52 Creación del nuevo proyecto en myRIO

- b) Seleccionar con clic derecho sobre el nombre de la tarjeta myRIO, dirigirse a “new” y a “targets and devices...”, seleccionar el chasis de myRIO, el cual contiene el módulo FPGA de la misma tarjeta, se despliega una ventana en la cual se muestra todos los toolkits y módulos instalados.

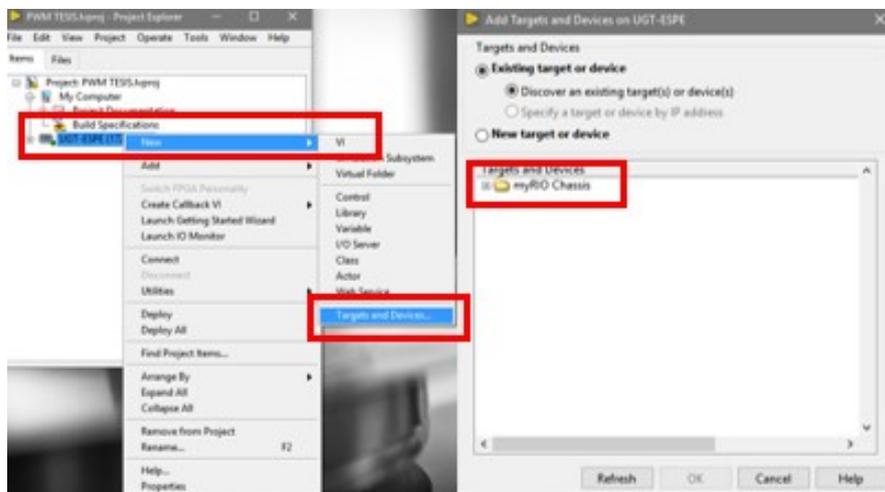


Figura 53 Selección del chasis de myRIO

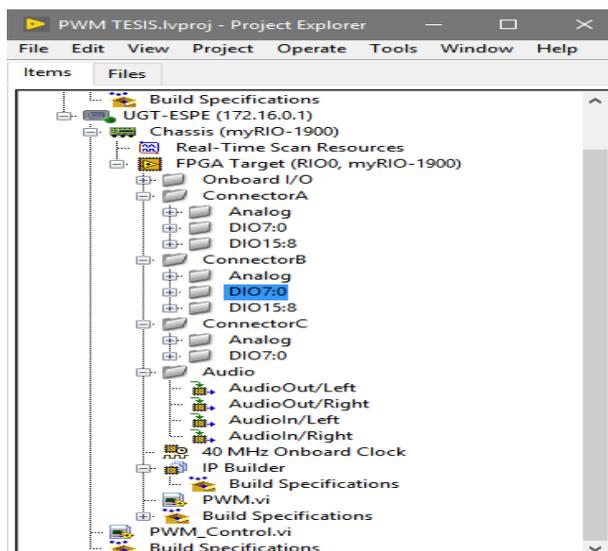


Figura 54 Módulos y toolkits de myRIO

- c) Clic derecho sobre “FPGA Target” y seleccionar “new”, después “VI” y se abrirá un nuevo VI que después se podrá grabar en el chip FPGA Xilinx Z-7010 de myRIO.

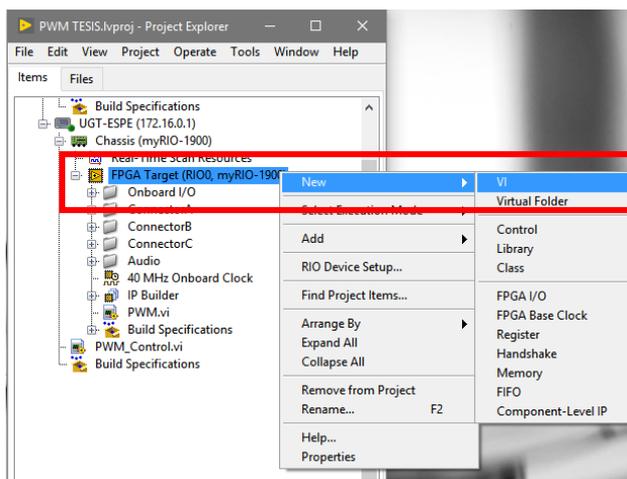


Figura 55 Creación del nuevo VI en FPGA.

- d) Abrir el diagrama de bloques y el Project Explorer, seleccionar el conector MXP A y abrir “DIO 7:0” aquí se encontrarán todos los puertos de E/S digitales desde el DIO0 hasta el DIO7, ir seleccionando uno a uno los puertos a usarse como la salida para la conexión de la myRIO hacia la controladora de vuelo.

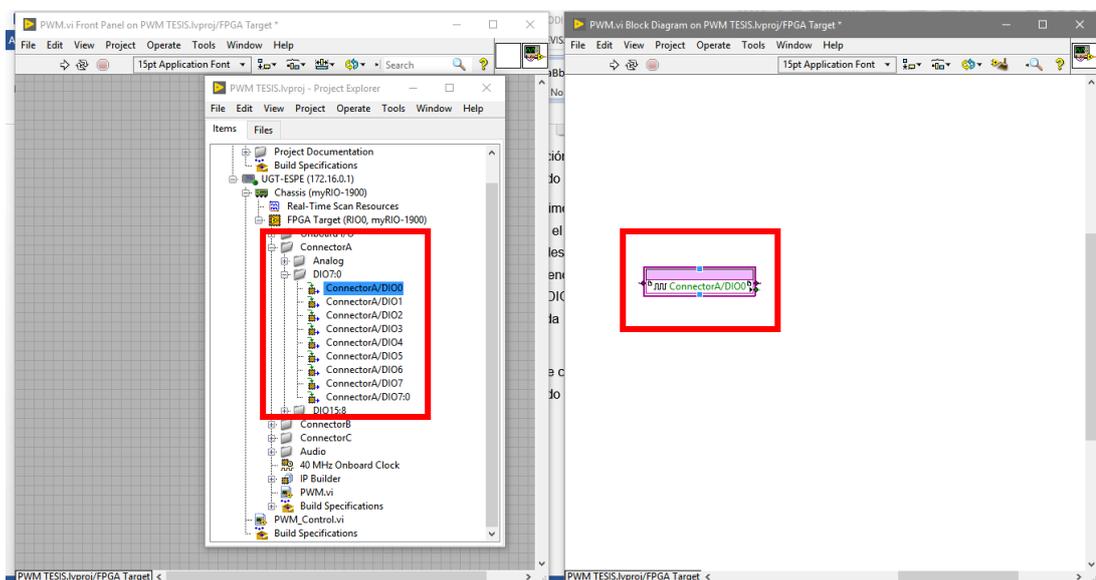


Figura 56 Selección de conector MXP y de E/S DIO.

- e) Abrir la ventana de funciones y seleccionar la estructura “While Loop”, esta estructura permitirá que el código se repita un número indeterminado de veces, colocar encima del conector DIO seleccionado anteriormente.

- f) Seleccionar la estructura “Flat Sequence”, y crear tres estructuras de las mismas tal como lo muestra la figura 54. Esta estructura permitirá que el programa siga un orden determinado es decir una secuencia, al estar dentro del while loop esta secuencia se volverá a repetir un número indeterminado de veces mientras el programa siga ejecutándose.

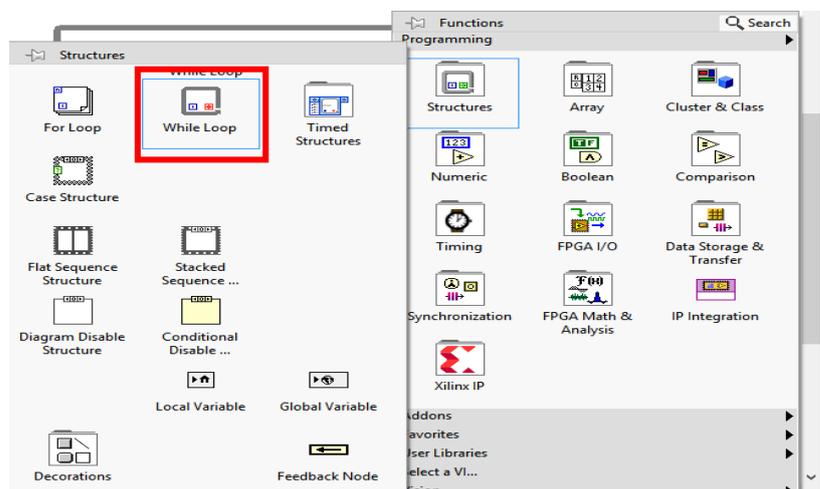


Figura 57 Panel de Funciones y estructuras de LabVIEW

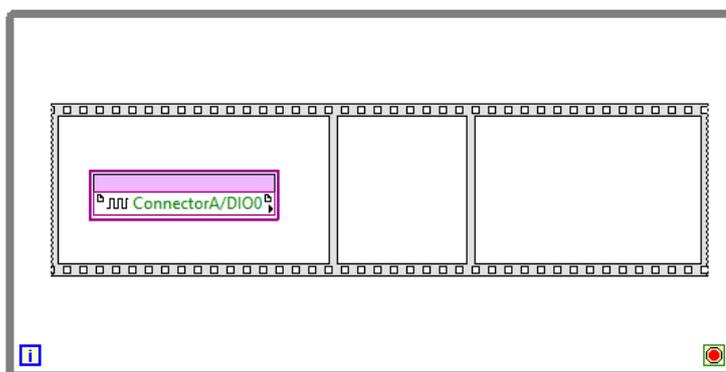


Figura 58 Estructura Flat Sequence

- g) Colocar un “wait” en la secuencia de la mitad y lo conectar a un “numeric control” (ver figura 59).
- h) Copiar el “FPGA DIO Node” y colocarlo al final de la secuencia, conectarlo a una constante booleana verdadera (T) y otra falsa (F) (ver figura 59).
- i) Colocar otro nodo de FPGA fuera de la estructura While Loop, conectar a una constante booleana verdadera (T), esto en conjunto con la secuencia anterior indicará que se está seleccionando el nodo del FPGA como salida, mientras que el control numérico servirá para variar los valores de la salida.

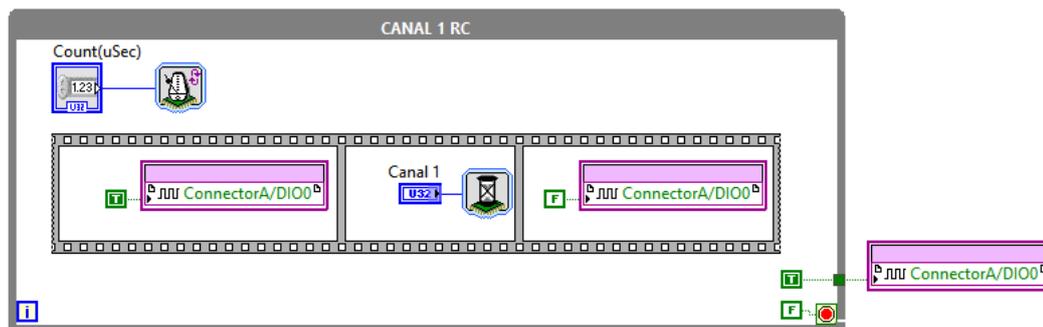


Figura 59 Designación de salida del FPGA

j) Realizar cinco diagramas de conexiones iguales, pero con diferentes nodos de FPGA, los cuales servirán para los cinco canales que irán conectados a la contralora de vuelo. Los canales van desde DIO0 hasta DIO4 de la siguiente manera:

- Alerón = Canal 1 = DIO0
- Elevador = Canal 2 = DIO1
- Acelerador = Canal 3 = DIO2
- Giro = Canal 4 = DIO3
- Modos de Vuelo = Canal 5 = DIO4

k) Guardar el programa en el FPGA de myRIO, dar clic en la parte superior del diagrama de bloques de LabVIEW, se despliega la ventana donde se podrá guardar el proyecto, dar clic en “save”.

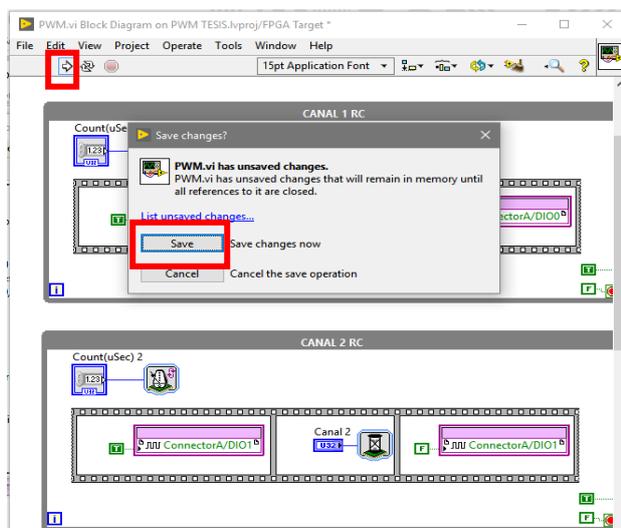


Figura 60 Guardado del proyecto en FPGA

- l) Se despliega una ventana donde indica los modos de compilación del servicio de FPGA, seleccionar “Use the local compile server” y dar en “OK”.

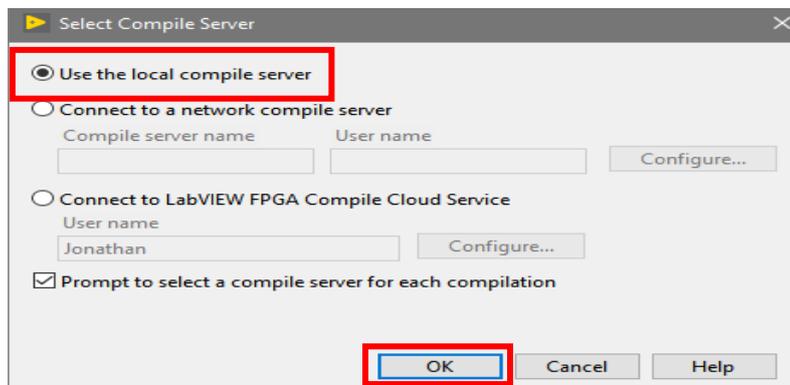


Figura 61 Selección del modo de compilación de FPGA

- m) Se despliega la ventana que indica el proceso de compilación del programa y verificación de fallo del código, después comenzara la grabación del programa en el FPGA de myRIO este proceso tardara de 7 a 8 minutos dependiendo del PC.

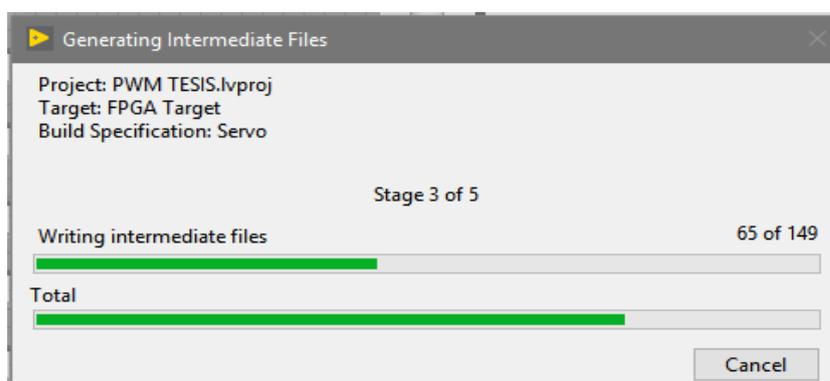


Figura 62 Proceso de compilación y verificación de fallos

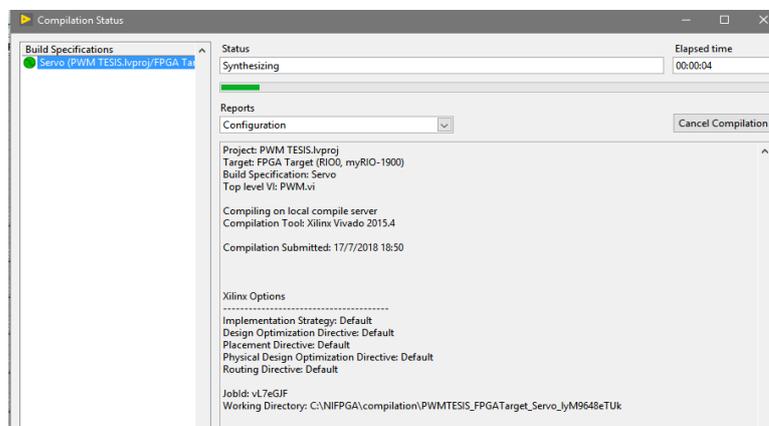


Figura 63 Grabado del código en el FPGA de myRIO

- n) Al finalizar el grabado el código en el FPGA se despliega la ventana de la figura 64, donde indica que se está conectado con myRIO para proceder a ejecutar el programa.

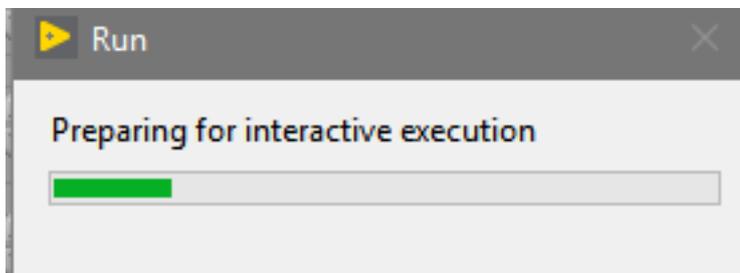


Figura 64 Finalización del grabado de FPGA

2. Configuración del Host VI

- a) Dirigirse al “Project Explorer”, dar clic derecho encima del nombre de la tarjeta myRIO, crear un nuevo VI.

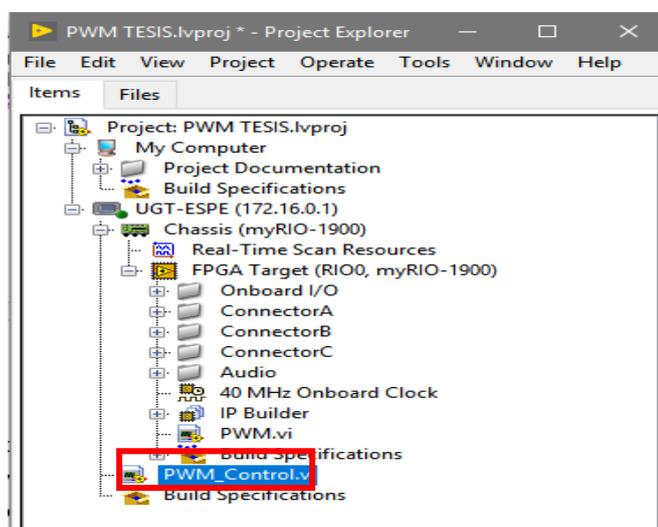


Figura 65 Creación del VI de control de vuelo

- b) Colocar un “while loop” y conectar un “botton” el cual servirá para detener el programa, insertar un tiempo para poder visualizar los valores que se envíen.



Figura 66 Colocación del botón “stop” y “wait” del programa

- c) Abrir la paleta de funciones y buscar “FPGA Interface”, ahí se encontrarán las herramientas para poder abrir el FPGA VI y controlarlo desde el host VI.
- d) Seleccionar “Open FPGA VI Reference” el cual ayuda a buscar y ejecutar el VI que se encuentre grabado en el FPGA de myRIO.

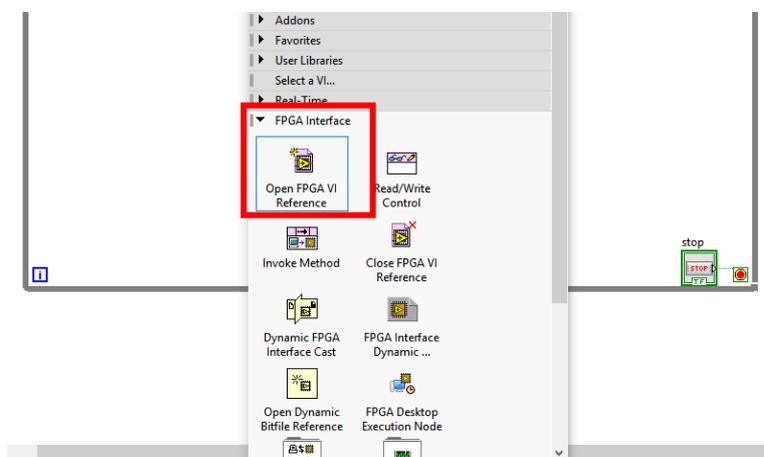


Figura 67 Referencia de FPGA VI.

- e) Seleccionar “Invoke Method Function” (ver figura 68), el cual invoca un método o acción de interfaz FPGA desde un host VI en un FPGA VI, estos métodos de función se lo utiliza para descargar, abortar, reiniciar, ejecutar, esperar y reconocer interrupciones de FPGA VI, leer y escribir DMA FIFOs (ver figura 69).

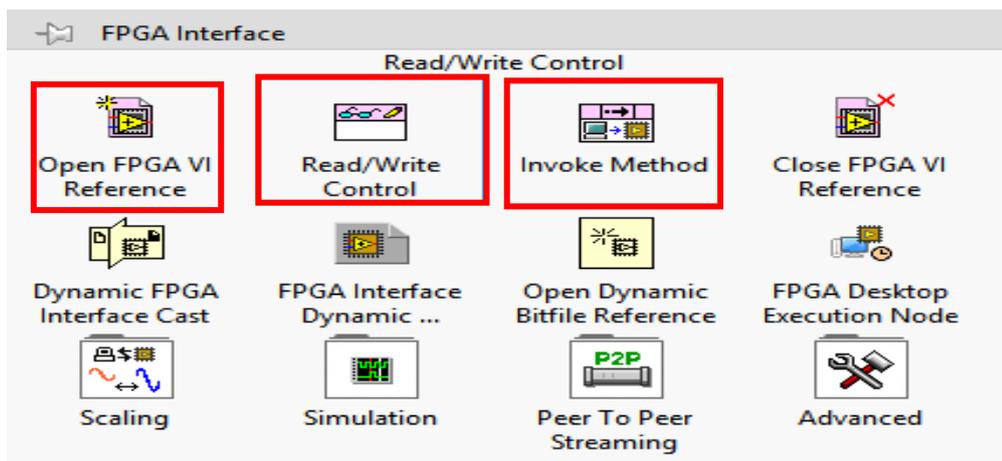


Figura 68 Función de control de lectura/escritura e invocar método.

- f) Seleccionar el “Read/Write Control Function”, el cual permite leer un valor de o escribir un valor a un control o indicador en el FPGA VI.
- g) Seleccionar “Close FPGA VI Reference”, el cual, por defecto, cierra la referencia a la FPGA VI y reinicia la FPGA VI, también detiene todos los FIFOs DMA en la FPGA.

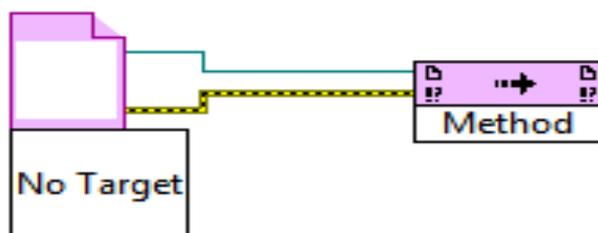


Figura 69 Conexión del Invoke Method Function.

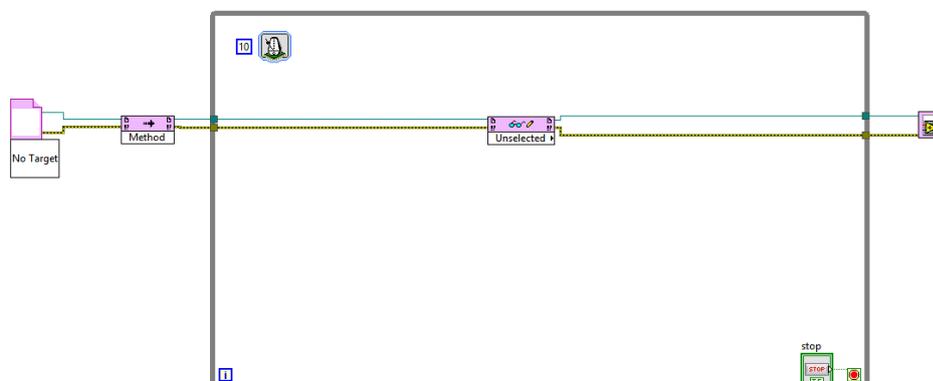


Figura 70 Conexión del FPGA VI Reference y Close FPGA VI

- h) Abrir la configuración del FPGA VI Reference para colocar la ruta del FPGA VI que se creó inicialmente así se podrá ejecutarse directamente desde el host VI, dar doble clic sobre el “OPEN FPGA VI”, seleccionar “VI”, se despliega la ventana de la figura 68, seleccionar el FPGA VI que se creó inicialmente y dar clic en “OK”, el icono del “Open FPGA VI” cambia.

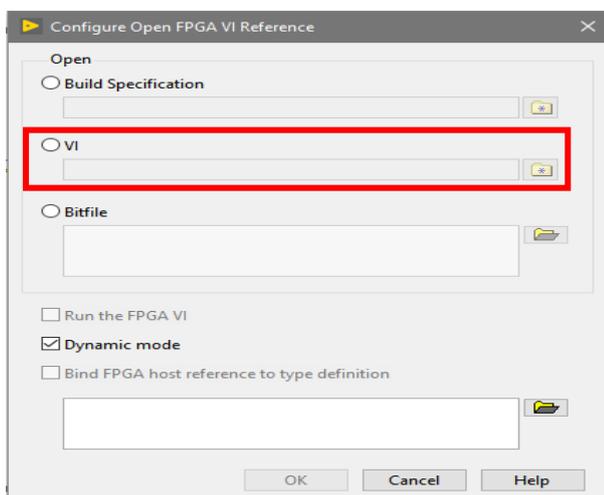


Figura 71 Configuración del “Open FPGA VI”

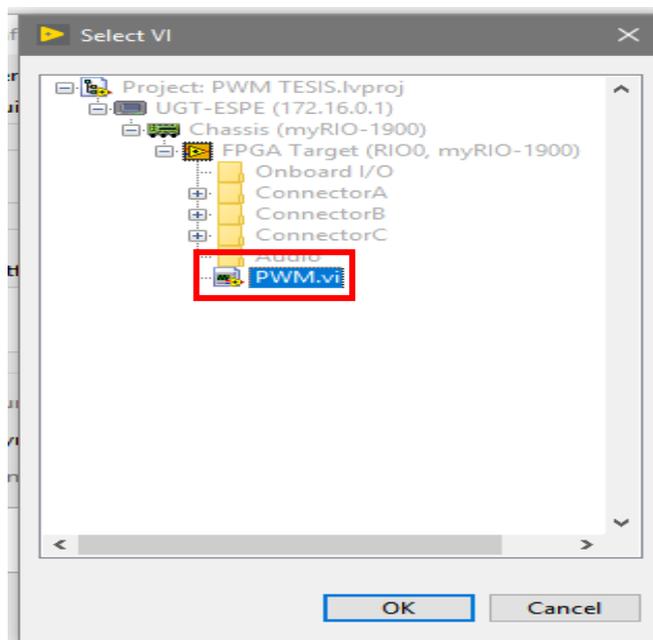


Figura 72 Configuración de la ruta del FPGA VI



Figura 73 Selección de ruta del “Open FPGA VI”.

- i) Dar clic derecho encima del “Invoke method”, seleccionar “Run”, esto indica que cuando se comience a ejecutar el host VI, de manera simultánea se ejecuta también el FPGA VI.

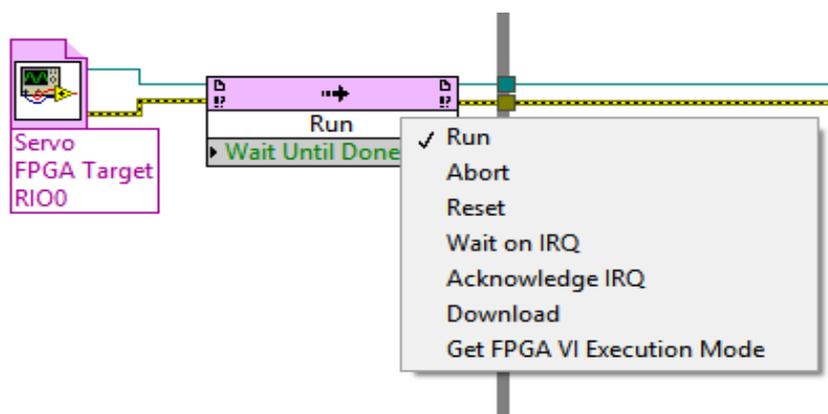


Figura 74 Selección de arranque del “Invoke Method”.

- j) En el Panel Frontal de LabVIEW, colocar cuatro “Pointer Slide” los cuales simulan los sticks de un radio control y a la vez estos controlan los movimientos de aceleración, giro, elevador y alerón del dron, estos Slides tendrán un rango de operación que va desde 1000 hasta 2000, ya que estos valores son los que acepta la controladora NAZA M Lite para poder mover al dron en diferentes direcciones.

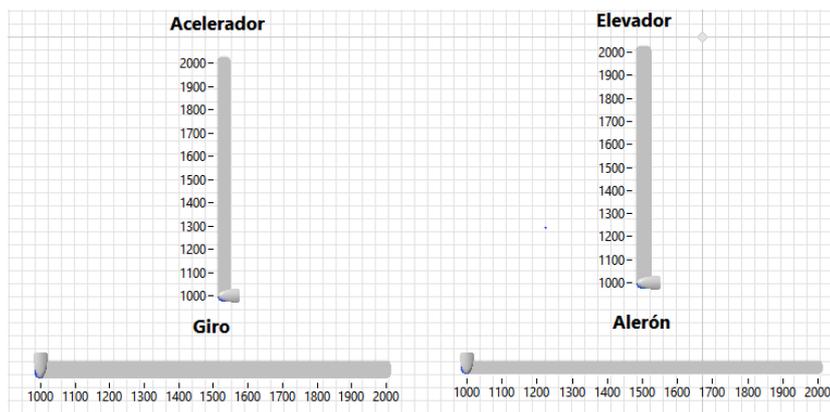


Figura 75 Colocación de los Pointer Slide

- k) Dar clic derecho encima de los Slide, seleccionar propiedades, luego a “scale” y colocar los rangos mínimos y máximo de operación.

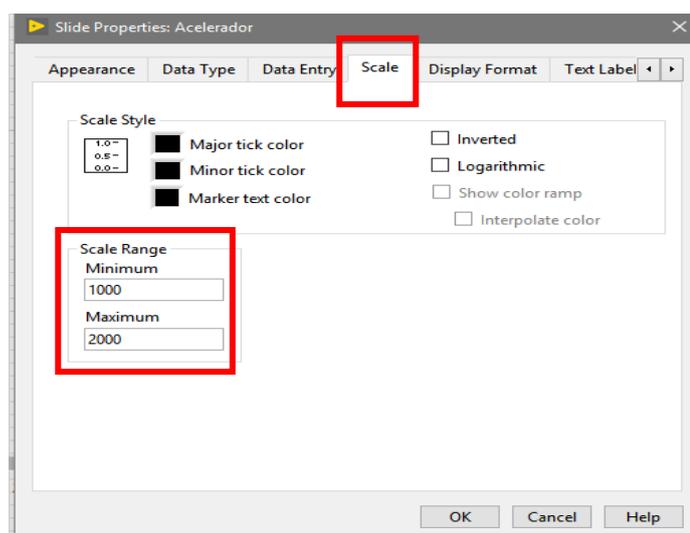


Figura 76 Rango de operación de los Slide

- l) Colocar un “menú ring”, este permite seleccionar los modos de vuelo manual, attitude, GPS.
- m) Colocar un “botton” para el desbloqueo de motores en el momento del arranque.

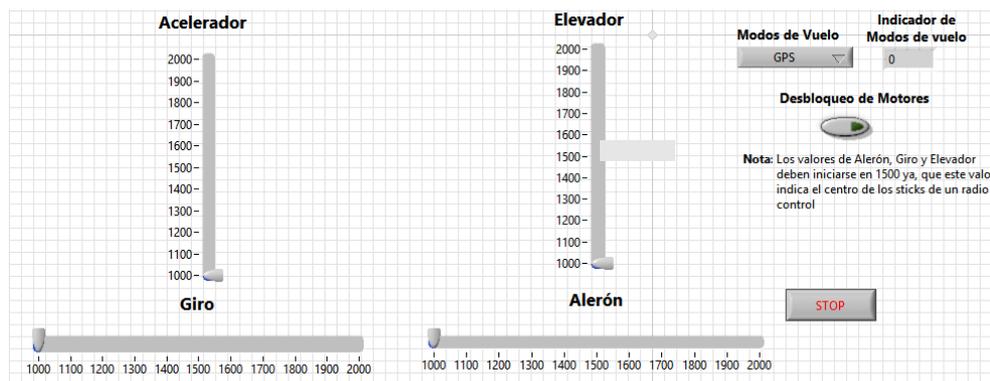


Figura 77 Colocación del Menú Ring y Boton.

- n) En el diagrama de bloques, seleccionar los nodos del FPGA en el “Read/Write Control” que se colocó en el FPGA VI (ver figura 78).

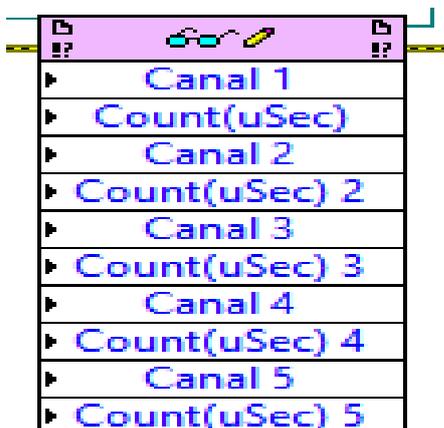


Figura 78 Selección de nodos en el Read/Write Control.

- o) Conectar el “menú ring” a un “case structure” para que cuando se seleccione el modo de vuelo del dron el case structure envíe una constante numérica al “Read/Write Control” del FPGA Interface.
- p) Conectar la salida del case structure al canal 5 del Read/Write Control y colocar el valor predeterminado para el modo de vuelo GPS (1859), este valor numérico determinara el ancho de la señal de tipo servo en función del tiempo, colocar solo el valor del modo GPS debido a que el cuadricoptero está diseñado para volar con este modo. En los demás modos de vuelo colocar el mínimo del ancho de la señal (1000)

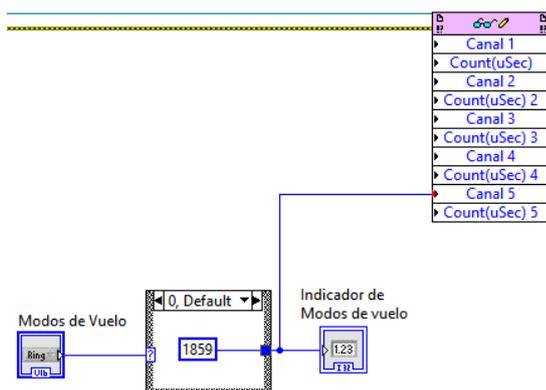


Figura 79 Conexión del menú ring.

- q) Setear los count del Read/Write Control a través de una constante del valor máximo del ancho de la señal tipo servo (2000).

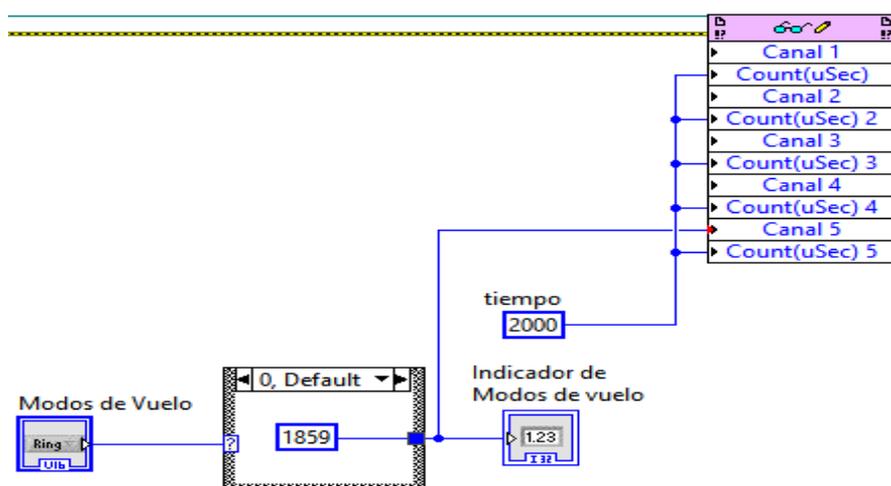


Figura 80 Conexión de los “Count” del Read/Write Control

- r) Colocar otro “case structure” y conectar el botón del desbloqueo de motores a la entrada del case, en la condición “false” colocar todos los controles numéricos del panel frontal (alerón elevador, acelerador y giro), conectar sus salidas a cada uno de los canales del Read/Write Control (ver figura 81).

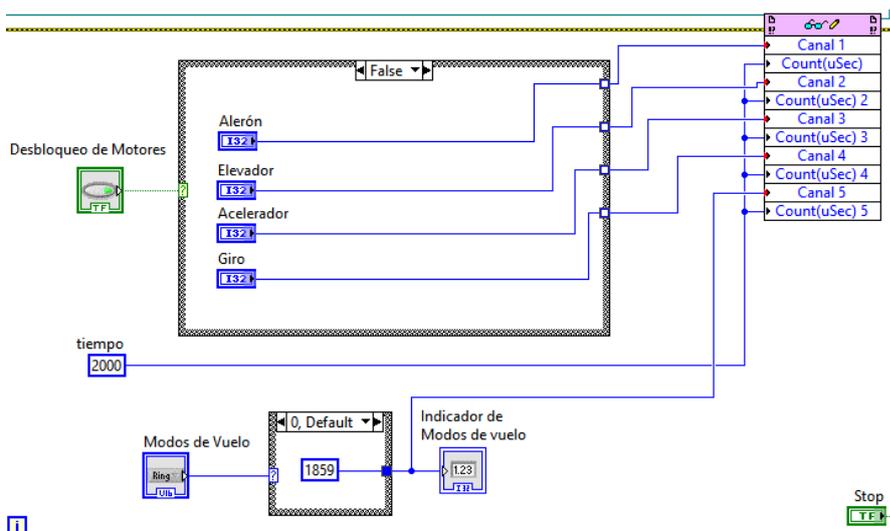


Figura 81 Conexión del botón de desbloqueo de motores.

- s) En el caso verdadero se coloca la secuencia de desbloqueo de motores dada por la controladora de vuelo NAZA, la cual consiste en enviar la señal de alerón y elevador al mínimo (1000), mientras que la señal del giro al máximo (2000), con esta secuencia inicia los motores caso contrario si se llega a enviar otra secuencia los motores no arrancaran, esto es como una protección de la controladora NAZA. El acelerador se conecta como lo indica el literal “t”.

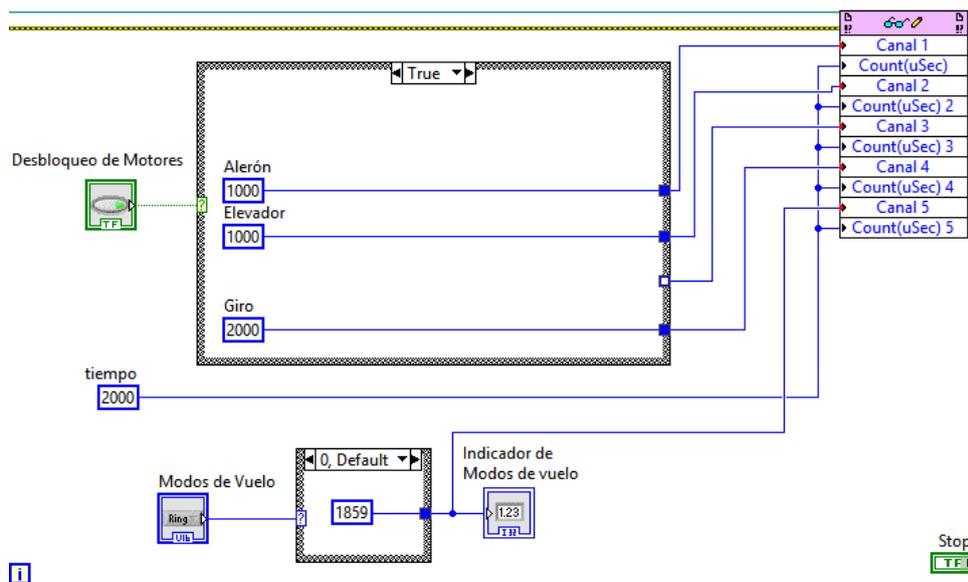


Figura 82 Secuencia del desbloqueo de motores.

- t) Crear una variable local, del acelerador para llevarla a una comparación, en donde si el rango del acelerador supera los 1100 este desactivara el botón de desbloqueo de motores automáticamente (ver figura 83), colocar esta conexión en la condición verdadera y conectar la salida de la variable local del acelerador al canal 3 del Read/Write Control.

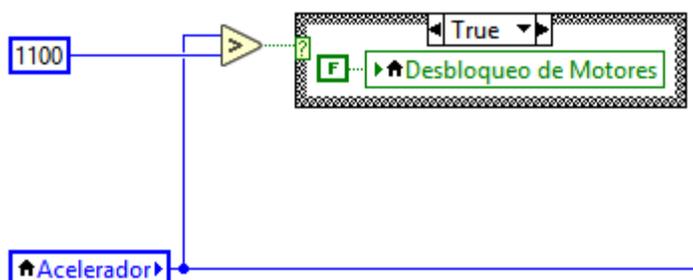


Figura 83 Secuencia de conexión del acelerador.

- u) Adecuar el panel frontal y el diagrama de bloques para crear una interfaz que sea entendible para el manejo del dron, después proceder a verificar la funcionalidad del programa.

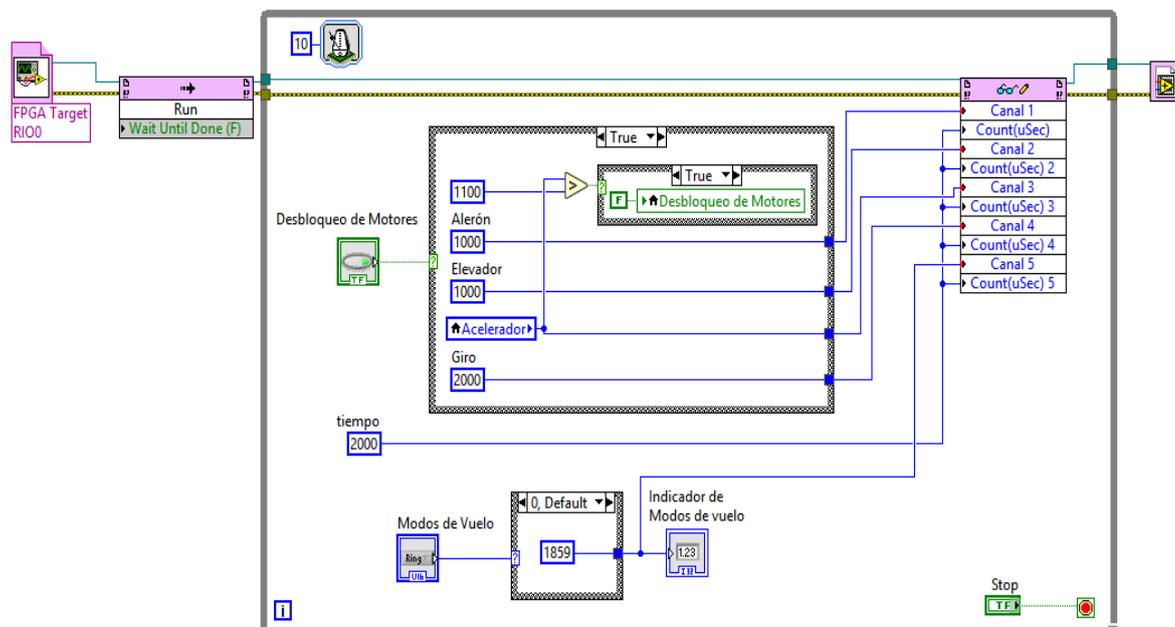


Figura 84 Diagrama de bloques del Host VI.

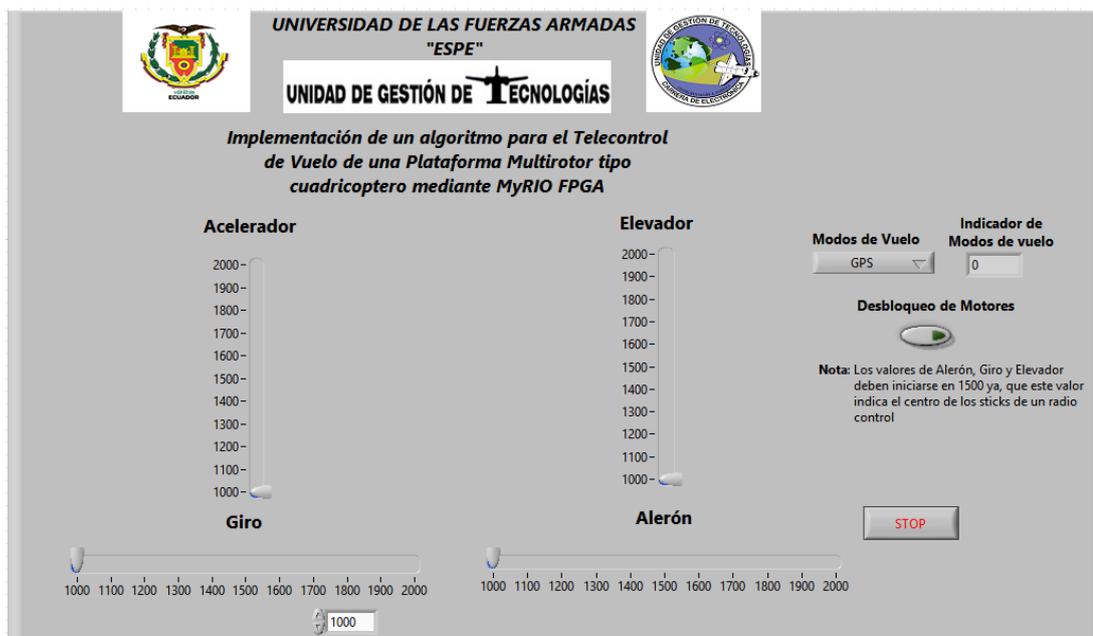


Figura 85 Panel Frontal

3.5. Pruebas de Funcionamiento del sistema

- Una vez finalizada la programación del instrumento virtual se obtuvo como resultado el panel frontal disponible para la navegación del cuadricoptero (ver figura 86).

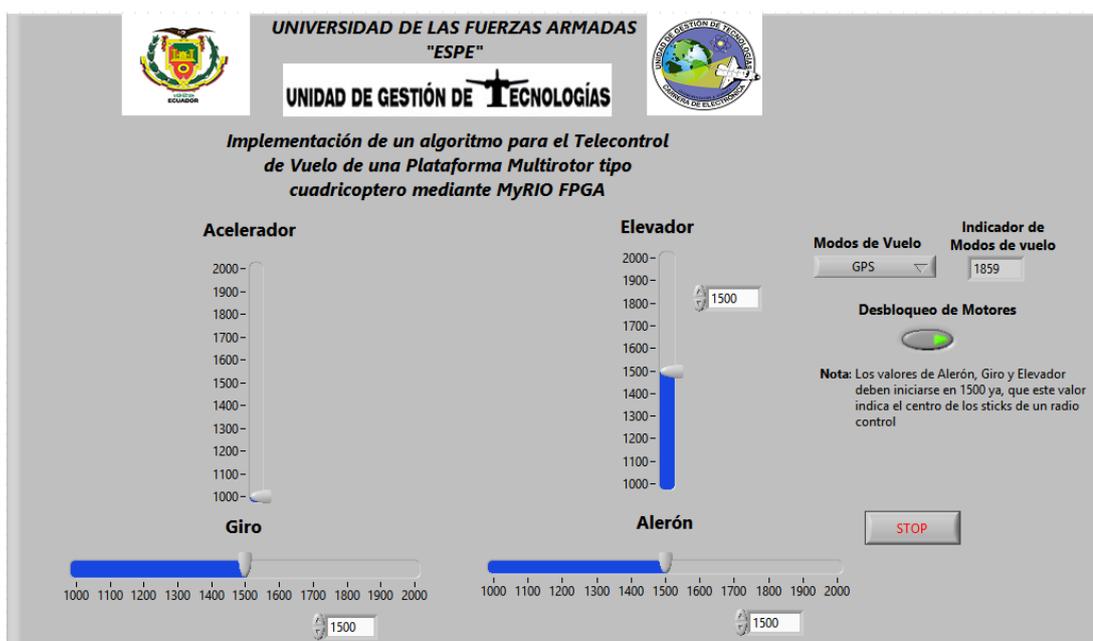


Figura 86 Panel Frontal ejecutándose.

- La distancia de la comunicación de myRIO según su manual de especificaciones es de 150 metros en línea de vista, en las pruebas realizadas, se tuvo una reducción del alcance a un máximo de 6 metros de altura debido a que existe interferencia magnética con las señales producidas por el NAZA y los inhibidores de señal del Aeropuerto Internacional de Cotopaxi.

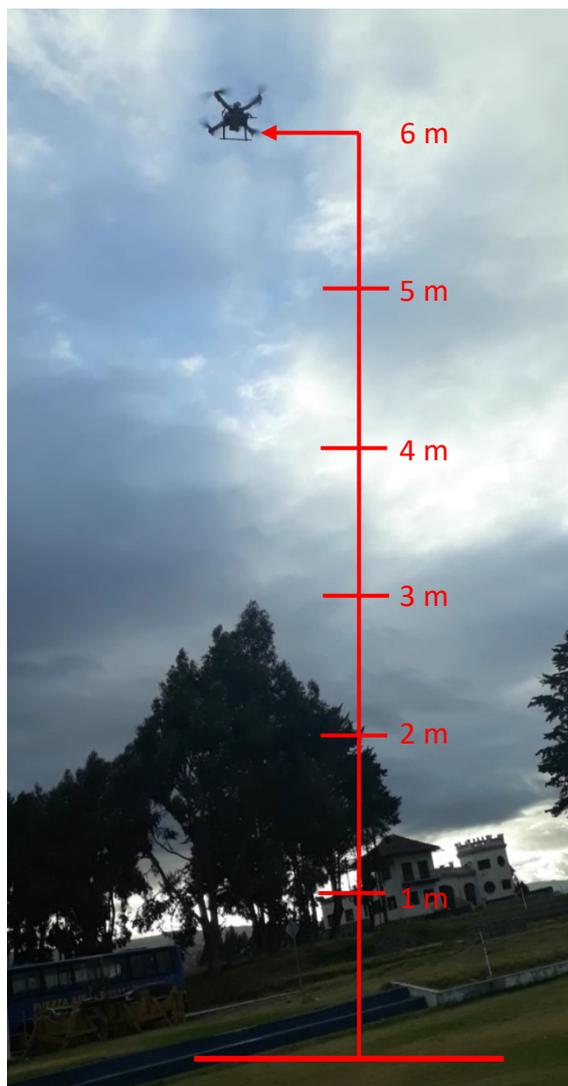


Figura 87 Distancia máxima de vuelo

- El cuadricoptero en ráfagas de viento demostró una estabilidad bastante precisa, debido a que el NAZA posee una corrección de ganancias automática. Al hacer las pruebas dentro de un área cerrada la estabilidad se redujo considerablemente porque el GPS no lograba una buena recepción de señal satelital.



Figura 88 Pruebas de estabilidad con PC

- Para corregir el fallo por pérdida de señal Setear la distancia en máxima en el software NAZA como lo indica la figura 89

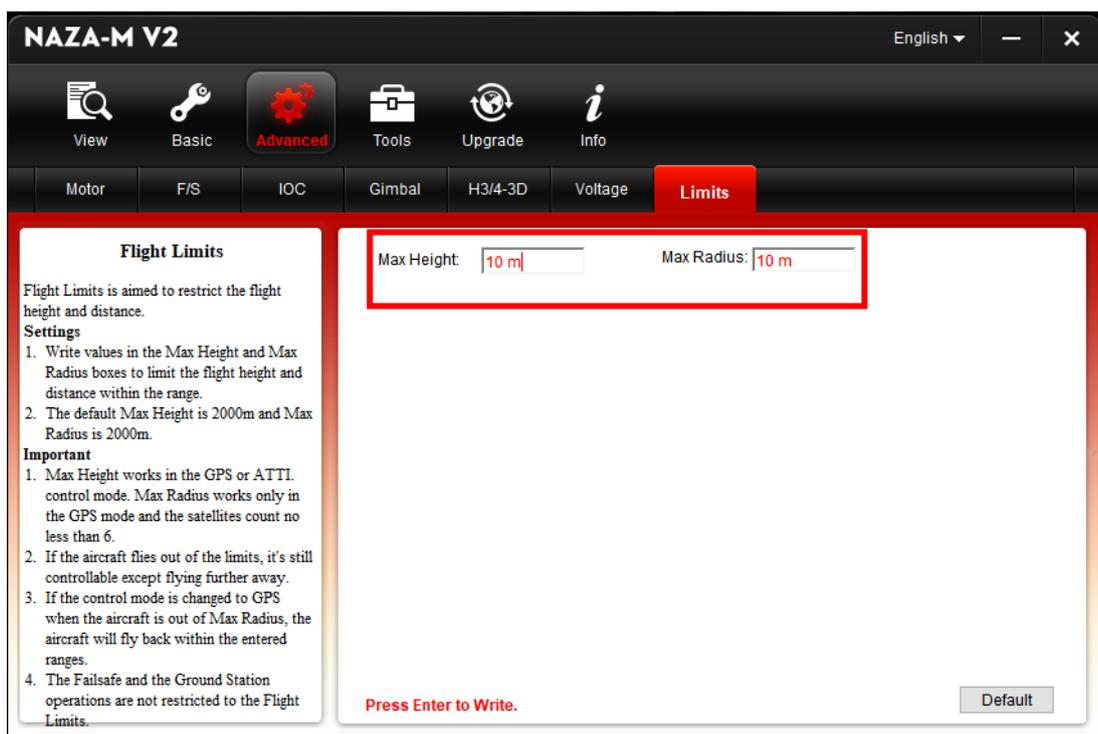


Figura 89 Distancia máxima de vuelo

- Cuando la señal WiFi de myRIO está bastante atenuada por diferentes interferencias o por la distancia del cuadricoptero, en el panel frontal de LabVIEW se despliega un mensaje de alerta de pérdida de señal (ver figura 90).

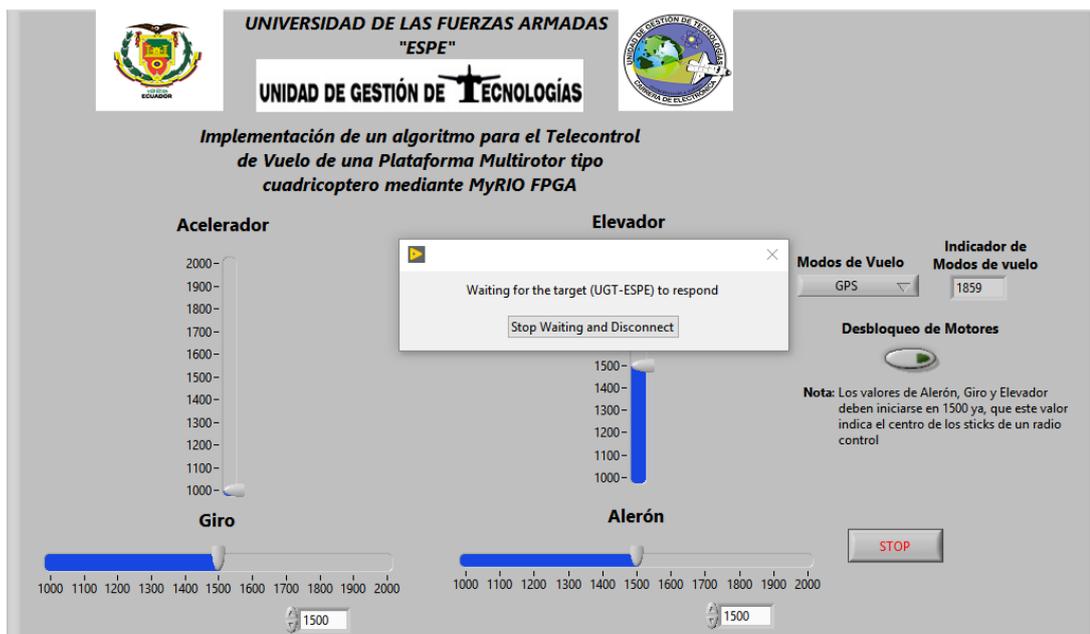


Figura 90 Aviso de perdida de Señal WiFi

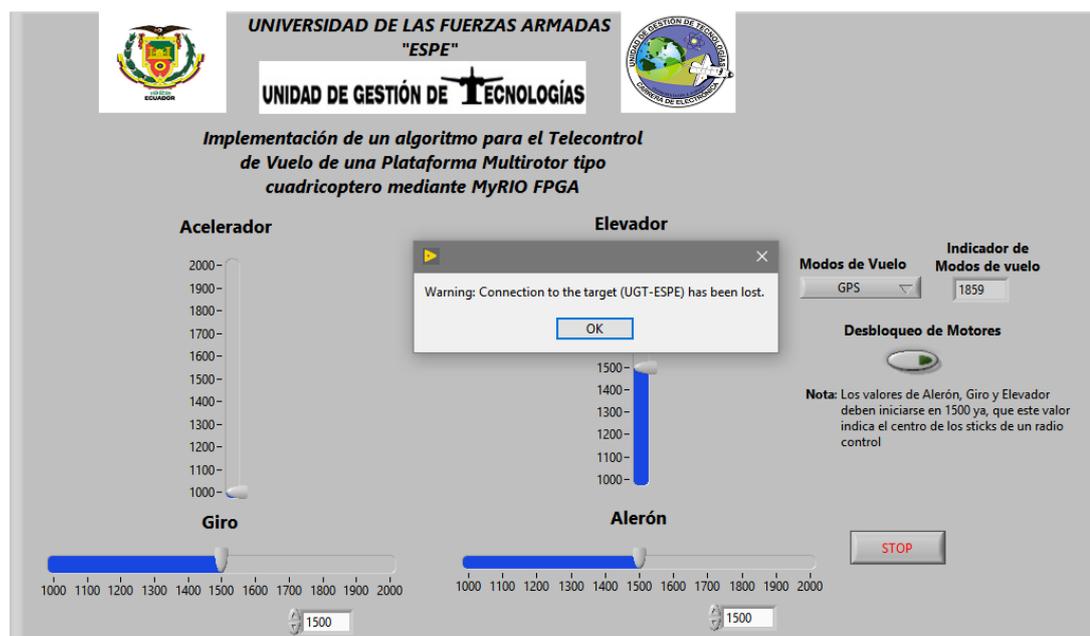


Figura 91 Señal perdida de WiFi

- La siguiente tabla muestra los valores tomados en diferentes distancias en forma horizontal, el comportamiento de la estabilidad del cuadricoptero e intensidad de la señal de WiFi, se elevó al dron a 1 metro de distancia desde el piso y se tomó como referencia la cancha de fútbol de los establecimientos de la universidad que tiene una longitud de 72 metros, esto se lo realizo para verificar si la conexión de WiFi alcanza los 120 metros en línea de vista como lo especifica en la hoja técnica de NI myRIO 1900.
- Al finalizar las pruebas en línea de vista y con elevación a un metro desde el piso la señal WiFi alcanzó un máximo de 40 metros antes de que llegue a atenuarse por completo esto es causa de las diferentes interferencias en la propagación de las señales, las pruebas se las realizo en los establecimientos de la universidad debido que el dron será usado mayormente en la institución con fines de instrucción en la aplicación de FPGA.

Tabla 3

Distancia de alcance de la señal WiFi

Distancia en Línea de vista	Estabilidad	Intensidad de la señal WiFi
2 metros	Muy buena	Normal
4 metros	Muy buena	Normal
6 metros	Muy buena	Normal
8 metros	Muy buena	Normal
10 metros	Muy buena	Normal
12 metros	Muy buena	Normal
14 metros	Muy buena	Normal
16 metros	Muy buena	Normal
18 metros	Buena	Normal
20 metros	Buena	Atenuada
22 metros	Buena	Atenuada
24 metros	Buena	Atenuada
30 metros	Buena	Atenuada
35 metros	Baja	Atenuada
40 metros	Baja	Perdida
50 metros	Vibraciones	Perdida
72 metros	Descenso total	Perdida

CAPÍTULO IV

4.1. Conclusiones

- Analizando las características de NI myRIO y la funcionalidad de su módulo FPGA, se desarrolló el telecontrol de vuelo para este tipo de dron compatible con la interfaz de trabajo de Naza M Lite, permitiendo un futuro desarrollo de algoritmos más complejos y adaptables a cualquier tipo de UAV.
- La programación en NI LabVIEW facilita la combinación del hardware y software en un entorno grafico logrando un instrumento virtual de control de mandos con algoritmos en FPGA para mantener una comunicación mediante WiFi.
- Este prototipo de cuadricóptero usado tiene la capacidad de poder levantar hasta 250 gramos de carga útil, por lo que permite llevar con una tarjeta NI myRIO con un peso de 60 gramos con una batería de tipo LiPo para su alimentación y aparte una batería para la energización del dron por completo.
- Realizando las pruebas de funcionamiento se determinó que el WiFi de myRIO, no es lo suficientemente adecuado para el telecontrol de cuadricópteros su alcance es de apenas 6 metros por lo que si no hay un control en la distancia puede llegar a provocar un accidente en caso de pérdida de la señal WiFi.
- El uso de la tarjeta de vuelo Naza M Lite en conjunto con un radio control RC permite un alcance de vuelo de 2000 metros según las especificaciones del Naza, este alcance se reduce drásticamente en funcionamiento con myRIO, un posible tema de una futura investigación será el uso de una tarjeta Xbee en conjunto con myRIO para ampliar la señal de alcance del radio control.

4.2. Recomendaciones

- Revisar las hojas técnicas de cada uno de los elementos a usarse para tener en cuenta los rangos y condiciones de operaciones de equipos utilizados, evitando así fallos y consiguiendo que la operación se desarrolle sin complicaciones.
- Dimensionar adecuadamente los controladores de velocidad electrónicos (ESC), teniendo en cuenta los picos de corriente que tienen cada uno de los motores brushless en función de sus KV y las condiciones de funcionamiento a las que van a estar sometidos los ESC.
- Colocar alertas visuales o sonoras para evitar sobrepasar el rango de alcance de la señal WiFi de myRIO, evitando así accidentes por pérdida de señal en vuelo.
- Establecer las ganancias óptimas en la controladora de vuelo Naza M Lite para lograr un vuelo estable y nivelado, logrando así compensar el peso útil que lleva el cuadricoptero.
- Evitar volar el cuadricoptero dentro de áreas cerradas o áreas con interferencia de señales e inhibidores de señal, ya que el módulo GPS no podría establecer una posición precisa perdiendo así la conexión con los satélites cercanos, y teniendo un descontrol de la posición, altitud y velocidad provocando un accidente.

GLOSARIO DE TERMINOS

HMI	Interfaz Humano Maquina
FPGA	Conjunto de Puertas Programables en Campo
ASIC	Circuitos Integrados de Aplicaciones Especificas
NRE	Ingeniería no Recurrente
PAL	Lógica de Arreglo Programable
LUT	Look-Up Tables (Tabla de búsqueda)
Flip-Flops	Biestables
DCM	Digital Clock Manager (gestor digital de reloj)
CLB	Bloque Lógico Configurable
HDL	Hardware Description Language
DUT	Dispositivo Bajo Prueba
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
SPI	Interfaz de periféricos en serie
MSP	Mini System Port (Mini puerto del sistema)
MXP	Puertos de extensión de myRIO
I2C	Circuito Inter-Integrado
UAV	Vehículo Aéreo no Tripulado
RPV	Vuelo Aéreo Tripulado Remotamente
IMU	Unidad de Medición Inercial
FIFO	First-In, First-Out
DMA	Direct Memory Access (Acceso directo a la memoria)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adhul, S. V., Nandagopal, J. L., & Revathi, H. (2017). Implementation of a control electronics module for flow control valve based on FPGA (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2017.8397223>
- Abundiz. (04 de Septiembre de 2009). Blogspot. Recuperado el 28 de Junio de 2018, de <http://programacion1abundiz.blogspot.com/2009/09/lenguaje-de-descripcion-de-hardware.html>
- Aguilar, L. M., Torres, J. P., Jimenes, C. R., & Cabrera, D. R. (2015). Balance of a hexapod in real time using a FPGA (pp. 825-828). IEEE. <https://doi.org/10.1109/Chilecon.2015.7404667>
- Bernal, D. (2014). Características de los FPGA. academia.edu. Recuperado de http://www.academia.edu/8408759/Caracter%C3%ADsticas_de_los_FPGA
- de Andrade Fernandes, R., Ribeiro, T. R. B., & Torne, I. G. (2018). Simulation of transient characteristics a salient pole synchronous generator using LabVIEW software (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395860>
- DJI. (2014). Naza-M Lite - Downloads - Manuals, Software, Drivers download | DJI. Recuperado 3 de julio de 2018, de <http://www.dji.com/product/naza-m-lite/download>
- Dong, C., Xie, J., Dai, H., Wu, Q., Qin, Z., & Feng, Z. (2018). Optimal deployment density for maximum coverage of drone small cells. *China Communications*, 15(5), 25-40. <https://doi.org/10.1109/CC.2018.8387984>
- Dpto. Comunicación. (2015, julio 9). Origen y desarrollo de los drones. Recuperado 3 de julio de 2018, de <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>
- Garciglia, R. S. (2015, marzo). DRONES: TECNOLOGÍA A CONTROL REMOTO. Recuperado 3 de julio de 2018, de <https://saberimas.umich.mx/archivo/tecnologia/150-numero-1957/301-drones-tecnologia-a-control-remoto.html>
- Goswami, S., & Alam, A. (2017). Real-time flux-torque estimation of three phase induction motor using LabVIEW (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2017.8397242>
- GuiaDrone. (2017, diciembre 24). Guía de tipos de hélices para drones de carreras. Recuperado 3 de julio de 2018, de <https://guiadrone.com/drones-de-carreras/helices/>
- Harane, A., Bhoir, S., Patkar, T., & Karia, D. (2017). Design and development of farm automation system using NI myRIO (pp. 751-754). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389537>

- Instruments, N. (2014). NATIONAL INSTRUMENTS. Recuperado el 28 de 06 de 2018, de <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/gprogramming.htm>
- Kang, H., Kim, B., & Lee, W. (2015). Indoor localization of DRON using vision based sensor fusion (pp. 932-934). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2015.7364757>
- ModelTronic. (2014). Chassis F450 Drone QUADCOPTER KIT version PCB. Recuperado 3 de julio de 2018, de <http://www.modeltronic.es/chasis-f450-drone-quadcopter-kit-version-pcb-p-9920.html>
- National, I. (2010, noviembre 8). Uso de FPGAs en Aplicaciones de Pruebas - National Instruments. Recuperado 17 de julio de 2018, de <http://www.ni.com/white-paper/9344/es/>
- National Instruments. (2012). myRIO-1900 User Guide and Specifications - National Instruments. 1, 1, 32. Recuperado de <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>
- Navas, M. A. (2016, marzo 4). ¿Que son los drones ? Toda la información. Recuperado 3 de julio de 2018, de <https://www.profesionalreview.com/2016/03/04/que-son-los-drones-toda-la-informacion/>
- Rob, R., Rusu-Anghel, S., & Panoiu, C. (2018). Real Time System for Acquiring and Logging the Plan Position Using NI MyRIO Controller. 2017 II Conferencia Internacional Multidisciplinaria En Informática y Ciencias de La Energía (SpliTech), 1(1), 6. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8019278/>
- Trimberger, S. M. S. (2018). Three Ages of FPGAs. IEEE Solid-State Circuits Magazine, 10(2), 16-29. <https://doi.org/10.1109/MSSC.2018.2822862>
- Yumpu. (2013). 32 Circular OACI 328-AN/1. Recuperado 3 de julio de 2018, de <https://www.yumpu.com/es/document/view/4544276/sistemas-de-aeronaves-no-tripuladas-uas-icao/46>

HOJA DE VIDA



Datos Personales

NOMBRE	Jonathan Alexander Ñacata Sangoquiza
DOCUMENTO DE IDENTIDAD	172491251-2
FECHA DE NACIMIENTO	01 de Enero de 1997
LUGAR DE NACIMIENTO	Quito, Ecuador
ESTADO CIVIL	Soltero
CIUDAD	Quito, Pichincha - Ecuador
DIRECCIÓN	Amaguaña, Barrio Peluche - Calle Eugenio Espejo y José P. Caamaño
TELÉFONO	0989146430 - 0980618116 / 023821141
E-MAIL	jonathan010197alex@gmail.com

Estudios

- Estudios Primarios:** Escuela Particular “Cristo Rey”
Dirección: Amaguaña, Canton Quito
- Estudios Secundarios:** Unidad Educativa “Ismael Proaño Andrade”
Dirección: Tambillo, Canton Mejia
Titulo obtenido: Tecnico Industriales en
Electronecámica Automotriz
- Estudios Superiores:** Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”-
Unidad de Gestión De Tecnologías
Dirección: Av. Javier Espinosa y Av. Amazonas,
Latacunga - Cotopaxi.
Estado actual: Egresado
Titulo a obtener: Tecnólogo Superior en
Electrónica, Mención Instrumentación y
Aviónica

Conferencias Recibidas

Curso: “Primeras Jornadas Tecnologicas Internacionales En Electromecánica 2016”;
duración 20 horas; Establecimientos de la Universidad de las Fuerzas Armadas
“ESPE” extensión Latacunga; Diciembre, 2016

Experiencia Laboral

SERVICIO TECNICO AUTOMOTRIZ “AMAGUAÑA”

CARGO: Ayudante, Mecanico Automotriz

TIPO: Prácticas Pre-Profesionales

FUNCIONES: Armado y desarmado de motores, ABC de motores, Limpieza inyectores,
Cambio de aceites, Arreglo del sistema de frenado del automovil.

JEFE INMEDIATO: Cesar Tipan Suarez

TELÉFONO: 2877358

DIRECCIÓN: Amaguaña, Autopista Gral. Rumiñahui y Cristobal Colón

INDUCE DEL ECUADOR

CARGO: Técnico en Mantenimiento de Maquinas Eléctricas e Instalaciones Eléctricas.

TIPO: Prácticas Pre-Profesionales.

FUNCIONES: Revisión, Mantenimiento de Equipos y Maquinas Eléctricas, Instalacion de una red Eléctrica Domestica.

JEFE INMEDIATO: Ing. Wilmer Culqui

TELÉFONO: 032262270 / 032262150

DIRECCIÓN: Vía Mulalo-Sector Tandalivi, Cotopaxi-Ecuador

**FUERZA AÉREA ECUATORIANA - ESCUELA SUPERIOR MILITAR DE AVIACIÓN
"COSME RENNELLA B."**

CARGO: Ayudante de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico de Aeronaves.

TIPO: Prácticas Pre-Profesionales.

FUNCIONES: Revisión y mantenimiento de equipos de Avionica.

JEFE INMEDIATO: Mayor EMT. Avc. José Espin Vaca

DIRECCIÓN: Av. Eloy Alfaro, Salinas-Ecuador

ACEPTACIÓN DEL USUARIO

Latacunga, 06 de agosto de 2016

Yo, ING PABLO PILATÁSIG en calidad de encargado del Laboratorio de Instrumentación Virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías, me permito informar lo siguiente:

El proyecto técnico elaborado por el Sr. **ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER**, con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL TELECONTROL DE VUELO DE UNA PLATAFORMA MULTIROTOR TIPO CUADRICOPTERO MEDIANTE MYRIO FPGA”**, ha sido efectuado de forma satisfactoria en las dependencias de mi cargo y que la misma cuenta con todas las garantías de funcionamiento, por lo cual extiendo este aval que respalda el trabajo realizado por el mencionado estudiante.

Por tanto, me hago cargo de todas las instalaciones realizadas por el Sr. estudiante.

Atentamente,

ING. PABLO PILATÁSIG

ENCARGADO DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Latacunga, 06 agosto de 2016

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

**ÑACATA SANGOQUIZA JONATHAN ALEXANDER
ID L00363759**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

**Ing. Pablo Xavier Pilatasig Panchi
Director Carrera de Electrónica Mención Instrumentación & Aviónica**