



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y

CONTROL

AUTOR: OCHOA GUEVARA, OSCAR SANTIAGO

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES, PARA
INTEGRACIÓN EN UN VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO.**

DIRECTOR: ING. DANNY SOTOMAYOR

CODIRECTOR: ING. RODOLFO GORDILLO

SANGOLQUI, MAYO 2015

CERTIFICADO

Ing. Danny Sotomayor

Ing. Rodolfo Gordillo

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Implementación de sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, para integración en un vehículo aéreo no tripulado”, realizado por Oscar Santiago Ochoa Guevara, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación. El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Oscar Santiago Ochoa Guevara que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 08 de Mayo de 2015.



Ing. Danny Sotomayor



Ing. Rodolfo Gordillo

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

OSCAR SANTIAGO OCHOA GUEVARA

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Implementación de sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, para integración en un vehículo aéreo no tripulado”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 08 de Mayo de 2015.



Oscar Santiago Ochoa Guevara

AUTORIZACIÓN

Yo, Oscar Santiago Ochoa Guevara

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Implementación de sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, para integración en un vehículo aéreo no tripulado”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 08 de Mayo de 2015.



Oscar Santiago Ochoa Guevara

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mí amada esposa Anabel, porque hemos culminado un logro más en la vida y recordarte que este triunfo nos pertenece ya que somos uno solo, te amo.

A mi hijo Nicolás que tuvo que sacrificar horas de juegos con su padre y que aun sin entender llegabas a darme soluciones y sonrisas inocentes a la hora de trabajar.

A mi hija que está en camino que solo el imaginar su presencia me inspiraba en las largas horas de trabajo.

A mis padres ejemplo de amor y que han sido mi gran soporte de vida.

A la Tere, que me has brindado cariño y paciencia.

Y a esos ángeles que ya no nos acompañan pero que dejaron mucha sabiduría a su partida, A.A.O.G , C.F.B.B.

Oscar Santiago Ochoa Guevara

AGRADECIMIENTO

A Dios, por concederme la vida, bendecir mis acciones e iluminar mi camino.

A mis padres, por su apoyo y confianza a lo largo de la vida.

A mi esposa Anabel, que ha inspirado y acompañado a cumplir las metas

A Henry que confió y apoyo en la culminación de este proyecto.

A mis asesores, por su confianza y apoyo en este proceso que se ha culminado.

Al Instituto Espacial Ecuatoriano por permitirme aportar en sus filas con este proyecto.

“Los logros son más placenteros, cuando tienes con quien compartirlos y las cargas se vuelven más livianas cuando tienes quien te ayude a levantarla.”

Oscar Santiago Ochoa Guevara

ÍNDICE

Contenido

ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA INTEGRACIÓN EN UN VEHICULO AEREO NO TRIPULADO	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación e Importancia	2
1.2. Alcance del Proyecto.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. General.....	4
1.3.2. Específicos.....	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Imágenes Multiespectrales.....	5
2.2. Vehículos aéreos no tripulados.....	7
2.3. Procesamiento digital de imágenes	9
2.3.1. Representación de una imagen digital	10
2.4. Sistemas embebidos	11
2.4.1. Estructura.....	12
2.4.2. Componentes de un sistema embebido	14
2.5. Visión Artificial	15
2.6. Sistema de Adquisición de Imágenes Multiespectrales del IEE.....	16
2.6.1. Componentes del sistema.....	17
CAPÍTULO 3	22
DISEÑO CONCEPTUAL	22
3.1. Formulario de Especificaciones Técnicas.....	22

3.2.	Casa de la Calidad	23
3.3.	Análisis funcional	24
3.4.	Módulos Funcionales	26
3.5.	Soluciones para cada función de cada modulo	27
3.5.1.	Módulo 1.....	27
3.5.1.1.	Cargar los protocolos espectrales.....	27
3.5.1.2.1.	Carga inicial mediante un computador externo	27
3.5.1.2.2.	Carga inicial mediante dispositivo Móvil	27
3.5.1.2.	Cargar los protocolos geoespaciales.....	27
3.5.1.2.1.	Carga inicial mediante un computador externo	27
3.5.1.2.2.	Carga inicial mediante dispositivo Móvil	27
3.5.2.	Módulo 2.....	28
3.5.2.1.	Validar Calidad de Imagen.	28
3.5.2.1.1.	Validar la imagen por medio de un operador.....	28
3.5.2.1.2.	Validar la imagen por medio de análisis gráfico y software.	28
3.5.2.2.	Corrección de los protocolos espectrales.	28
3.5.2.2.1.	Corregir los protocolos espectrales de manera remota	28
3.5.2.2.2.	Corregir protocolos espectrales al inicio del vuelo.....	28
3.5.3.	Módulo 3.....	28
3.5.3.1.	Validar Posición del UAV.....	29
3.5.3.1.1.	Adquirir la ubicación por medio del sistema de vuelo del UAV y validar ubicación	29
3.5.3.2.	Grabar Imagen	29
3.5.3.2.1.	Grabar Imagen en memoria interna del sistema.....	29
3.5.3.2.2.	Grabar Imagen en disco extraíble	29
3.6.	Matriz Morfológica	30
3.6.1.	Módulo 1.....	30
3.6.2.	Módulo 2.....	31
3.6.3.	Módulo 3.....	31
3.7.	Método de residuos ponderados.....	32
3.7.1.	Módulo 1.....	32
3.7.2.	Módulo 2.....	34
3.7.3.	Módulo 3.....	36

3.8.	Esquema de la solución y módulos	38
CAPÍTULO 4		40
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES.....		40
4.1.	Sistema de Adquisición de imágenes multiespectrales.....	40
4.2.	Cámara de Imágenes multiespectrales DuncanTech MS-4100	41
4.2.1.	Funcionamiento de la cámara	44
4.3.	Software de Interfaz DTCONTROL	46
4.3.1.	Ganancia.	47
4.3.1.	Tiempo de Integración General	47
4.3.2.	Controles de Tiempo de Integración Individual.....	47
CAPÍTULO 5		50
DISEÑO Y PROGRAMACION DE SISTEMAS		50
5.1.	Diseño y programación del sistema de adquisición de imágenes multiespectrales.....	50
5.1.1.	Hardware	50
5.1.2.	Software “Adquisición de imágenes”	51
5.1.2.1.	Programa Principal.....	53
5.1.2.2.	Subproceso Inicializar Cámara	54
5.1.2.3.	Subproceso Convertir Latitud y Longitud.	55
5.1.2.4.	Subproceso Comparar Área	56
5.2.	Diseño y programación del sistema para el control de cámara	59
5.2.1.	Hardware	60
5.2.2.	Software “Control de Cámara Multiespectral”	60
5.2.2.1.	Programa Principal.....	62
5.2.2.2.	Subproceso Convertir en Comando	66
5.2.2.2.1.	Subproceso cálculo de Checksum	69
5.3.	Diagrama Eléctrico	71
CAPÍTULO 6		72
PRUEBAS Y RESULTADOS		72
6.1.	Protocolo de pruebas.....	72
6.2.	Pruebas en tierra.....	72
6.3.1.	PRUEBA 1 – Comunicación CameraLink – EVS.....	72
6.3.2.	PRUEBA 2 – Comunicación Serial.....	73

6.3.3.	PRUEBA 3 – Conversión de Valores a Comandos	73
6.3.4.	PRUEBA 4 – Prueba de Energía de Cámara y EVS.....	74
6.3.5.	PRUEBA 5 – Comunicación GigE sistema – UAV	75
6.3.6.	PRUEBA 6 – Carreteo del sistema	75
6.3.	Prueba en aire.....	76
6.3.1.	PRUEBA 1 – Prueba aérea	76
6.4.	Resultados de Pruebas en Tierra	77
6.5.1.	Resultados de Prueba 1	77
6.5.2.	Resultados de Prueba 2	79
6.5.3.	Resultados de Prueba 3	80
6.5.4.	Resultados de Prueba 4	82
6.5.5.	Resultados de Prueba 5	84
6.5.6.	Resultados de Prueba 6	85
6.5.	Resultados de pruebas en aire.....	88
6.5.1.	Resultado de Prueba 1.....	88
CAPÍTULO 7		95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		95
7.1.	CONCLUSIONES.....	95
7.2.	RECOMENDACIONES.....	98
7.3.	BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXOS		102
MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES.		102
PANEL DE CONTROL SISTEMA DE ADQUISICION DE IMÁGENES.....		105
PANEL GENERAL.....		105
PROGRAMA PRINCIPAL.....		106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectros de Longitud de Onda (SRGIS, 2005-2006).....	6
Figura 2. UAV-2 “Gavilán” (SUR1810, 2014).....	8
Figura 3. Tratamiento de una imagen.....	11
Figura 4. Cámara Multiespectral Duncan Tech MS 4100 (DuncanTech).....	17
Figura 5. Caja de Control	18
Figura 6. Panel de conectores.....	18
Figura 7. Análisis funcional – Nivel 0	24
Figura 8. Análisis Funcional Nivel 1.	25
Figura 9. Análisis funcional Nivel 2	26
Figura 10. Módulos Funcionales.....	26
Figura 11. Memoria Compact Flash.....	30
Figura 12. Esquema de solución de módulos.....	39
Figura 13. Módulos del sistema de adquisición de imágenes Multiespectrales.....	40
Figura 14. Configuración RGB cámara DuncanTech MS 4100 (DuncanTech)	42
Figura 15. Configuración CIR cámara DuncanTech MS 4100 (DuncanTech).....	42
Figura 16. Especificaciones técnicas (DuncanTech).....	43
Figura 17. Dimensiones DuncanTech MS 4100 (DuncanTech)	44
Figura 18. Diagrama funcional – Cámara MS400/MS4100 (DUNCANTECH)	45
Figura 19. Controles de Ganancia.....	47
Figura 20. Controles de Integración de Tiempo individual	48
Figura 21. Multiplexación de Asignación de Puerto (DUNCANTECH).....	49
Figura 22. Hardware sistema de adquisición de imágenes.....	51

Figura 23. Diagrama de Flujo Sistema de adquisición de Imágenes Multiespectrales	53
Figura 24. Algoritmo subproceso “Inicializar Cámara”	55
Figura 25. Algoritmo subproceso “Convertir Latitud y Longitud”	56
Figura 26. Algoritmo subproceso “Comparar Área”	58
Figura 27. Hardware sistema control de cámara	60
Figura 28. Programa Principal Control de Cámara 1-4.....	63
Figura 29. Programa Principal Control de Cámara 2-4.....	64
Figura 30. Programa Principal Control de Cámara 3-4.....	65
Figura 31. Programa Principal Control de Cámara 4-4.....	66
Figura 32. Subproceso Convertir en Comando	67
Figura 33. Intercepción de Comunicación Serial.....	68
Figura 34. Subproceso Calculo del Checksum.....	70
Figura 35. Diagrama Eléctrico	71
Figura 36. Programa para inicializar cámara	77
Figura 37. Resultado de inicializar cámara multiespectral	78
Figura 38. Apertura comunicación serial EVS - Cámara.....	79
Figura 39. Comandos enviados a Cámara por puerto serial.....	80
Figura 40. Verificación de Checksum. (<i>Izq. Intercepción de comunicación, Der. Cuadro de controles de sistema</i>)	81
Figura 41. Resultado de imágenes con cambios en cuadro de control.....	81
Figura 42. Análisis de Energía Cámara Duncantech MS-4100	82
Figura 43. Análisis de Energía EVS en modo de espera.....	83
Figura 44. Comunicación de variables compartidas del UAV	85

Figura 45. Verificación de comunicación con sistema del UAV.....	85
Figura 46. Posición Inicial de carreteo.....	86
Figura 47. Seteo protocolos geoespaciales.....	87
Figura 48. Aeronave fuera de área.....	87
Figura 49. Aeronave dentro del área.....	88
Figura 50. Montaje de cámara multiespectral DuncanTech MS-4100.....	89
Figura 51. Integración de sistemas.....	89
Figura 52. Muestra de imagen con protocolo espectral antes del vuelo.....	91
Figura 53. Aeronave previa al vuelo.....	92
Figura 54. Aeronave en el momento del despegue.....	93
Figura 55. Fotografía Aérea CIR a 600 mts de altura.....	93
Figura 56. Fotografía CIR a 1000 mts. De altura.....	94
Figura 57. Diagrama Eléctrico.....	102
Figura 58. Posición Deep para programar protocolos.....	103
Figura 59. Cuadro de Controles.....	103
Figura 60. Módulo de Grabación de Imágenes y Cierre del Programa.....	106
Figura 61. Configuración de Modos de video.....	106
Figura 62. Configuración de Ganancia.....	107
Figura 63. Validación de área geoespacial.....	107
Figura 64. Configuración de tiempo de Apertura.....	108
Figura 65. Transformación de Valores a Comando de Cámara.....	108
Figura 66. Calculo de Checksum.....	109
Figura 67. Grabación de Archivo.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Documento de Especificaciones	22
Tabla 2. Casa de la Calidad para sistema de adquisición de imágenes.....	23
Tabla 3. Matriz Morfológica Módulo 1	30
Tabla 4. Matriz Morfológica Módulo 2	31
Tabla 5. Matriz Morfológica Módulo 3	31
Tabla 6. Evaluación de criterios MODULO 1	32
Tabla 7. Evaluación de soluciones MODULO 1 respecto a la Estabilidad.....	33
Tabla 8. Evaluación de soluciones MODULO 1 respecto a la facilidad de Manejo	33
Tabla 9. Conclusiones MODULO 1.....	33
Tabla 10. Evaluación de criterios MODULO 2	34
Tabla 11. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto a bajo peso.	35
Tabla 12. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto al espacio reducido	35
Tabla 13. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto a la velocidad de comunicación.	35
Tabla 14. Conclusiones MODULO 2.....	36
Tabla 15. Evaluación de criterios MODULO 3	37
Tabla 16. Evaluación de soluciones MODULO 3 respecto a la Velocidad de Escritura	37
Tabla 17. Evaluación de soluciones MODULO 3 respecto a la capacidad.....	37
Tabla 18. Conclusiones MODULO 3.....	38
Tabla 19. Variables del Sistema de Adquisición de imágenes.....	52
Tabla 20. Variables del Control de Cámara.	61

Tabla 21. Tabla de Comandos..... 69

RESUMEN

En este proyecto se realiza el diseño de un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales para el Instituto Espacial Ecuatoriano, el mismo que puede ser integrado en un vehículo aéreo no tripulado. La necesidad de obtener imágenes multiespectrales para los estudios en diferentes campos, alienta a optimizar la forma de obtener estas imágenes; ya que los actuales equipos y procedimientos que están presentes en la institución, acarrearán altos costos tanto en materiales como humanos y estos últimos conllevan al aumento de errores o fallas al momento de la toma de imágenes. Bajo estas circunstancias este proyecto permite la automatización y control del sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, reduciendo notablemente características físicas (peso y volumen) y además convirtiéndose en un sistema autónomo con un consumo de energía relativamente bajo. Para la aplicación de este proyecto se buscó la estandarización de los sistemas del vehículo aéreo no tripulado y el sistema de adquisición de imágenes, utilizando finalmente un sistema embebido de visión, el mismo que permite realizar el tratamiento adecuado a imágenes y con una fácil adaptabilidad a los requerimientos de la institución. Con esta primicia dejamos abierta la posibilidad del uso de nuevas herramientas se posee con la programación en un sistema embebido de visión fácilmente adaptables a este primer prototipo, que resultaran de gran ayuda en programas de adquisición de imágenes aéreas con mayores exigencias.

PALABRAS CLAVE: IMÁGENES MULTIESPECTRALES, SISTEMAS EMBEBIDOS, VISION ARTIFICIAL, VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO, SISTEMAS AUTÓNOMOS.

ABSTRACT

In this project, the design of a system of multispectral image acquisition for the Ecuadorian Space Institute, the same that can be integrated into an unmanned aerial vehicle. The need for multispectral imagery for studies in different fields, encourages us to optimize the way to get these images; as current equipment and procedures that are present in the institution, they carry high costs in both material and human and the latter lead to increased errors or failures when shooting. Under these circumstances this project allows the automation and control system multispectral image acquisition, significantly reducing physical characteristics (weight and volume) and also becoming an autonomous system with a relatively low energy consumption. For the implementation of this project to standardize systems of air unmanned vehicle and system imaging, eventually using an embedded vision system it is sought, the same that allows proper treatment to images and easy adaptability to the requirements of the institution. With this premise leave open the possibility of using new tools has to programming in an embedded vision easily adaptable to this first prototype, which will be very helpful in acquisition programs more demanding aerial imagery system.

CAPÍTULO 1

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA INTEGRACIÓN EN UN VEHICULO AEREO NO TRIPULADO

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. Antecedentes

En la última década el desarrollo de sistemas electrónicos, abierto puertas para la compactación de diversas aplicaciones específicas y por tanto la implementación simultánea de tareas aplicadas en múltiples campos de la ciencia. La integración de los sistemas electrónicos permite tener una extensa gama de aplicaciones que hasta hace poco resultaban complicadas, costosas y de resultados limitados.

Con la obtención de imágenes multiespectrales se ha demostrado tener una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar seguridad nacional, gestión de riesgos, defensa, planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera,

exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras.

En la actualidad el sistema de adquisición de imágenes multiespectrales del IEE es una de las pocas alternativas de obtención de estas imágenes en el país; este sistema de adquisición de imágenes se maneja a través de un software de configuración y adquisición de imágenes, un hardware que supera fácilmente los 50 kg de peso y considerado obsoleto por la discontinuidad de repuestos y accesorios, el mismo que tiene que ser operado por tres personas (excluyendo la tripulación de la aeronave) que requiere de un consumo importante de energía eléctrica y es muy susceptible a errores en el sistema por causa de factores externos.

1.1.2. Justificación e Importancia

Existe una gran necesidad de obtener imágenes multiespectrales en el país debido a las diversas aplicaciones que se dan a estas; en la actualidad el sistema de adquisición de imágenes del IEE se maneja con altos costos de operación, montaje y transporte, además de la poca fiabilidad del sistema actual sumado a las limitadas capacidades de adquisición de imágenes.

Dadas estas circunstancias, se crea la necesidad de optimizar los servicios que por el momento brinda el sistema de adquisición de imágenes multiespectrales que posee el Instituto Espacial Ecuatoriano. La realización de este proyecto se basa en implementar un nuevo sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, que

sea robusto y que a su vez permita la integración en un vehículo aéreo no tripulado, con el fin de optimizar todo el proceso de adquisición de imágenes multiespectrales.

1.2. Alcance del Proyecto

Se desarrollará un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales en base a un sistema embebido de visión, que permita realizar el proceso de adquisición de imágenes de la cámara multiespectral Duncantech MS-4100 y sea adaptable a los parámetros técnicos y físicos del vehículo aéreo no tripulado.

Se diseñará un sistema de control, que permita programar en tierra los espectros de imágenes que la cámara envíe al sistema de adquisición en base a una posición georreferenciada.

Se elaborará el prototipo del sistema de adquisición conforme los parámetros del vehículo aéreo para posterior integración.

Se establecerá un protocolo de pruebas aéreas para la toma y adquisición de imágenes.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Diseñar un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales para integrar con el sistema de un vehículo aéreo no tripulado.

1.3.2. Específicos

- Determinar los protocolos de comunicación del sistema de imágenes y UAV.
- Delinear los módulos funcionales del sistema de adquisición de imágenes multiespectrales.
- Desarrollar un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales
- Desarrollar un sistema de control para la configuración de los parámetros de imagen de la cámara Duncantech MS-4100
- Evaluar el sistema embebido NI EVS-1463RT para adquisición y procesamiento digital de imágenes.
- Integrar el sistema de adquisición de imágenes multiespectrales con el sistema del vehículo aéreo no tripulado del “Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE”.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Imágenes Multiespectrales

Una imagen Multiespectral es un modelo de la realidad construido con base en una respuesta espectral de los elementos que componen una escena y las cuales son captadas por detectores sensibles a un rango de longitudes de onda del espectro electromagnético (Salvatierra, 2004). Para ello se aprovecha el solo como fuente de radiación y las propiedades que tienen la mayor parte de los cuerpos en la superficie terrestre de reflejar una parte de esa radiación emitida que a su vez captada por un sensor calibrado para trabajar en una franja o banda del espectro (Salvatierra, 2004).

Las imágenes multiespectrales se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los sistemas de detección multiespectrales de hoy en día miden la

reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de tres a catorce.

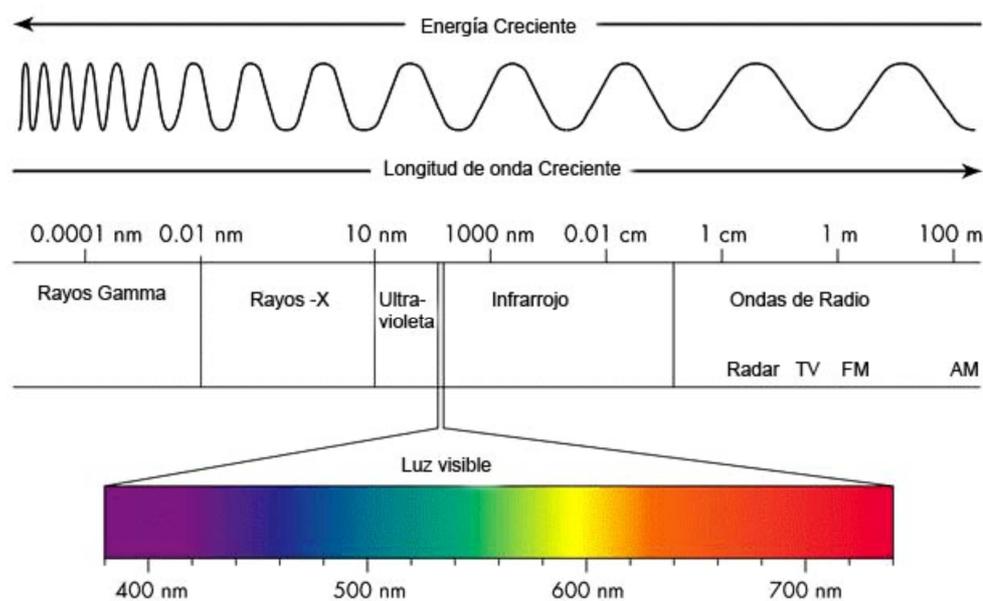


Figura 1. Espectros de Longitud de Onda (SRGIS, 2005-2006)

Pero aún más importante quizás es que las imágenes digitales muestran algo más que simples informaciones espaciales. Las medidas de reflectancia revelan el contenido mineral de las rocas, la humedad del suelo, la salud de la vegetación, la composición física de los edificios y miles de otros detalles invisibles al ojo humano. Es lo que se denomina contenido espectral de la imagen de satélite. Tal información espectral es visible para el sensor digital debido a la reflectancia de energía que éste mide. La densidad, el contenido de agua, la composición química y otros factores y características no visibles de un objeto específico de la superficie, influyen globalmente en cómo interactúa la energía con dicho objeto en diversas

longitudes de onda del espectro y en cómo se refleja en él. El sensor digital mide esta interacción espectral, que a su vez proporciona la comprensión de tales estados y características invisibles (SRGIS, 2005-2006).

2.2. Vehículos aéreos no tripulados

También llamados UAV (Unmanned Aerial Vehicle), son naves aéreas que vuelan sin tripulación, y en el cual se le ha dado mucho realce en operaciones militares aunque en los últimos tiempos ya existen aplicaciones civiles. En el pasado estos vehículos eran operados remotamente, pero conforme existen más herramientas tecnológicas estos cuentan con una mayor autonomía.

El concepto del UAV tiene varias décadas pero es ahora con el desarrollo de los microcontroladores (pequeños ordenadores completos en un solo encapsulado) y de los sensores inerciales de tecnología de estado sólido cuando es posible fabricar estas máquinas a un precio asequible.

En nuestro país el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE, desde finales del 2012 se encuentra en la elaboración, validación y prueba de los Sistemas Aéreos no Tripulados; los mismos que han ido integrando diferentes aplicaciones en el campo de la Seguridad Nacional. Los dos primeros prototipos UAV-1 “Fénix” y UAV-2 “Gavilán” fueron diseñados para transportar una carga útil importante operando a baja y mediana altura, aprovechando sus sistemas de vigilancia óptica y electro óptica, muchos de ellos desarrollados en el país. La

autonomía de varias horas de vuelo permite cubrir sectores amplios de frontera, tomando como base un radio de 150 km para sus vuelos (SUR1810, 2014).

Estos prototipos tienen una tecnología que permite, entre otras cosas, la variación y control de parámetros de vuelo durante la realización de la misión, la transmisión en tiempo real de video desde los sensores, el control automático de la aeronave, aún en ausencia de enlaces de mando y monitoreo, así como el control independiente de sus sistemas de video y fotografía (SUR1810, 2014).

La información obtenida a través de sensores geoestabilizados y georeferenciados puede ser transmitida en tiempo real desde la estación de control en tierra por varios enlaces, incluyendo el satelital, hacia los centros de comando y control que pueden estar ubicados a cientos de kilómetros del lugar de operación del prototipo.



Figura 2. UAV-2 "Gavilán" (SUR1810, 2014)

2.3. Procesamiento digital de imágenes

Una imagen es la representación óptica de uno o más objetos iluminados por una o más fuentes de radiación. Así, en general, los elementos que forman parte del proceso de formación de una imagen son los siguientes:

- Objetos
- Fuentes de Iluminación
- Sistema de formación de Imagen

Todo modelo matemático que quiera representar esta forma física, tiene que tener en cuenta la fuente de radiación (luz visible, rayos X, radiación ultrasónica, infrarroja u otra), la física de la interacción de la radiación y el objeto y como es lógico el sistema de adquisición empleado (Rodríguez Morales & Sossa Azuela, *Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes*, 2011).

Cualquier sistema de análisis de imágenes no es tan robusto como el sistema visual humano, estos sistemas pueden fácilmente conducir a resultados errados debido a factores como el número, tipo de materia de los objetos en la escena, su interrelación, las sombras, los tipos de fuentes de iluminación.

2.3.1. Representación de una imagen digital

El término "imagen monocromática" o imagen simplemente, se refiere a una función de intensidad de luz bidimensional $f(x,y)$, donde x e y indican las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x,y) es proporcional a la luminosidad (o nivel de gris) de la imagen en dicho punto.

Una imagen digital es una imagen (función) $f(x,y)$ que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en luminosidad. Una imagen digital puede ser considerada como una matriz cuyos índices de renglón y columna identifican un punto (un lugar en el espacio bidimensional) en la imagen y el correspondiente valor de elemento de matriz identifica el nivel de gris en aquel punto. Los elementos de estos arreglos digitales son llamados elementos de imagen o píxeles.

En el tratamiento de imágenes se pueden distinguir tres etapas principales:

1. Adquisición de la imagen.
2. Procesamiento de la imagen.
3. Presentación al observador.

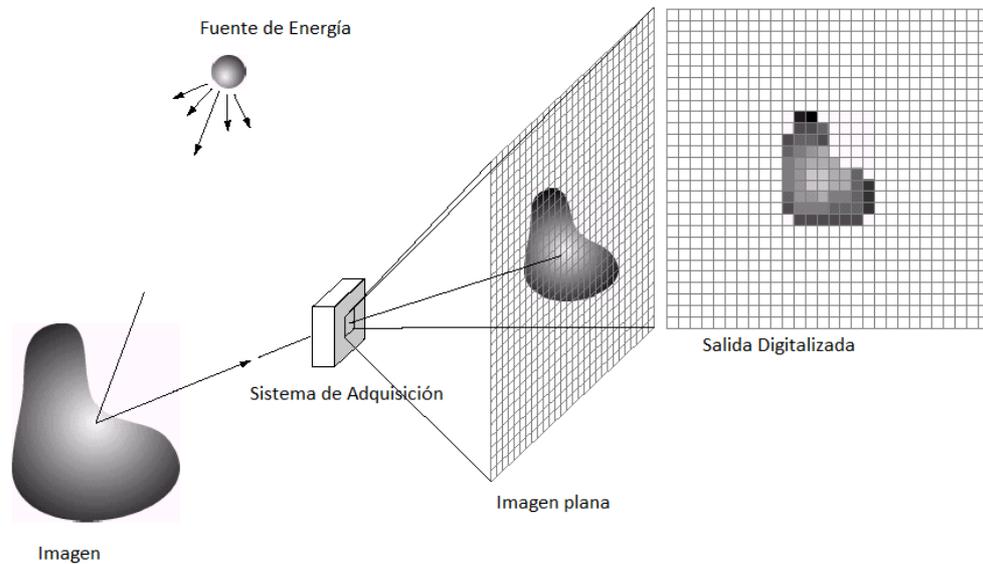


Figura 3. Tratamiento de una imagen (Lira Chávez, 2010).

2.4. Sistemas embebidos

Se entiende por sistemas embebidos a una combinación de hardware y software de computadora, sumado tal vez a algunas piezas mecánicas o de otro tipo, diseñado para tener una función específica. Esto ofrece un contraste con la computadora personal, que si bien también está formada por una combinación de hardware y software más algunas piezas mecánicas (discos rígidos, por ejemplo). Sin embargo la computadora personal no es diseñada para un uso específico. Si no que es posible darle muchos usos diferentes.

Muchas veces un sistema embebido es un componente de un sistema mucho más grande, como por ejemplo los sistemas de frenos o el sistema de inyección de combustible, en automóviles actuales son sistemas embebidos.

Esta combinación de software y hardware puede ser reemplazada en muchos casos por un circuito integrado que realice la misma tarea. Pero una de las ventajas de los sistemas embebidos es su flexibilidad. Ya que a la hora de realizar alguna modificación resulta mucho más sencillo modificar las líneas de código al software del sistema embebido que reemplazar todo el circuito integrado.

Un uso muy común de los sistemas embebidos es en los sistemas de tiempo real, entendiéndose por sistemas en tiempo real a aquellos sistemas en los que el control el tiempo es vital para el correcto funcionamiento. Los sistemas en tiempo real necesitan realizar ciertas operaciones o cálculos en un límite de tiempo. Donde ese límite de tiempo resulta crucial. Un ejemplo claro de un sistema de tiempo real es el control de tráfico aéreo.

2.4.1. Estructura

Las principales características de un sistema embebido son el bajo costo y consumo de potencia. Dado que muchos sistemas embebidos son concebidos para ser producidos en miles o millones de unidades, el costo por unidad es un aspecto importante a tener en cuenta en la etapa de diseño. Generalmente, los sistemas embebidos emplean procesadores muy básicos, relativamente lentos y memorias pequeñas para minimizar los costos.

En estos sistemas la velocidad no solo está dada por la velocidad del reloj del procesador, sino que el total la arquitectura se simplifica con el fin de reducir costos.

Normalmente, un sistema embebido emplea periféricos controlados por interfaces seriales sincrónicas, las cuales son muchas veces más lentas que los periféricos empleados en un PC. Como se mostró anteriormente, un sistema embebido debe enfrentar fuertes restricciones de recursos, por tanto normalmente deberá hacer uso de sistemas operativos especiales, denominados de tiempo real (RTOS Real time operating system). Los sistemas embebidos deberán reaccionar a estímulos provenientes del ambiente, respondiendo con fuertes restricciones de tiempo en muchos casos, por lo tanto, un sistema se dice que trabaja en tiempo real si la información después de la adquisición y tratamiento es todavía vigente. Es decir, que en el caso de una información que llega de forma periódica, los tiempos de adquisición y tratamiento deben ser inferiores al período de actualización de dicha información. Un sistema embebido puede o no ser de tiempo de real dependiendo de los requerimientos específicos de la aplicación que se quiere implementar.

Los programas en estos sistemas se ejecutan minimizando los tiempos muertos y enfrentando fuertes limitaciones de hardware, ya que usualmente no

tienen discos duros, ni teclados o monitores, una memoria flash reemplaza los discos y algunos botones y una pantalla LCD normalmente reemplazan los dispositivos de interfaz.

El software que controla un dispositivo de hardware, por ejemplo en una memoria ROM, Flash o un circuito integrado se conoce como Firmware. Típicamente la programación en estos dispositivos se realiza en lenguaje ensamblador o en lenguaje C, actualmente se han desarrollado algunas máquinas virtuales y otros compiladores que permiten el diseño de programas más complejos. Además se puede encontrar depuradores, simuladores, ases de datos, metodologías entre otras herramientas para el diseño y programación de este tipo de sistemas.

2.4.2. Componentes de un sistema embebido

Un sistema embebido en principio estaría formado por un microprocesador y un software que se ejecute sobre este. Sin embargo este software necesitará sin duda un lugar donde poder guardarse para luego ser ejecutado por el procesador. Esto podría tomar la forma de memoria RAM o ROM, Todo sistema embebido necesitará en alguna medida una cierta cantidad de memoria, la cual puede incluso encontrarse dentro del mismo chip del procesador. Además de esto normalmente un sistema embebido contará con una serie de salidas y entradas necesarias para comunicarse con el mundo exterior.

Debido a que las tareas realizadas por sistemas embebidos son de relativa sencillez, los procesadores comúnmente usados cuentan con registros de 8 o 16 bits. En su memoria solo reside el programa destinado a gobernar una aplicación determinada. Sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tiene como única finalidad atender a sus requerimientos.

Estas son las únicas características que tienen en común los sistemas embebidos, todo lo demás será totalmente diferente para cada sistema embebido en particular debido a la inmensa diversidad de aplicaciones disponibles.

2.5. Visión Artificial

Dentro del medioambiente, cualquier criatura necesita para su desenvolvimiento, habilidades que le permitan detectar los objetos de su interés. Esta habilidad que suele ser muy difícil de explicar, ha sido motivo de muchos estudios para poder dotar a las maquinas las capacidades similares de las criaturas biológicas, para el reconocimiento de imágenes (Sossa Azuela, 2013).

La “Visión artificial” se puede definir como un campo de la “Inteligencia Artificial” y que mediante de la utilización de técnicas adecuadas permite la

obtención, procesamiento y análisis de información obtenida a través de imágenes digitales (Sossa Azuela, 2013).

El tratar de implantar a una máquina habilidades como la de detectar y determinar la identidad de los objetos continúa siendo uno de los retos más importantes para el ser humano. Máquinas con esta habilidad, podrían liberar al ser humano de tareas tediosas y peligrosas además de se podría hacer tareas que resultas imposibles para el hombre (Sossa Azuela, 2013).

Un sistema para el reconocimiento automatizado de objetos, permite a una máquina encontrar (reconocer y posicionar) objetos en el mundo real a partir de una o más imágenes del mundo, usando modelos de los objetos conocidos.

2.6. Sistema de Adquisición de Imágenes Multiespectrales del IEE

El IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), posee en la actualidad de un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, el cual ha sido utilizado en toma de imágenes agrícolas para estudios de agricultura de precisión. Este sistema funciona en un vehículo aéreo que permite carga útil, y con tres personas para el control del sistema.

2.6.1. Componentes del sistema

2.6.1.1. Cámara: Cámara multispectral Duncan Tech MS 4100

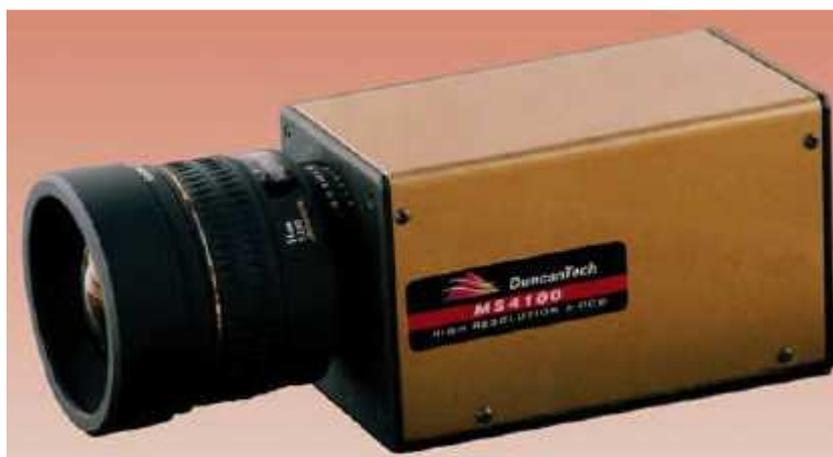


Figura 4. Cámara Multiespectral Duncan Tech MS 4100 (DuncanTech)

2.6.1.2. Caja de control: Dispositivo que integra los otros componentes principales del sistema. Está conformada por los siguientes componentes:

- Inversor de 24 voltios DC a 110 voltios AC. Proporciona energía a la cámara, las computadoras laptop y la tarjeta de expansión Magma.
- Conversor de 24 voltios DC a 12 voltios DC. Proporciona energía al GPS y la caja de control.
- Caja de control que integra al GPS, la computadora laptop de navegación y la electrónica de disparo para la cámara.
- GPS Garmin 15 H/L.



Figura 5. Caja de Control

El panel de conectores del sistema de integración y electrónica de disparo para la cámara contiene:



Figura 6. Panel de conectores.

- 24 VDC IN: Entrada de energía desde las baterías.
- 12VDC OUT: Salida de energía de 12 VDC para dispositivos externos.
- TRIGG OUT: Salida del pulso de disparo.
- GPS ANT IN: Conector para la antena del GPS.
- PC COM: Entrada y salida de datos conectados al puerto COM de la computadora laptop de navegación.
- SYNC IN: Entrada del pulso de sincronización del control de vuelo.
- DIFF IN: Entrada de señal de corrección de un GPS diferencial.
- Una regleta con cuatro salidas de 110 VAC.

2.6.1.3. CARD BUS BOX MAGMA: Sistema de expansión PCI y tarjeta de adquisición de imágenes de comunicación CameraLink entre la cámara DuncanTech y la computadora laptop para captura de imágenes.

2.6.1.4. TECLADO DE DISPARO: Sincroniza el pulso de disparo para el sistema sin enviarlo a la cámara.

2.6.1.5. ANTENA GPS: Componente del GPS Garmin 15 H/L. Generalmente instalada en el exterior de la aeronave y conectada a la entrada GPS ANT IN en la caja EM.

2.6.1.6. CABLES:

- Camera Link cable. Conecta el puerto BASE (PORT A, B, C) de la cámara DuncanTech y el puerto CAMERA LINK de la caja MAGMA.
- Serial cable. Conecta el puerto serial (SERIAL PORT) de la cámara y el puerto serial de la computadora DuncanTech control.
- Cable de disparo. Conecta la salida TRIGG OUT y el teclado de disparo.
- Card bus box cable. Conecta el puerto de expansión de la caja MAGMA con la tarjeta de expansión PCMCIA en la computadora de control.
- TRIGGER + COM cable. Conecta el puerto PC COM y la salida SYNC IN con el puerto serial de la computadora de navegación.
- Cable de puente. Conecta en serie las baterías de 12 VDC.
- Cable de fuente. Conecta los terminales de 24 VDC proporcionados por las baterías a la entrada 24 VDC IN de la caja de control EM.
- Adaptador de 12 VDC. Conecta la entrada POWER de la cámara con una de las salidas de 110 VAC de la regleta en la caja de control EM.
- Adaptador card bus box. Conecta la entrada DC 12V de la caja MAGMA con una salida de 110 VAC de la regleta de la caja EM.

2.6.1.7. BATERIAS: Dos baterías de 12 voltios DC, 70 amperios/hora (mínimo).

Proporcionan energía a todos los componentes del sistema, conectadas en serie para proveer 24 voltios DC.

2.6.1.8. PC PORTÁTIL PARA CONTROL DE VUELO (NAV CAM): Una

computadora portátil en la que se encuentra instalado el programa de navegación NAVCAM.

2.6.1.9. PC PORTATIL PARA CONTROL DE LA CÁMARA Y CAPTURA

DE IMÁGENES: Una computadora portátil en la que se encuentra instalado el programa de control de la cámara DuncanTech, y en donde se almacenan las imágenes capturadas.

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1. Formulario de Especificaciones Técnicas

Tabla 1. Documento de Especificaciones

Institución: Instituto Espacial Ecuatoriano		Producto: Sistema de Adquisición de		Fecha Inicial: 01/07/2013
Ingeniería: Oscar Santiago Ochoa		Imágenes Multiespectrales		última revisión: 01/04/2014
ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	01/07/2013	C	R	Sistema para adquirir imágenes multiespectrales
	01/07/2013	C	R	Adquirir imágenes en ubicación georeferenciada
	01/07/2013	C	R	Seteo espectral en tierra
	01/07/2013	C+I	D	Transmisión imágenes en vivo
	01/07/2013	C+I	D	Cambio de configuración espectral remota
Dimensiones	01/07/2013	C	R	Peso del sistema < 5000 grs
	01/07/2013	C	R	Dimensión <
Energía	01/07/2013	C	R	12V DC 1200 mA para cámara
	01/07/2013	C	R	5V - 24 V 5000 mA para controlador
Señales y control	01/07/2013	C	R	Equipo para setear espectros de imagen
	01/07/2013	C	R	Equipo para configuración georeferenciada
	01/07/2013	I	D	Estación para video en vivo
	01/07/2013	I	D	Estación para configuración espectral en vivo
Vida Útil	01/07/2013	C	D	Operación 20 años
Costes y Plazos	01/07/2013	C+I	D	Presup: USD 10000 Plazo: 15 meses

Propone: C= Cliente; I=Ingeniería

R/D: R=Requerimiento; MR=Modific. Requerimiento; NR=Nuevo requerimiento
D=Deseo

3.3. Análisis funcional

El sistema de adquisición de imágenes multiespectrales que se diseñará, se basa en una cámara multiespectral que posee el Instituto Espacial Ecuatoriano. En la actualidad el sistema de adquisición está trabajando en vehículos aéreos tripulados y el sistema es manipulado por tres operarios.

El sistema estará diseñado con los requerimientos que posibiliten la adaptación en un vehículo aéreo no tripulado diseñado en el “Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE”, este vehículo aéreo da los parámetros técnicos mediante los cuales se basará el diseño del sistema de adquisición de imágenes.

La función global del sistema, es la adquisición de imágenes multiespectrales, adaptable a un vehículo aéreo no tripulado del CIDFAE, utilizando la cámara multiespectral del Instituto Espacial Ecuatoriano. Las imágenes serán adquiridas de acuerdo a la posición del UAV y la posición introducida en parámetros iniciales con las cualidades espectrales definidas; para que sean grabadas las imágenes de alta calidad (TIF) en una unidad de almacenamiento.



Figura 7. Análisis funcional – Nivel 0

Para la adquisición de imágenes se listan los siguientes procedimientos generales que permitirán el reconocimiento de los módulos funcionales.

- Cargar protocolos iniciales
- Monitorear Calidad de Imagen
- Validar Posición GPS
- Grabar Imagen

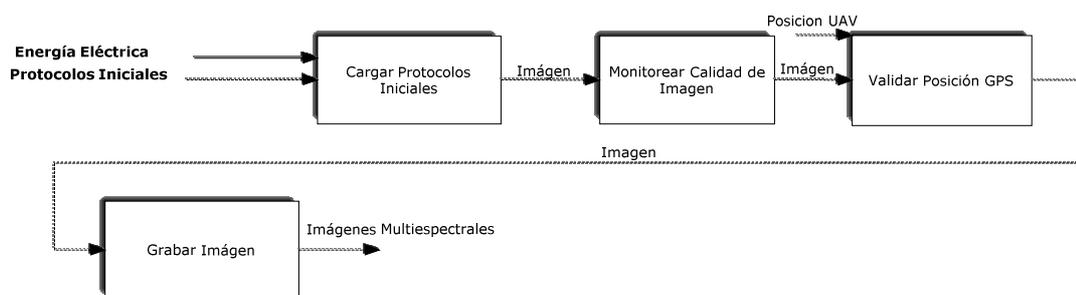


Figura 8. Análisis Funcional Nivel 1.

En el siguiente nivel vemos las acciones que se tienen implícitamente en el nivel anterior y que no se han especificado.

- Cargar Protocolos Espectrales
- Cargar Protocolos Geospaciales
- Validar Calidad de Imagen
- Corregir protocolos Espectrales
- Validar Posición UAV – Protocolo Geoespacial

- Grabar Imagen

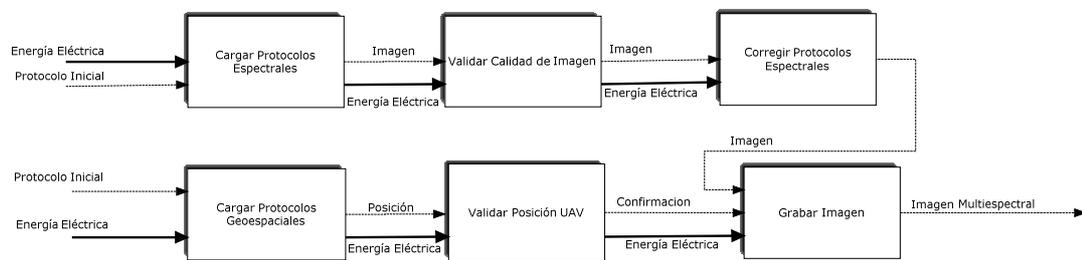


Figura 9. Análisis funcional Nivel 2

3.4. Módulos Funcionales

Observando el análisis funcional nivel 1, obtenemos cuatro módulos funcionales:

- Módulo 1 : Carga de Protocolos
- Módulo 2: Validación de Imágenes
- Módulo 3: Grabación de Imágenes

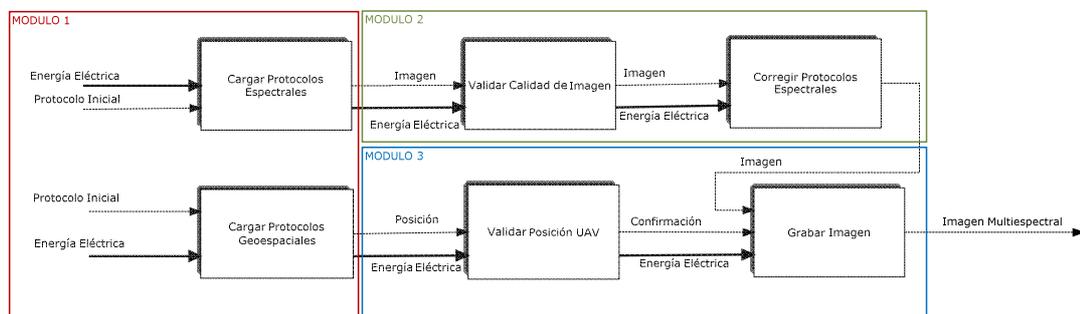


Figura 10. Módulos Funcionales.

3.5. Soluciones para cada función de cada modulo

3.5.1. Módulo 1

Este primer módulo cumple con las siguientes funciones:

- Cargar los protocolos espectrales.
- Cargar los protocolos geoespaciales.

A continuación las posibles soluciones:

3.5.1.1. Cargar los protocolos espectrales

3.5.1.2.1. Carga inicial mediante un computador externo

Esta solución carga los protocolos espectrales por medio de un computador externo y sistema operativo mínimo Windows XP.

3.5.1.2.2. Carga inicial mediante dispositivo Móvil

Esta solución carga los protocolos espectrales mediante dispositivo móvil IOS y la aplicación de NI para dispositivo móvil.

3.5.1.2. Cargar los protocolos geoespaciales

3.5.1.2.1. Carga inicial mediante un computador externo

En esta solución carga los protocolos geoespaciales por medio de un computador externo y sistema operativo mínimo Windows XP.

3.5.1.2.2. Carga inicial mediante dispositivo Móvil

En esta solución carga los protocolos espectrales mediante dispositivo móvil IOS y la aplicación de NI para dispositivo móvil.

3.5.2. Módulo 2

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Validar Calidad de Imagen
- Corrección de protocolos espectrales

A continuación las posibles soluciones:

3.5.2.1. Validar Calidad de Imagen.

3.5.2.1.1. Validar la imagen por medio de un operador.

Mediante un operador que valide que las imágenes contengan las características espectrales necesarias.

3.5.2.1.2. Validar la imagen por medio de análisis gráfico y software.

Mediante software que pueda analizar y comparar imágenes multiespectrales para que estas imágenes contengan las características espectrales necesarias.

3.5.2.2. Corrección de los protocolos espectrales.

3.5.2.2.1. Corregir los protocolos espectrales de manera remota

En esta solución corregimos los protocolos espectrales enviando la información de manera remota en el momento del vuelo.

3.5.2.2.2. Corregir protocolos espectrales al inicio del vuelo.

En esta solución corregimos por única vez los protocolos espectrales solamente al inicio del vuelo, estos valores espectrales no serán modificados en todo el vuelo.

3.5.3. Módulo 3

Este módulo se enfoca en las siguientes funciones:

- Validar Posición del UAV
- Grabar Imagen.

3.5.3.1. Validar Posición del UAV

Para validar la imagen tenemos una posible solución.

3.5.3.1.1. Adquirir la ubicación por medio del sistema de vuelo del UAV y validar ubicación

Esta solución utiliza la posición que envía el sistema de vuelo del UAV a las variables compartidas del sistema de adquisición de imágenes, para validar con los protocolos geoespaciales ingresados inicialmente.

3.5.3.2. Grabar Imagen

Esta función tiene dos soluciones posibles que describimos a continuación.

3.5.3.2.1. Grabar Imagen en memoria interna del sistema

La imagen será grabada en el disco solido del sistema donde se ejecuta el sistema.

3.5.3.2.2. Grabar Imagen en disco extraíble

Esta solución graba las fotografías en una memoria externa CompactFlash.



Figura 11. Memoria Compact Flash.

3.6. Matriz Morfológica

La matriz Morfológica indica las diferentes alternativas de los módulos para cada función.

3.6.1. Módulo 1

La solución para el módulo 1 se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Matriz Morfológica Módulo 1

Función	Componente	
CARGAR PROTOCOLOS ESPECTRALES	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; text-align: center;"> CARGA DE PROTOCOLOS MEDIANTE COMPUTADOR EXTERNO AL SISTEMA </div> <p style="text-align: center; color: red; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 1</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; text-align: center;"> CARGA DE PROTOCOLOS MEDIANTE DISPOSITIVO MOVIL </div> <p style="text-align: center; color: blue; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 2</p>
CARGAR PROTOCOLOS GEOESPACIALES		

3.6.2. Módulo 2

La solución para el módulo 2 se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Matriz Morfológica Módulo 2

Función	Componente	
Validar Calidad de Imagen	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">Validar imagen por medio de software</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">Validar imagen por operador</div>
Corregir Protocolos Espectrales	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">Corregir protocolos de manera remota</div> <div style="color: red; font-weight: bold; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 1</div> </div>	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">Cooregir los protocolos al inicio del vuelo</div> <div style="color: blue; font-weight: bold; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 2</div> </div>

3.6.3. Módulo 3

La solución para el módulo 3 se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Matriz Morfológica Módulo 3

Función	Componente	
VALIDAR POSICION UAV	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">ADQUIRIR LA UBICACION DEL SISTEMA DEL VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO.</div>	
GRABAR IMAGEN	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">GRABAR IMAGEN EN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN</div> <div style="color: red; font-weight: bold; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 1</div> </div>	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">GRABAR IMAGEN EN DISCO EXTRAIBLE</div> <div style="color: blue; font-weight: bold; margin-top: 5px;">ALTERNATIVA 2</div> </div>

3.7. Método de residuos ponderados

Para determinar la solución más conveniente se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

3.7.1. Módulo 1

Las alternativas de solución para el Módulo 1 son:

- Alternativa 1: Carga de protocolos espectrales y geoespaciales por computador externo
- Alternativa 2: Carga de protocolos espectrales y geoespaciales mediante dispositivo móvil

Los criterios de valoración para estas soluciones son los siguientes.

- Estabilidad
- Facilidad de manejo

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 6. Evaluación de criterios MODULO 1

	Estabilidad	Facilidad de Manejo	$\sum + 1$	Ponderación
Estabilidad		1	2	0.66
Facilidad de Manejo	0		1	0.33
		SUMA	3.5	1
Estabilidad > Facilidad de Manejo				

A Continuación se evalúa las alternativas de solución respecto a cada criterio

Tabla 7. Evaluación de soluciones MODULO 1 respecto a la Estabilidad

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla 8. Evaluación de soluciones MODULO 1 respecto a la facilidad de Manejo

Tamaño	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5		1.5	0.50
		Suma	3	1
Alternativa 2 = Alternativa 1				

Finalmente se presenta la tabla de conclusiones para el Módulo 1.

Tabla 9. Conclusiones MODULO 1

Conclusiones	Estabilidad	Facilidad de Manejo	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.66x0.66	0.50x0.33	0.600	1
Alternativa 2	0.33x0.66	0.50x0.33	0.383	2

3.7.2. Módulo 2

Las alternativas de solución para el Módulo 2 son:

Alternativa 1: Validar imagen con operador y corrección de protocolos al inicio del vuelo

Alternativa 2: Validar imagen por software y corrección de protocolos al inicio del vuelo y en el vuelo.

Los criterios de valoración más determinantes para este módulo son los siguientes.

- Bajo Peso
- Espacio Reducido
- Velocidad de Comunicación Remota

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 10. Evaluación de criterios MODULO 2

	Bajo Peso	Espacio Reducido	Velocidad de Comunicación Remota	$\Sigma + 1$	Ponderación
Bajo Peso		0.5	1	2.5	0.42
Espacio Reducido	0.5		1	2.5	0.42
Velocidad de Comunicación Remota	0	0		1	0.16
	SUMA			6	
Bajo Peso = Espacio Reducido > Velocidad de comunicación					

A Continuación se evalúa las alternativas de solución respecto a cada criterio

Tabla 11. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto a bajo peso.

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla 12. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto al espacio reducido

Velocidad de Comunicación	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla 13. Evaluación de soluciones MODULO 2 respecto a la velocidad de comunicación.

Velocidad de Comunicación	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.66
		Suma	3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Finalmente se presenta la tabla de conclusiones para el Módulo 2.

Tabla 14. Conclusiones MODULO 2

Conclusiones	Bajo Peso	Comunicación Remota	Velocidad de Comunicación	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.42x0.66	0.42x0.66	0.16x0.33	0.6072	1
Alternativa 2	0.42x0.33	0.42x0.33	0.16x0.66	0.3828	2

3.7.3. Módulo 3

Las alternativas de solución para el Módulo 3 son:

Alternativa 1: Grabar Imagen en disco solido interno del sistema.

Alternativa 2: Grabar Imagen en disco extraíble CF.

Los criterios de valoración más determinantes para este módulo son los siguientes.

- Velocidad de Escritura
- Capacidad de Memoria

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 15. Evaluación de criterios MODULO 3

	Velocidad de Escritura	Capacidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Velocidad de Escritura		1	2	0.66
Capacidad	0		1	0.33
		SUMA	3	1
Velocidad de Escritura > Capacidad				

A Continuación se evalúa las alternativas de solución respecto a cada criterio

Tabla 16. Evaluación de soluciones MODULO 3 respecto a la Velocidad de Escritura

Facilidad de Configuración	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla 17. Evaluación de soluciones MODULO 3 respecto a la capacidad

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.66
		Suma	3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Finalmente se presenta la tabla de conclusiones para el Módulo 3.

Tabla 18. Conclusiones MODULO 3

Conclusiones	Velocidad de Escritura	Capacidad de Memoria	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.66x0.66	0.33x0.33	0.5445	1
Alternativa 2	0.66x0.33	0.33x0.66	0.4356	2

3.8. Esquema de la solución y módulos

Como resultado del análisis por medio del método de residuos ponderados se tiene las siguientes soluciones como prioridad:

Módulo 1: Carga de protocolos espectrales y geoespaciales, por medio de computador externo

Módulo 2: Validar imagen por medio del operador, y corregir los protocolos espectrales al inicio del vuelo.

Módulo 3: Adquirir posición por medio del sistema de vuelo del UAV y grabar en el disco interno del sistema de adquisición de imágenes.

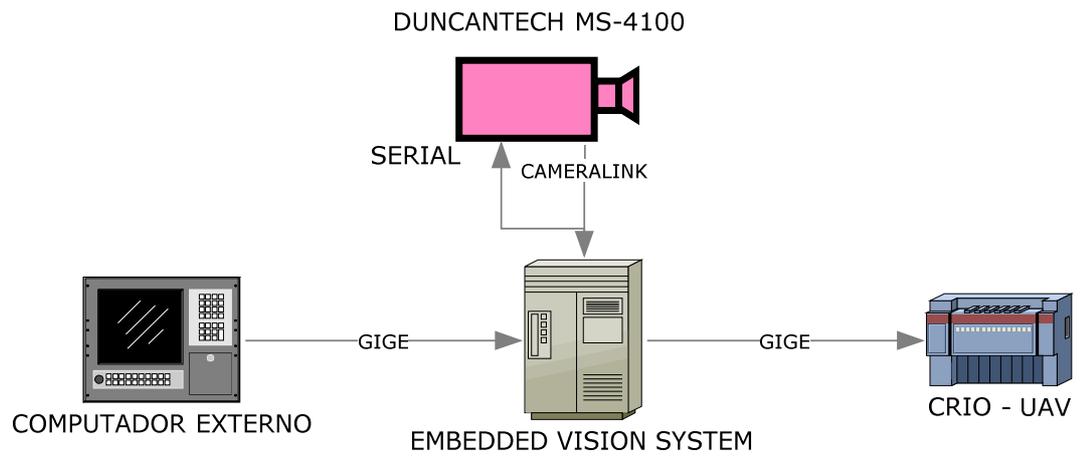


Figura 12. Esquema de solución de módulos

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES

4.1. Sistema de Adquisición de imágenes multiespectrales

El sistema de adquisición de imágenes multiespectrales consta de los siguientes módulos como se muestra en la Figura 13:

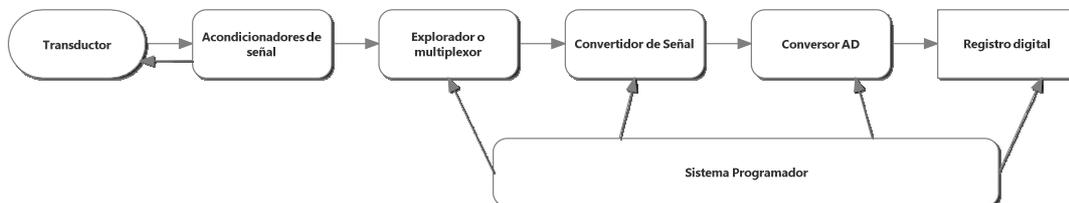


Figura 13. Módulos del sistema de adquisición de imágenes Multiespectrales

Como se puede apreciar en la Figura 13 del sistema de adquisición de imágenes, los módulos se dividen en dos grupos importantes los cuales son:

- Cámara de imágenes Multiespectrales
- Software de interfaz

Inicialmente como cámara multispectral contamos con la cámara DuncanTech MS-4100 y como software de interfaz el DTControl.

4.2. Cámara de Imágenes multispectrales DuncanTech MS-4100

La DuncanTech MS4100 de alta resolución de 3 CCD, ofrece lo último en imagen digital multispectral de alta calidad. La óptica de separación de color funciona en conjunto con el formato CCD de exploración progresiva con sensores para maximizar la resolución, rango dinámico, y el campo de visión (DUNCANTECH).

La cámara está basada en un prisma que separa canales de color y tres canales de imágenes que permiten la adquisición simultánea de la imagen en 3-5 bandas espectrales a través de una abertura común. Los sensores de imagen son dispositivo de carga acoplada (CCD) con sensores de sensibilidad espectral de 400-1000 nm (DUNCANTECH).

Las imágenes resultantes son co-registrados para proporcionar una excelente calidad de imagen y fidelidad de color. La MS4100 está disponible en dos configuraciones espectrales:

- RGB para imágenes de color de alta calidad
- Color de infrarrojos para aplicaciones multispectrales.

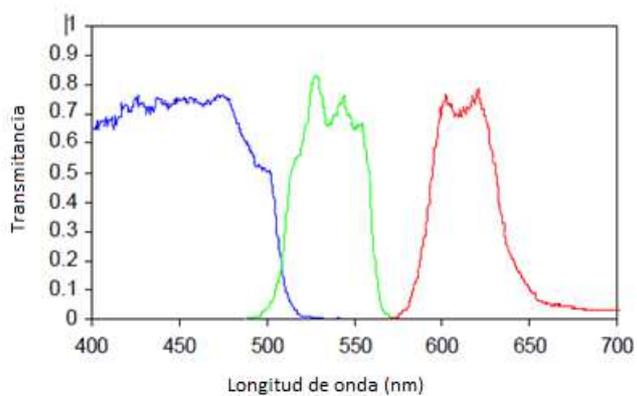


Figura 14. Configuración RGB cámara DuncanTech MS 4100 (DuncanTech)

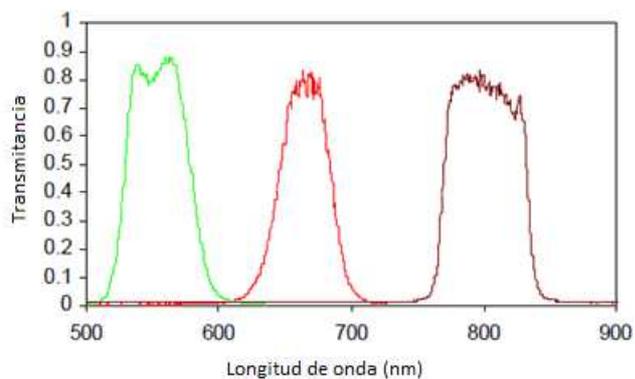


Figura 15. Configuración CIR cámara DuncanTech MS 4100 (DuncanTech)

Características:

- Prisma de separación de color con tres sensores de imagen CCD
- Resolución 1920 x 1080 (H) (V) (x3) para 6,2 millones de píxeles de los datos
- Imagen 3 bandas espectrales 400-1000 nm

- Los modelos estándar para RGB y CIR
- Comuníquese con la fábrica para configuraciones personalizadas multispectrales
- Ancho campo de visión, 60 ° con lente de 14 mm f/2.8
- Velocidad de fotogramas de 5 fps
- Imagen digital de salida - Camera Link, LVDS o RS-422.
- Encapsulado compacto y robusto.
- Ganancia independiente y el control de la exposición para cada canal.
- Entrada de disparo externo con tres modos de funcionamiento.
- Entrada RS-232 para configuración y control.

Image Device:	1 - Inch Interline Transfer CCD
Picture Elements:	1920(H) x 1080(V)
Pixel Size:	7.4 x 7.4 micron
Pixel clock rate:	12 MHz
Sensing Area:	14.2 x 8 mm
Frame Rate:	5 frames per second
Digital Image Output:	8bits x 4 taps or 10 bits x 3 taps, Camera Link, EIA644 (LVDS) or RS422
Signal/Noise:	60dB
Lens Mount:	Nikon Bayonet Mount
Electronic Shutter:	Range: 1/6,000 - 1/5 sec. Controlled via RS-232 input.
Gain Selection:	Range: 0-36 dB. Controlled via RS-232 input.
External Trigger Input	Edge or level, Three modes
External Trigger Source:	BNC or Frame Grabber. (Optical isolator on BNC)
Exposure Control:	Manual or Automatic
White-Balance:	Manual or Semi-Automatic
Noise Reduction:	Correlated Double Sampling
Usability Features:	Digital Crosshairs, Color-Plane Multiplexing
Operating Temperature:	0-50 C
Operating Voltage:	12 VDC
Power Consumption:	15 Watts
Weight:	1.8 kg
Programmable Functions:	Gain, exposure time, multiplexing, trigger modes, custom processing.
Options:	
DirectView Video Output:	NTSC, PAL, S-video and Progressive Scan RGB (1280x1024 max display resolution). Gamma correction. 2x and 4x digital zoom.

Figura 16. Especificaciones técnicas (DuncanTech)

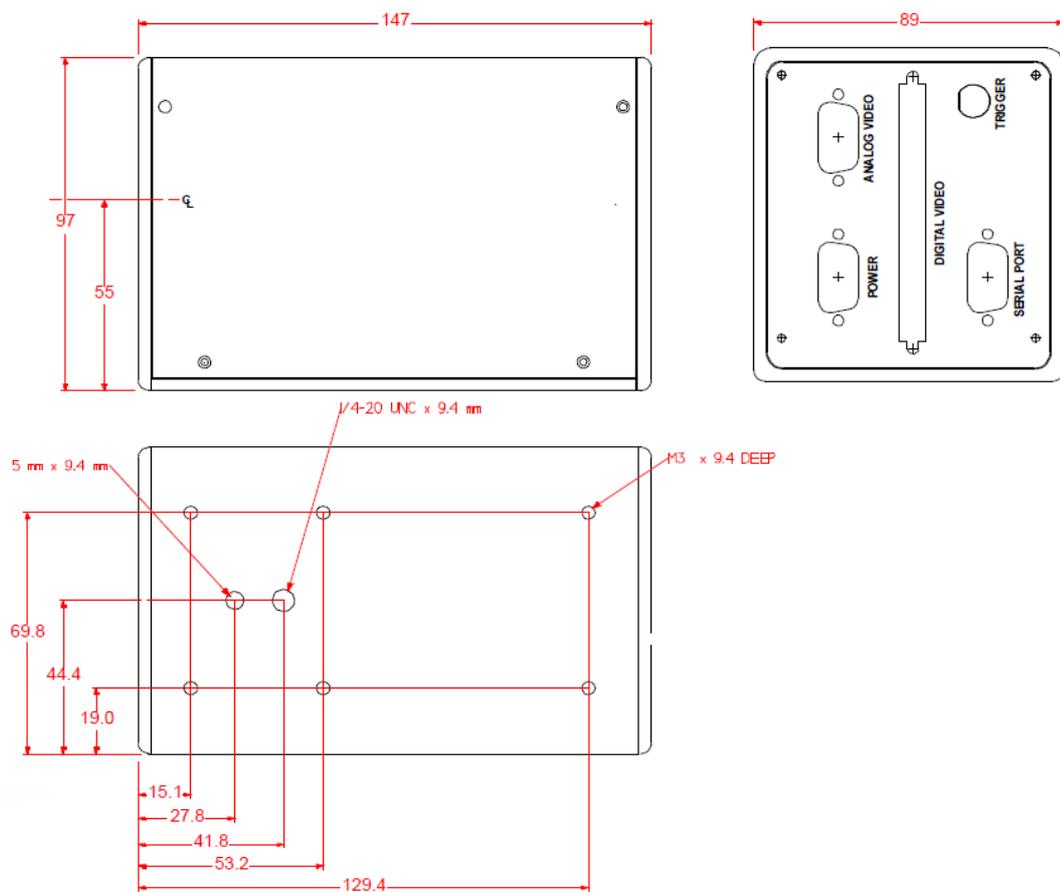


Figura 17. Dimensiones DuncanTech MS 4100 (DuncanTech)

4.2.1. Funcionamiento de la cámara

Un diagrama funcional se muestra en la Figura 18, estas cámaras utilizan un prisma de separación de color para aislar la imagen espectral adquirida por cada canal, la luz de la imagen entra a la cámara a través del lente y la óptica del prisma divide la luz basada en la longitud de onda tal que una banda espectral diferente sale del prisma en cada una de las tres caras de salida. La gama de longitudes de onda incluidas en cada banda, es una función de los revestimientos sobre las caras del prisma.

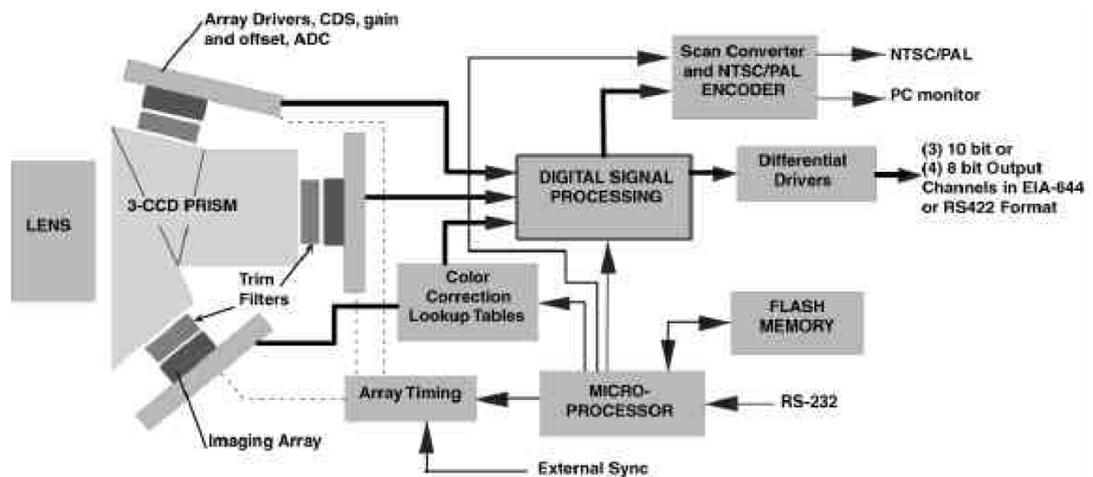


Figura 18. Diagrama funcional – Cámara MS400/MS4100 (DUNCANTECH)

La banda espectral de la luz, llega a cada uno de los tres sensores de imágenes estrechada por los filtros ópticos de acabado que se colocan entre el plano de salida del prisma y la matriz. La señal de salida de cada matriz está condicionada y digitalizada en un valor digital de 10 bits.

El resto de la electrónica de la cámara realiza procesamiento de datos de las imágenes digitales y de salida de los datos para transmisión digital. La cámara incluye una interfaz de comunicaciones RS-232 para recibir comandos y datos de configuración de un origen de control externo. Un microprocesador interno gestiona las comunicaciones y utiliza los parámetros de funcionamiento para configurar las otras unidades de procesamiento de la cámara. Estos parámetros se almacenan en una memoria flash y se utilizan para sacar la cámara a su configuración de operación apropiada.

Opciones de configuración y control de la cámara incluyen la capacidad de ajustar ganancia y la integración de tiempo independiente para cada canal. Un multiplexor interno puede ser controlado mediante programación para modificar la asignación de datos de imagen a los puertos de salida digitales; esto permite la salida de cualquier combinación de planos de imagen o datos de imagen procesados.

4.3. Software de Interfaz DTCONTROL

El Software DTCONTROL, es un programa para el control total de las operaciones de la cámara DuncanTech dirigido al usuario final. Esta utilidad viene adjunta a la cámara y provee de una interfaz amigable para el control de la cámara desde un PC que corren Windows 95/98, 2000 o NT.

Todos los parámetros de control de la cámara pueden ser accedidos y modificados con el DTCONTROL, tales como:

- Ganancia para cada canal
- Tiempo de integración de imagen para cada canal
- Integración de imagen relativa de todos los canales
- Salida de video (Si se encuentra disponible en la cámara DirectView)

4.3.1. Ganancia.

Los ajustes de ganancia controlan la cantidad que se amplifica la señal que emite cada sensor CCD individual de la cámara. Los controles de ganancia se muestran a continuación. Este ajuste especifica el valor de la ganancia analógica en cada sensor CCD antes que sea digitalizada.



Figura 19. Controles de Ganancia

4.3.1. Tiempo de Integración General

El tiempo de integración es la cantidad de tiempo que los sensores CCD en la cámara de carga se acumula antes que el obturador electrónico está cerrado y el valor resultante se lee, en otras palabras el tiempo de integración se refiere a la cantidad de tiempo que está abierto y el sensor está acumulando la carga.

4.3.2. Controles de Tiempo de Integración Individual

Los controles de tiempo de integración individual desde el panel de la cámara de DTControl se muestran en la siguiente Figura 20 contiene tres controles, los que sirven para ajustar de forma individual o equilibrar la relación de intensidad de los planos de color individual.

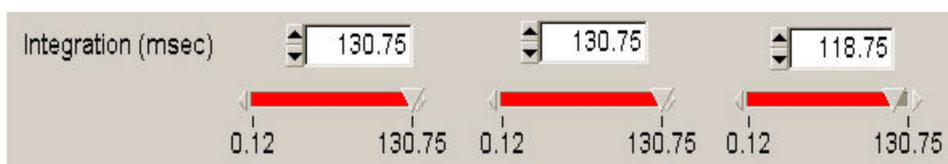


Figura 20. Controles de Integración de Tiempo individual

4.3.3. Fuentes de Datos

La cámara dispone de varias fuentes potenciales para los datos de imagen de salida. Las fuentes más comunes son matrices de formación de imágenes individuales. Las fuentes más obvias son las matrices de formación de imágenes individuales, en la DT4100 mantiene 3 CCD en donde hay tres conjuntos de imágenes separadas. El proceso de expansión de datos de un sensor de 3 imágenes se conoce como “Interpolación de filtros de color” o “Demultiplexación de patrón”. Las cámaras DuncanTech realizan este proceso en tiempo real en la electrónica de la cámara creando 24 o 30 bits (8 a 10 bits por plano de color), para que uno de estos conjuntos de datos que se emitirá desde la cámara, se debe asignar a una salida puerto. La profundidad de bits de cada una de estas fuentes se determina si la cámara está operando en 8 o 10 bits.

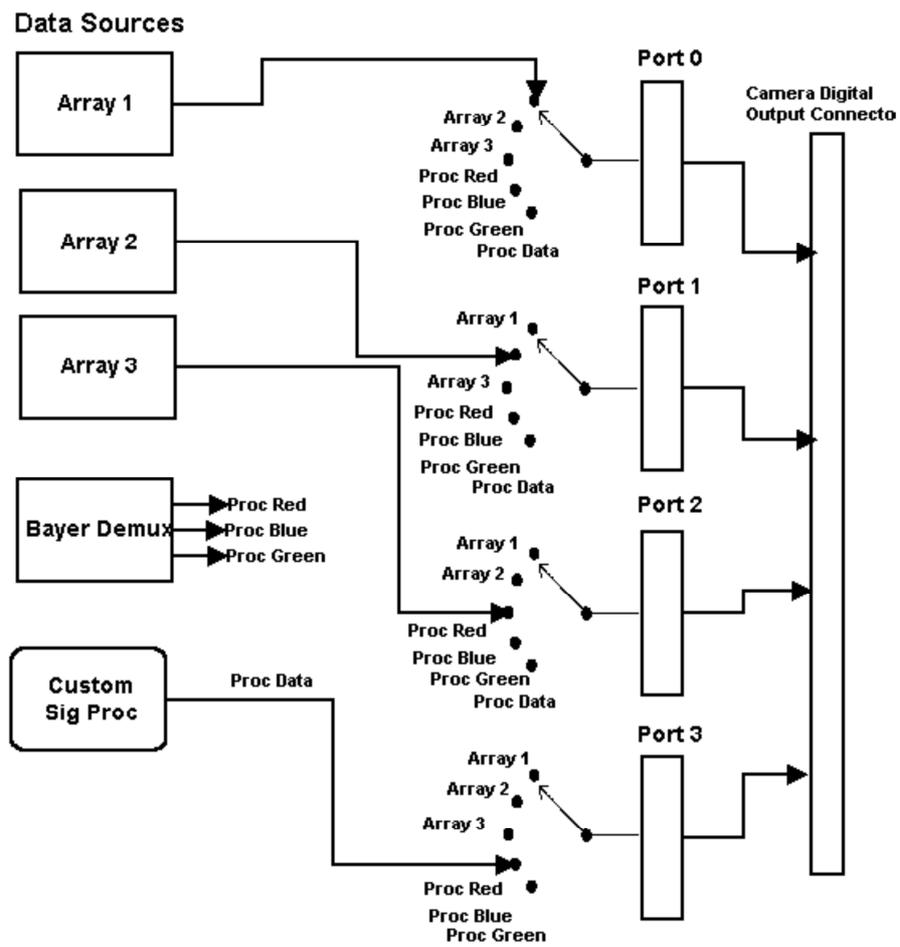


Figura 21. Multiplexación de Asignación de Puerto (DUNCANTECH)

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y PROGRAMACION DE SISTEMAS

Para el diseño y programación se procederá a dividir el sistema en dos grupos importantes que se complementan para conformar el sistema de adquisición de imágenes multiespectrales; estos sistemas son:

- Sistema de adquisición de imágenes
- Sistema de control de la cámara multiespectral.

5.1. Diseño y programación del sistema de adquisición de imágenes multiespectrales.

El sistema de Adquisición de imágenes se encarga de comunicar y adquirir la imagen que proporciona la cámara multiespectral DuncanTech MS-4100 en el momento que se encuentra la aeronave sobrevolando un área previamente definida en los protocolos geoespaciales; esta imagen será grabada en una ubicación fija del sistema y en formato TIFF. La resolución de esta imagen es de 1912 x 1076, con una profundidad de bits de 24.

5.1.1. Hardware

Los elementos que intervienen como Hardware en el sistema de adquisición son los siguientes:

- Cámara Multiespectral DuncanTech MS-4100
- Cable de Comunicaciones CameraLink
- Sistema embebido de Visión NI EVS – 1463RT
- Cable RJ45
- Cable de energía 14AWG



Figura 22. Hardware sistema de adquisición de imágenes

5.1.2. Software “Adquisición de imágenes”

A continuación se adjunta la tabla de variables que serán usadas en el software de adquisición de imágenes.

Tabla 19. Variables del Sistema de Adquisición de imágenes.

Num.	Relación Física	Nombre	Tipo	Observa.
1	Cuadro de Control	STOP	Boleano	
2	Cuadro de Control	Latitud Inicial	Entero con Signo	
3	Cuadro de Control	Latitud Final	Entero con Signo	
4	Cuadro de Control	Longitud Inicial	Entero con Signo	
5	Cuadro de Control	Longitud Final	Entero con Signo	
6	Gige CRio	Latitud	String	Posición UAV
7	Gige CRio	Longitud	String	Posición UAV
8	Cuadro de Control	Latitud Numérica	Entero con Signo	
9	Cuadro de Control	Longitud Numérica	Entero con Signo	
10	Cuadro de Control	Signo Latitud	String	
11	Cuadro de Control	Signo Longitud	String	
12	Led User1	Área	Boleano	
13	Cuadro de Control	Img0	String	
14	Puerto CameraLink CH0	Imagen Adquirida	Image	

5.1.2.1. Programa Principal

A continuación se observa en la Figura 23, el algoritmo principal del sistema de adquisición de imágenes multispectrales, el mismo que es el encargado de adquirir la imagen de la cámara, la ubicación de la aeronave y posterior grabación de las imágenes en caso que la posición de la aeronave se encuentre en la región definida por el usuario:

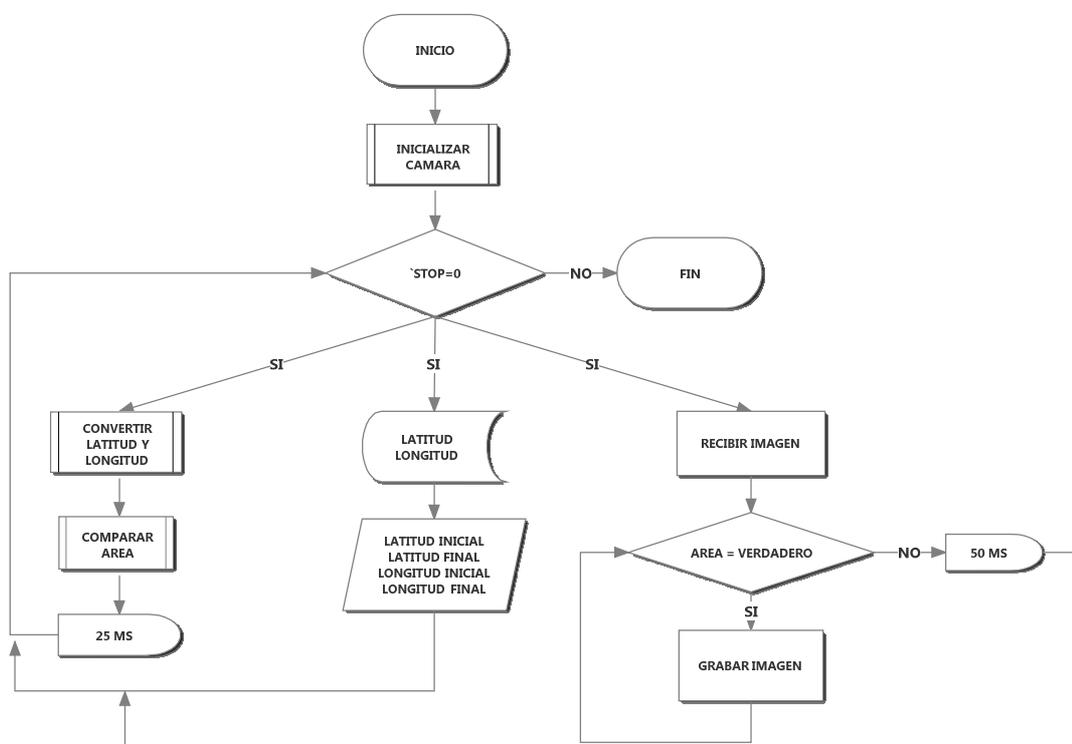


Figura 23. Diagrama de Flujo Sistema de adquisición de Imágenes Multiespectrales

Cabe notar en el diagrama de flujo principal, trabaja con tareas paralelas; esto se debe a que el lenguaje de programación utilizado tiene la particularidad de

trabajar procesos en paralelismo. Los subprocesos que debemos analizar independientemente son los siguientes:

- Inicializar Cámara
- Convertir Latitud y Longitud
- Comparar Área
-

5.1.2.2. Subproceso Inicializar Cámara

En este subproceso, se procede a configurar la cámara para que por medio del puerto CameraLink tengamos acceso a los datos de la cámara para su posterior tratamiento.

A Continuación la Figura 24 se muestra el algoritmo del subproceso “Inicializar Cámara”

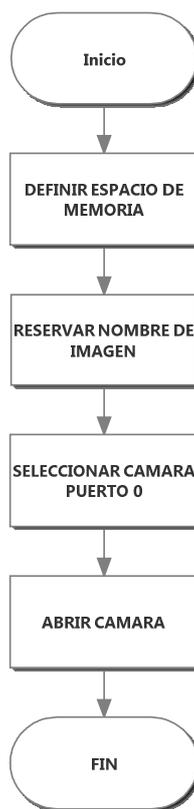


Figura 24. Algoritmo subproceso “Inicializar Cámara”

5.1.2.3. Subproceso Convertir Latitud y Longitud.

En este subproceso se da tratamiento a los datos de longitud y latitud que envía el GPS de la aeronave, estos datos son leídos constantemente por medio de las variables compartidas que fueron creadas en el sistema de control del UAV. Estos datos recibidos son convertidos a valores numéricos para poder realizar la verificación del área donde se deben adquirir las imágenes.

A continuación la Figura 25 indica el algoritmo del subproceso “Convertir Latitud y Longitud”.

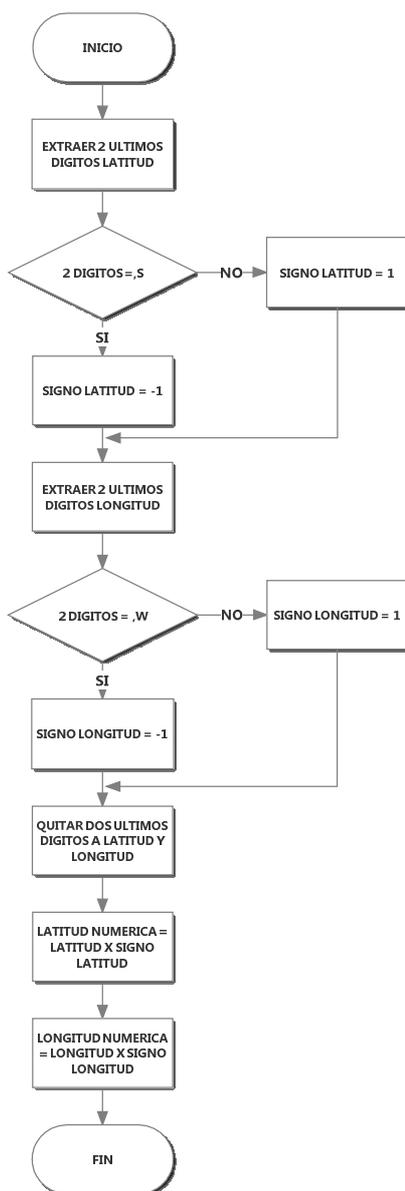


Figura 25. Algoritmo subproceso “Convertir Latitud y Longitud”

5.1.2.4. Subproceso Comparar Área

Este subproceso compara el valor de latitud y longitud instantánea de la aeronave con los valores de latitud y longitud definidos por el usuario en el protocolo geoespacial, si en esta comparación se afirma que la aeronave se encuentra en el área predefinida; dispara una alerta para q la imagen q está

enviando ese momento la cámara sea grabada en el disco duro del sistema embebido.

La Figura 26 indica el algoritmo de este subproceso.

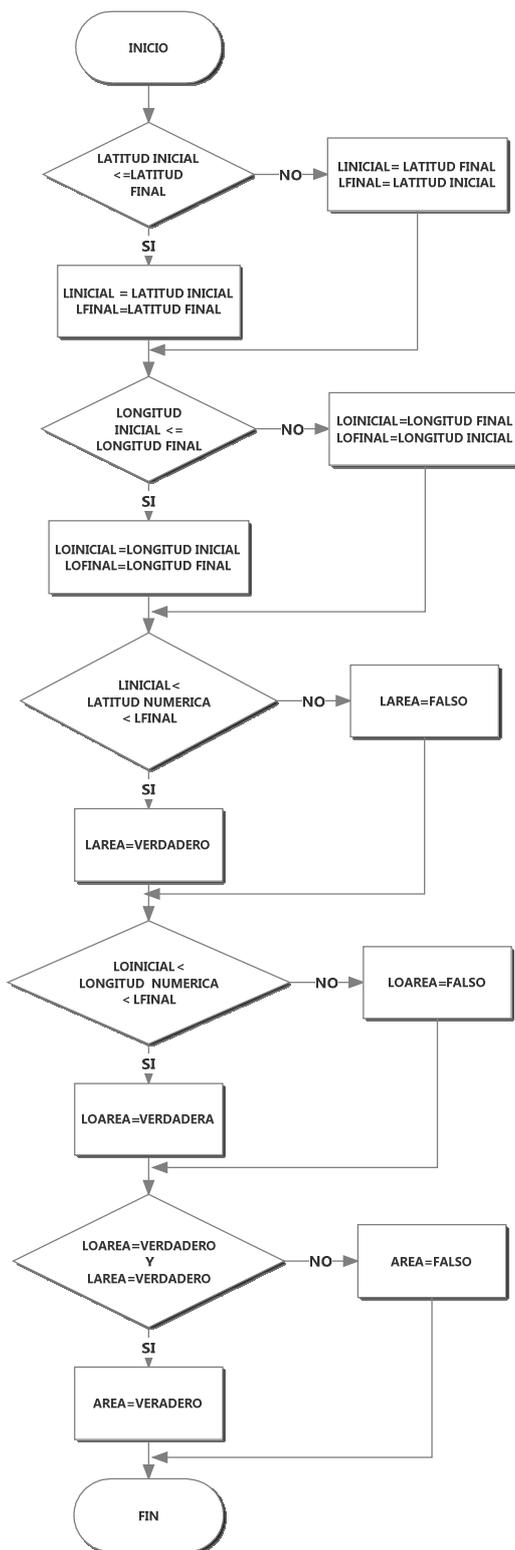


Figura 26. Algoritmo subproceso “Comparar Área”

5.2. Diseño y programación del sistema para el control de cámara

El sistema para el control de cámara se encarga de configurar los parámetros necesarios para la obtención de imágenes multiespectrales. Este sistema puede trabajar en conjunto o independiente del sistema de adquisición de imágenes.

Los parámetros que manejará el sistema para el control de cámara son los siguientes:

- Ganancia canal Red
- Ganancia canal Green
- Ganancia canal Infrarrojo IR
- Tiempo de apertura Red
- Tiempo de apertura Green
- Tiempo de apertura Infrarrojo IR
- Modos de video (RGB – CIR – MONO IR – MONO R – MONO G – MONO B)

5.2.1. Hardware

El Hardware que utiliza este sistema es el siguiente:

- Cámara Multiespectral DuncanTech MS4100
- Sistema embebido de Visión NI EVS – 1463RT
- Cable Serial



Figura 27. Hardware sistema control de cámara

5.2.2. Software “Control de Cámara Multiespectral”

Para el diseño del software destinado control de la cámara multiespectral se emplean las siguientes variables:

Tabla 20. Variables del Control de Cámara.

Num.	Relación Física	Nombre	Tipo	Observación
1	Cuadro de Control	ARR-APGREEN	Array Entero	
2	Cuadro de Control	ARR-APRED	Array Entero	
3	Cuadro de Control	ARR-APIR	Array Entero	
4	Cuadro de Control	APERTURA GREEN	Entero	
5	Cuadro de Control	APERTURA RED	Entero	
6	Cuadro de Control	APERTURA IR	Entero	
7	Cuadro de Control	ARED-C	Boleano	Cambio de Estado
8	Cuadro de Control	AGREEN-C	Boleano	Cambio de Estado
9	Cuadro de Control	AIR-C	Boleano	Cambio de Estado
10	Cuadro de Control	GREEN	Entero	
11	Cuadro de Control	RED	Entero	
12	Cuadro de Control	IR	Entero	
13	Cuadro de Control	GREEN-C	Boleano	Cambio de Estado

14	Cuadro de Control	RED-C	Boleano	Cambio de Estado
15	Cuadro de Control	IR-C	Boleano	Cambio de Estado
16	Serial COM1	COMUNICA GREEN	String	
17	Serial COM1	COMUNICA RED	String	
18	Serial COM1	COMUNICA IR	String	
19	Serial COM1	COM AGREEN	String	
20	Serial COM1	COM ARED	String	
21	Serial COM1	COM AIR	String	

5.2.2.1. Programa Principal

En la Figura 28-29-30-31 se puede observar el algoritmo del programa para el control de cámara, este control de cámara sirve para ingresar inicialmente los protocolos espectrales así como para modificar los protocolos espectrales en vuelo si este fuera requerido.

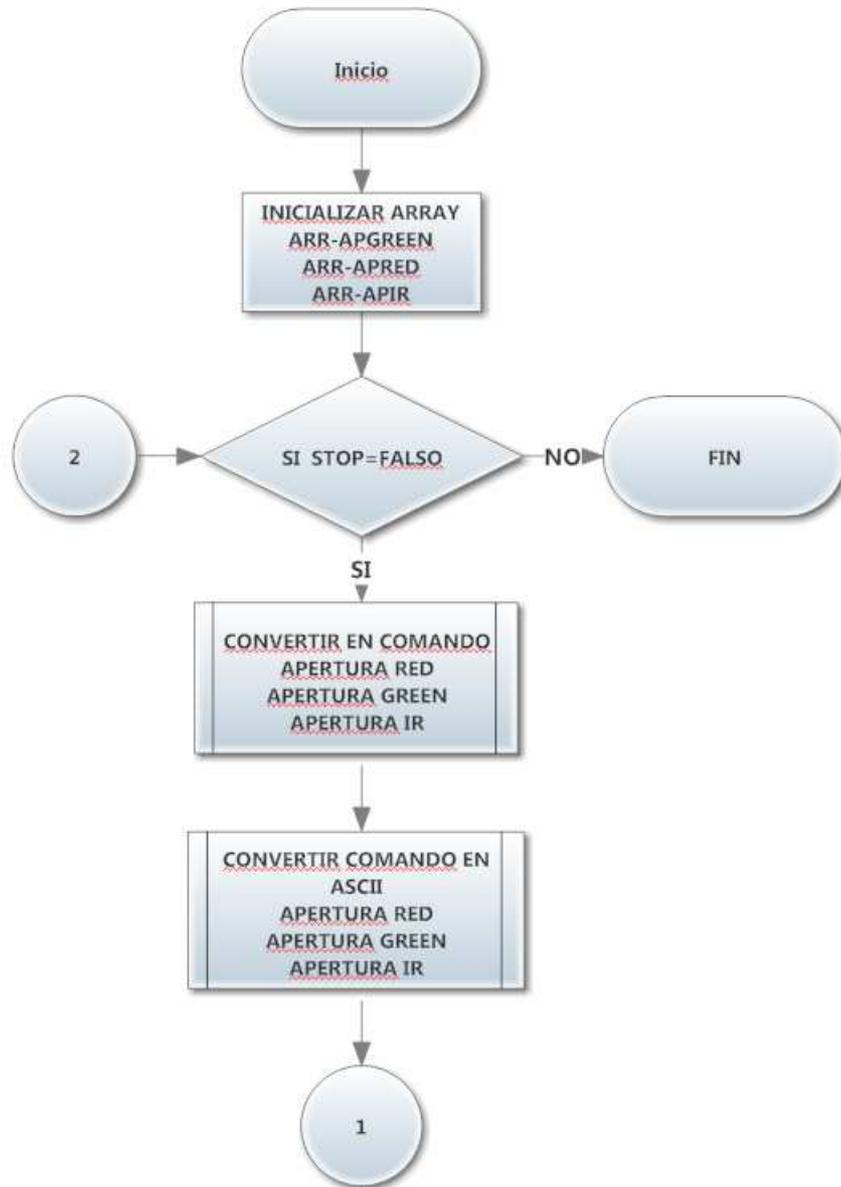


Figura 28. Programa Principal Control de Cámara 1-4

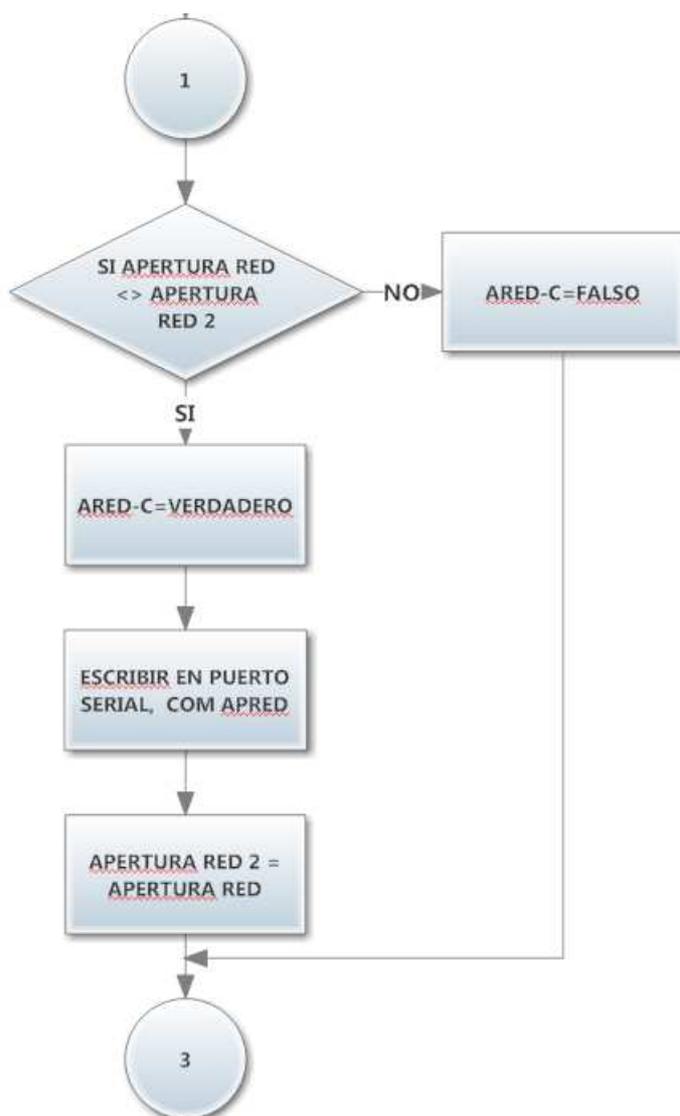


Figura 29. Programa Principal Control de Cámara 2-4

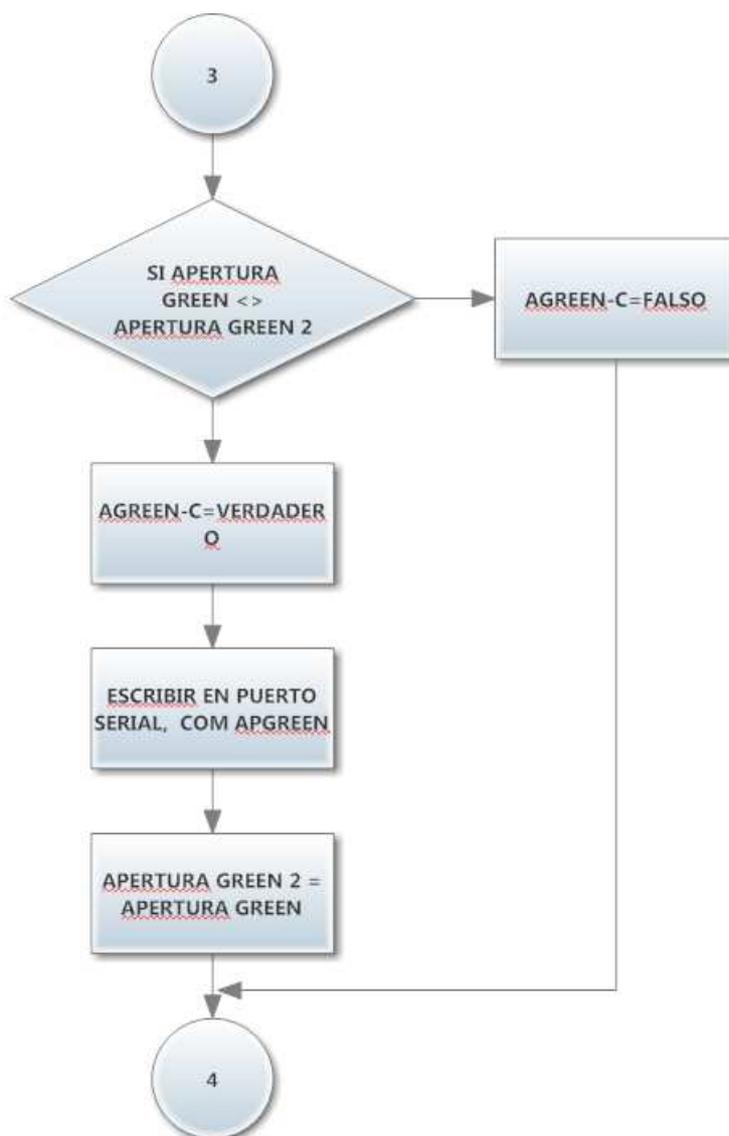


Figura 30. Programa Principal Control de Cámara 3-4

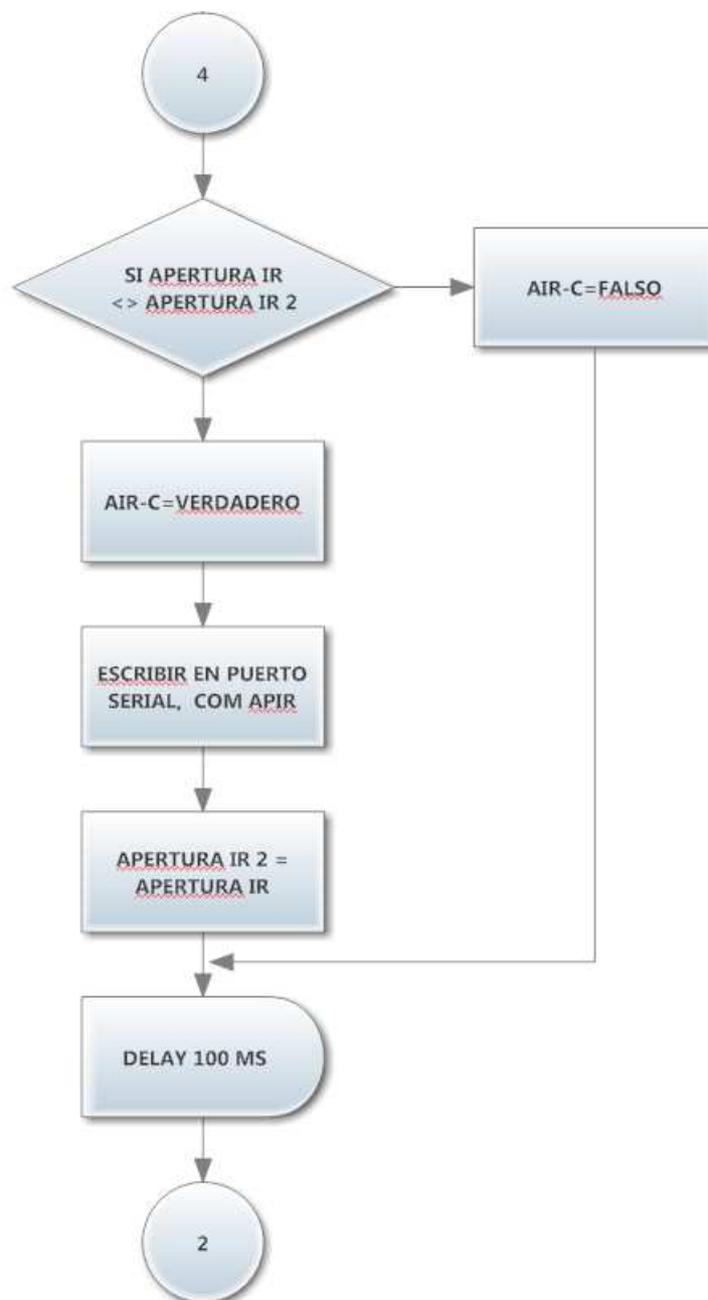


Figura 31. Programa Principal Control de Cámara 4-4

5.2.2.2. Subproceso Convertir en Comando

Este subproceso convierte los valores de las variables de control (*Apertura* y *Ganancia*), en comandos reconocibles para la cámara multiespectral.

A continuación se observa en la Figura 32, el algoritmo del subproceso Convertir en Comando.

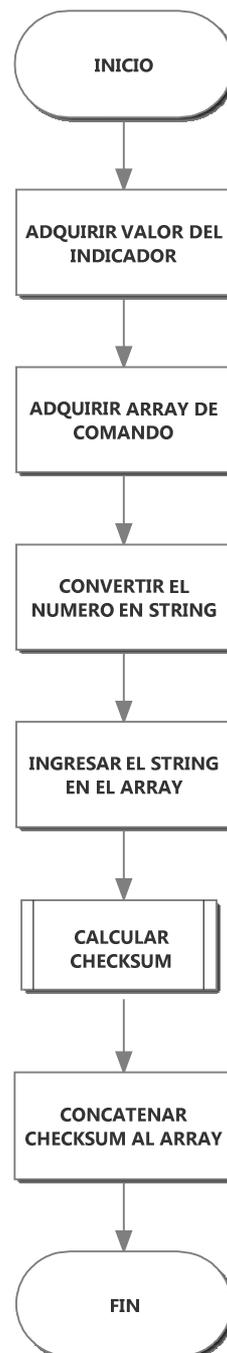
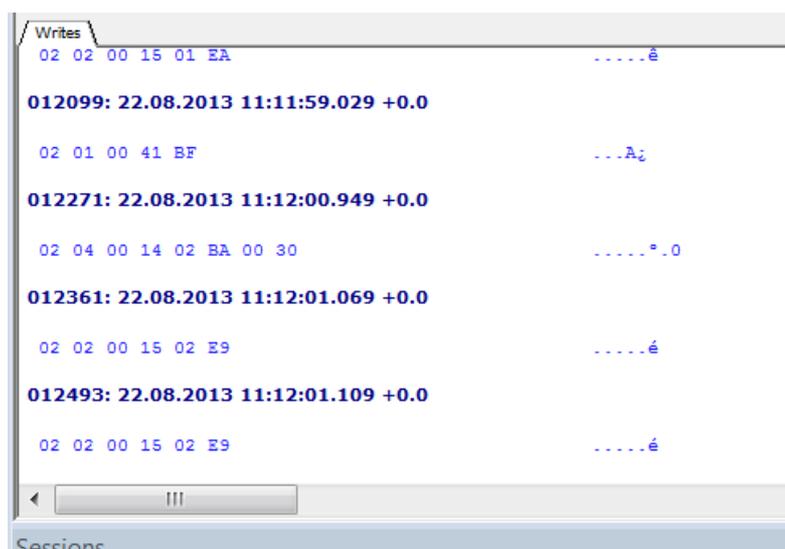


Figura 32. Subproceso Convertir en Comando

Para la conversión de datos a comandos, se necesita la tabla de comandos que se envían por medio de comunicación serial a la cámara multispectral. Estos comandos han sido obtenidos por medio de interceptación de la comunicación con el programa “Device Monitoring Studio” que existía entre la cámara multispectral y el software DTControl.

En la ejecución de la interceptación de datos, se tomaron muestras de los comandos que configuran la cámara multispectral.



```
Writes
02 02 00 15 01 EA .....é
012099: 22.08.2013 11:11:59.029 +0.0
02 01 00 41 BF ...A¿
012271: 22.08.2013 11:12:00.949 +0.0
02 04 00 14 02 BA 00 30 .....°.0
012361: 22.08.2013 11:12:01.069 +0.0
02 02 00 15 02 E9 .....é
012493: 22.08.2013 11:12:01.109 +0.0
02 02 00 15 02 E9 .....é
Sessions
```

Figura 33. Interceptación de Comunicación Serial.

Luego de la interceptación de comunicación se obtuvieron los siguientes resultados de los datos de comunicación para enviar los comandos a la cámara Duncantech MS4100.

Tabla 21. Tabla de Comandos

COMANDO	CARACTER DE INICIO	COMANDO 1	COMANDO 2	COMANDO 3	NUMERO DE CANAL	VALOR MAS SIGNIFICATIVO	VALOR MENOS SIGNIFICATIVO	CHECKSUM
GANANCIA RED	02	04	00	02	01	XX	XX	XX
GANANCIA IR	02	04	00	02	02	XX	XX	XX
GANANCIA GREEN	02	04	00	02	03	XX	XX	XX
APERTURA RED	02	04	00	14	01	XX	XX	XX
APERTURA IR	02	04	00	14	02	XX	XX	XX
APERTURA GREEN	02	04	00	14	03	XX	XX	XX

Esta tabla de comandos está dada por valores hexadecimales, en los campos de valor más significativo y menos significativo depende de los rangos que hay para la ganancia y la apertura.

Los rangos para ganancia son de: 95 – 1023 en donde 95 representa 0dB y 1023 representa 36 dB de ganancia y para la apertura son: 1 – 1046 en donde 1 representa 0 ms y 1046 representa 32.5 ms, estos valores representados en decimal, para lo cual se hexadecimales para poder enviar el comando.

5.2.2.2.1. Subproceso cálculo de Checksum

El valor de Checksum, es un valor de 8 bits calculado por la diferencia de FF y la sumatoria de los valores anteriores con excepción del primer dígito de comando “02”, el resultado sumamos la cantidad de valores sumados - 1.

Ejm:

Comando: 02 04 00 14 02 BA 00

Sumatoria: $04 + 00 + 14 + 02 + BA + 00 = D4$

Diferencia: $FF - D4 = 2B$

Cantidad de valores sumados - 1 : $6 - 1 = 5$

Checksum: $2B + 5 = 30$

COMANDO A ESCRIBIR : 02 04 00 14 02 BA 30

A continuación en la Figura 34, el algoritmo para el cálculo del Checksum.

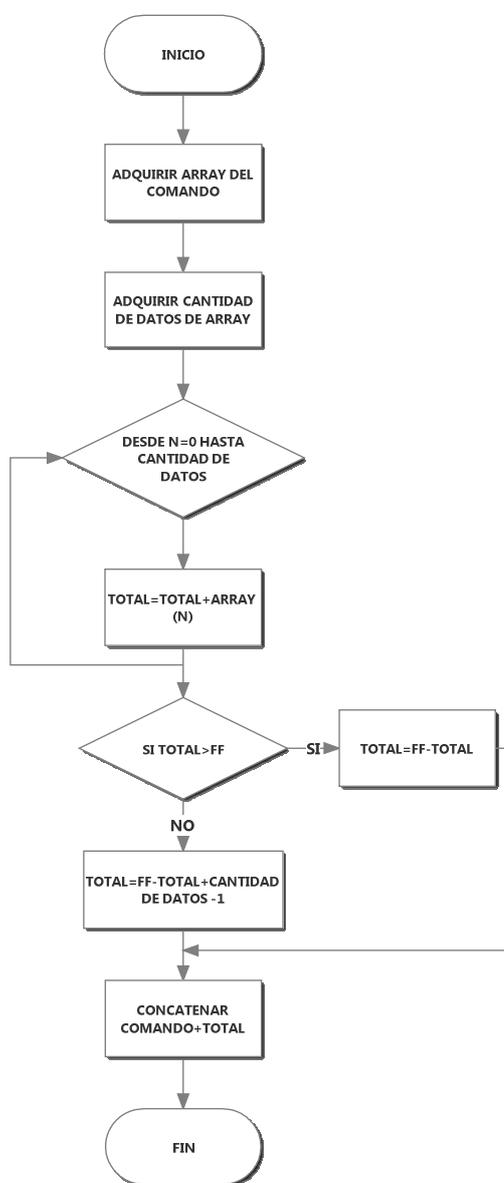


Figura 34. Subproceso Calculo del Checksum

5.3. Diagrama Eléctrico

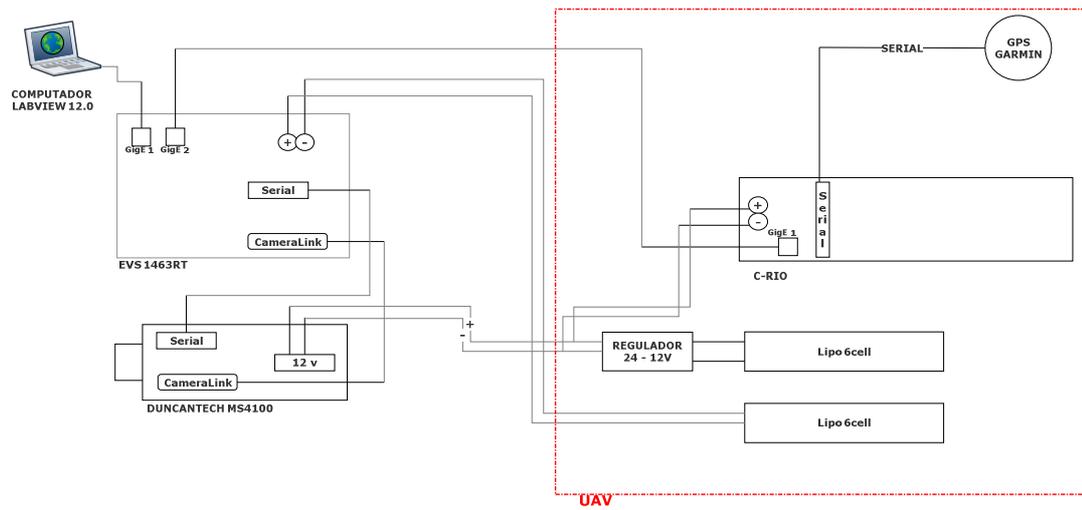


Figura 35. Diagrama Eléctrico

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Protocolo de pruebas.

Para los protocolos de pruebas se efectuarán dos tipos de pruebas:

- Pruebas en tierra
- Pruebas en el vehículo aéreo

6.2. Pruebas en tierra.

Las pruebas en tierra, serán las que se ejecuten en estación base y donde se probarán cada uno de los módulos de software, simulando variables del vehículo aéreo no tripulado.

6.3.1. PRUEBA 1 – Comunicación CameraLink – EVS

Tipo de Prueba : Comunicación EVS-Cámara

Ubicación : Instituto Espacial Ecuatoriano

PROCEDIMIENTO:

- P01.1) Inicializar la Cámara desde la aplicación de NI Labview
- P01.2) Verificar que exista imagen en la aplicación de NI Labview
- P01.3) Se grabará imagen de muestra para verificar tamaño, formato y nombre del archivo guardado.

6.3.2. PRUEBA 2 – Comunicación Serial

Tipo de Prueba : Envío de Comandos a Cámara
mediante puerto serial.

Ubicación : Instituto Espacial Ecuatoriano

PROCEDIMIENTO:

P02.1) Verificar la comunicación serial existente entre la aplicación en Labview y la cámara multiespectral.

P02.2) Enviar los 6 comandos manuales con valores diferentes mediante comunicación serial a la cámara multiespectral.

6.3.3. PRUEBA 3 – Conversión de Valores a Comandos

Tipo de Prueba : Conversión de valores de indicadores a
comandos para cámara multiespectral.

Ubicación : Instituto Espacial Ecuatoriano

PROCEDIMIENTO

P04.1) Realizar cambio de valores aleatorios de los indicadores de ganancia y apertura, en la aplicación de control de cámara elaborada en Labview.

P04.2) Comparar valores de checksum calculados en la aplicación con

valores de checksum interceptados con el programa “Device Monitoring Studio”.

- P04.3) Enviar los comandos calculados a la cámara multispectral y confirmar los cambios de valores.

6.3.4. PRUEBA 4 – Prueba de Energía de Cámara y EVS

Tipo de Prueba : Prueba eléctrica de equipos.

Ubicación : Centro de Investigación y Desarrollo de la
FAE.

PROCEDIMIENTO

- P04.1) Medir valores de voltaje que brinda el UAV necesarios para los equipos del sistema de adquisición de imágenes
- P04.2) Medir valores mínimos y máximos de potencia que utilizan los equipos del sistema de adquisición de imágenes.
- P04.3) Medir tiempos de autonomía de funcionamiento del sistema de adquisición de imágenes.

6.3.5. PRUEBA 5 – Comunicación GigE sistema – UAV

Tipo de Prueba : Comunicación sistema de adquisición de imágenes - UAV.

Ubicación : Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE.

PROCEDIMIENTO

P05.1) Comprobar comunicación por medio de puerto Gige

P05.2) Leer desde sistema de adquisición las variables compartidas de ubicación pre-grabadas con los datos por el sistema del UAV

6.3.6. PRUEBA 6 – Carreteo del sistema

Tipo de Prueba : Carreteo del sistema en vehículo aéreo

Ubicación : Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE.

PROCEDIMIENTO

P06.1) Verificar comunicación del sistema de adquisición de imágenes con

el sistema de ubicación del vehículo aéreo.

- P06.2) Validar ubicación del sistema del vehículo aéreo con la ubicación real.
- P06.3) Ingresar en la aplicación los protocolos geoespaciales, que indicarán el área donde se adquieren las imágenes.
- P06.4) Movilizar a la aeronave fuera de los límites del área de adquisición de imágenes y verificar que el sistema no adquiera imágenes.
- P06.5) Movilizar la aeronave al área de adquisición de imágenes para empezar a adquirir imágenes

6.3.Prueba en aire

Luego de haber ejecutado las pruebas en tierra, procedemos a realizar la prueba en aire; integrando aquí el sistema de adquisición de imágenes con el sistema de vuelo del UAV y estos trabajando en RT (Tiempo Real).

6.3.1. PRUEBA 1 – Prueba aérea

Tipo de Prueba : Prueba del sistema en aire

Ubicación : Aeropuerto Rio Amazonas – Shell Mera

PROCEDIMIENTO

PA01.1) Montar Cámara multispectral en aeronave

- PA01.2) Interconectar sistema de adquisición de imágenes y sistema de UAV
- PA01.3) Cargar protocolos espectrales
- PA01.4) Cargar protocolos geoespaciales
- PA01.5) Definir tiempo de vuelo
- PA01.6) Enviar aeronave a vuelo
- PA01.7) Descarga y análisis de imágenes adquiridas

6.4. Resultados de Pruebas en Tierra

6.5.1. Resultados de Prueba 1

- R 01.1) Se realizó un programa para inicializar la cámara el cual se observa en la Figura 36.

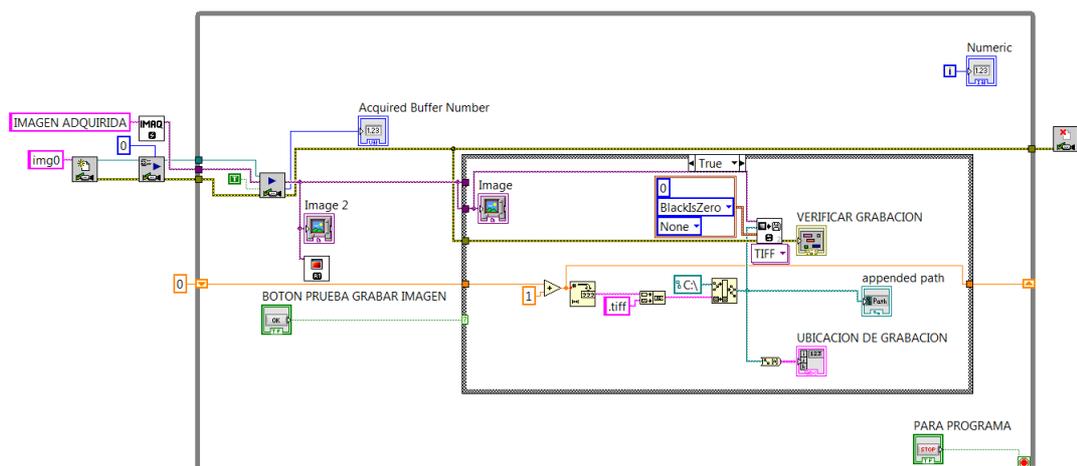


Figura 36. Programa para inicializar cámara

R 01.2) Al ejecutar el programa se puede observar que si existe comunicación con la cámara multiespectral, en la pantalla de administración como se muestra la Figura 37 en el cuadro de diálogo “Image 2” donde aparece la imagen en vivo.

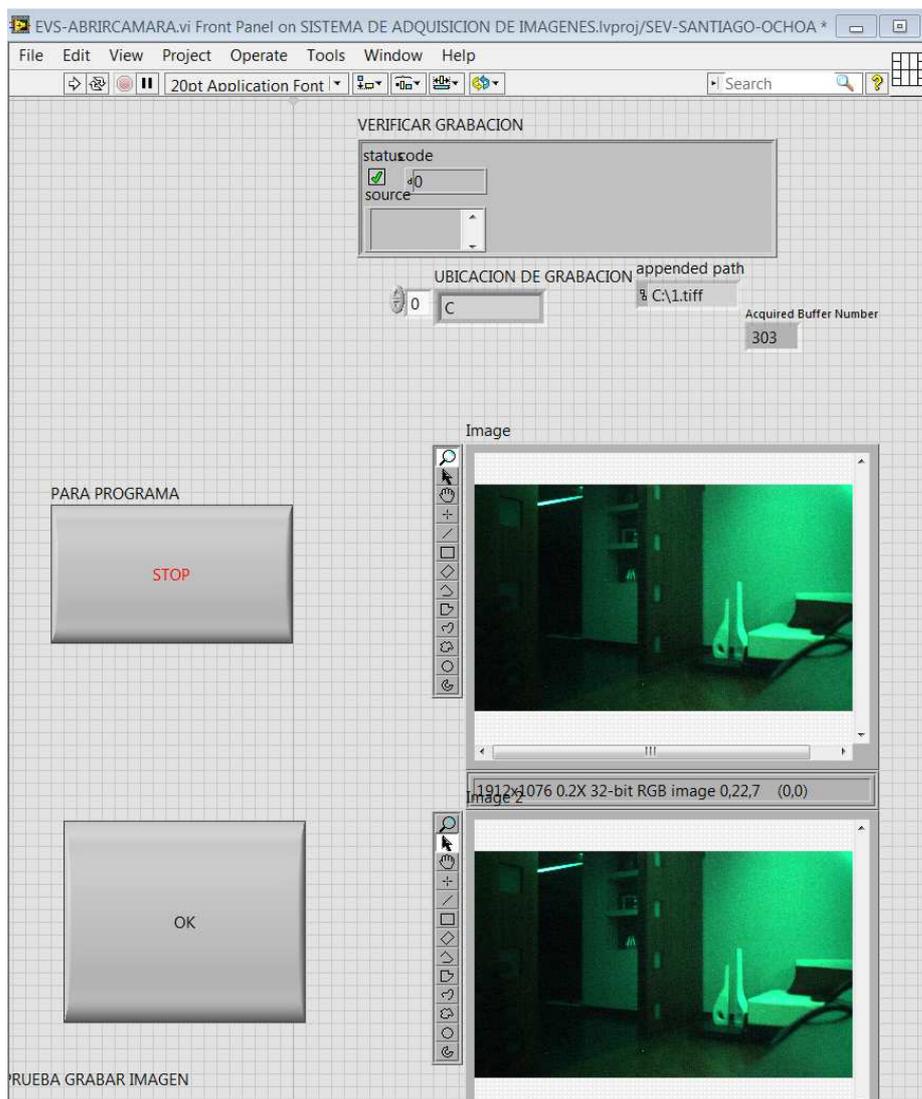


Figura 37. Resultado de inicializar cámara multiespectral

R 01.3) Al observar la Figura 37 en el cuadro de diálogo “Image” se observa la imagen grabada que se encuentra ubicada en el disco “C:\” del sistema embebido de visión.

6.5.2. Resultados de Prueba 2

R 02.1) Para comprobar la comunicación entre la cámara y el sistema de adquisición se realiza la apertura del puerto serial con los siguientes parámetros, los mismos indican si existe o no error en comunicación. Como se aprecia en la Figura 38 el estatus es correcto, así que muestra que la comunicación no tiene errores.

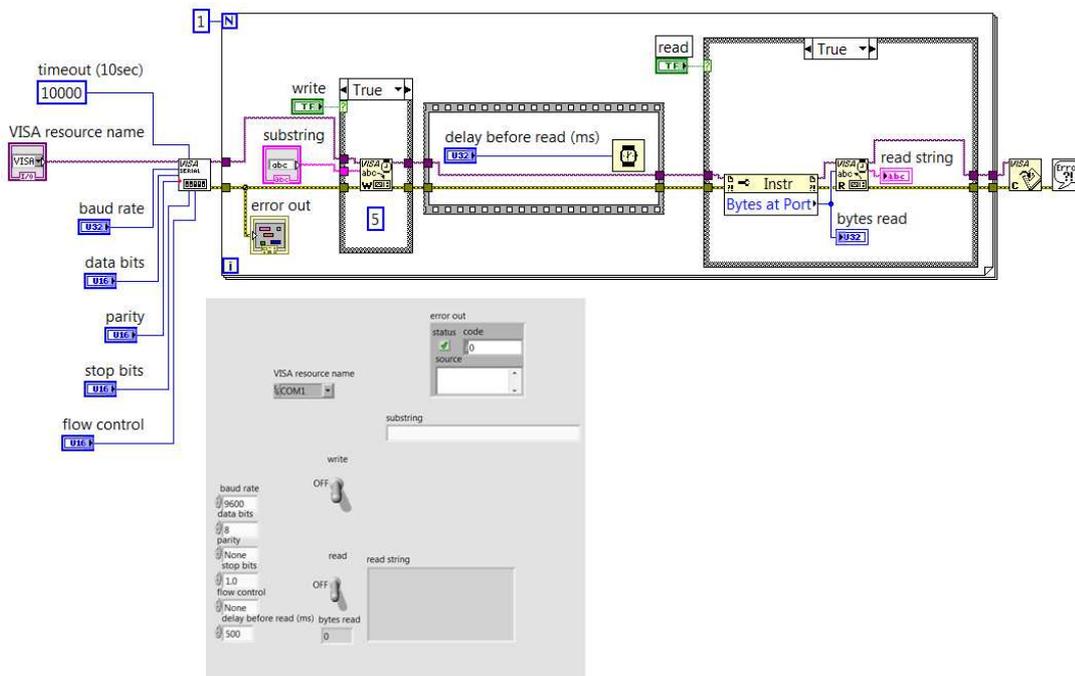


Figura 38. Apertura comunicación serial EVS - Cámara.

R 02.2) Se envían los siguientes comandos en la cadena substring y validando que existen cambios en los parámetros de la cámara, la visualización de cambios se realiza por medio del NI-IMAQ.

```
0204000201A70155  
02040014014D009E  
0204000202CA0131  
02040002031A01E0  
02040014034D009C  
02040014024D009D
```

Figura 39. Comandos enviados a Cámara por puerto serial.

6.5.3. Resultados de Prueba 3

R 03.1) Como se puede apreciar en la Figura 40 se ha realizado cambios en ganancia y apertura.

R 03.2) Seguido se comparan que los cálculos del checksum sean correctos comparado con los valores enviados a la cámara, como muestra en la Figura 40.

R 03.3) En la sección izquierda de la Figura 40 se muestra la escritura por puerto serial hacia la cámara.

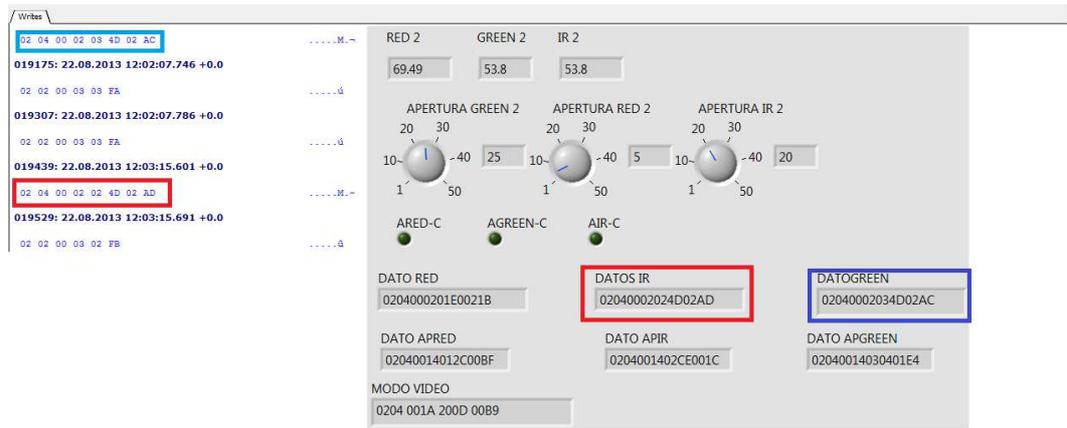


Figura 40. Verificación de Checksum. (Izq. Intercepción de comunicación, Der. Cuadro de controles de sistema)



Figura 41. Resultado de imágenes con cambios en cuadro de control

6.5.4. Resultados de Prueba 4

R 04.1) El UAV se energiza a través de un banco de baterías LiPo de 6 celdas, internamente tenemos voltajes regulados a 12V y 5V así como también directamente las LiPo mantienen un voltaje de salida variado desde los 22V hasta los 25.2V.

R 04.2) Empezando por la cámara multispectral, las especificaciones técnicas indica que trabaja con 12V y 1A, este consumo de energía es constante.



Figura 42. Análisis de Energía Cámara Duncantech MS-4100

Para el sistema embebido sus características técnicas permiten energizar desde los 10V hasta los 30V con una corriente desde los 3A hasta los 9A,

para esto vamos a conectar directamente a la batería LiPo. Según las mediciones a los 25V el consumo de corriente en modo de espera consume 1.1A y en modo de grabación de imágenes consume 1.8A.

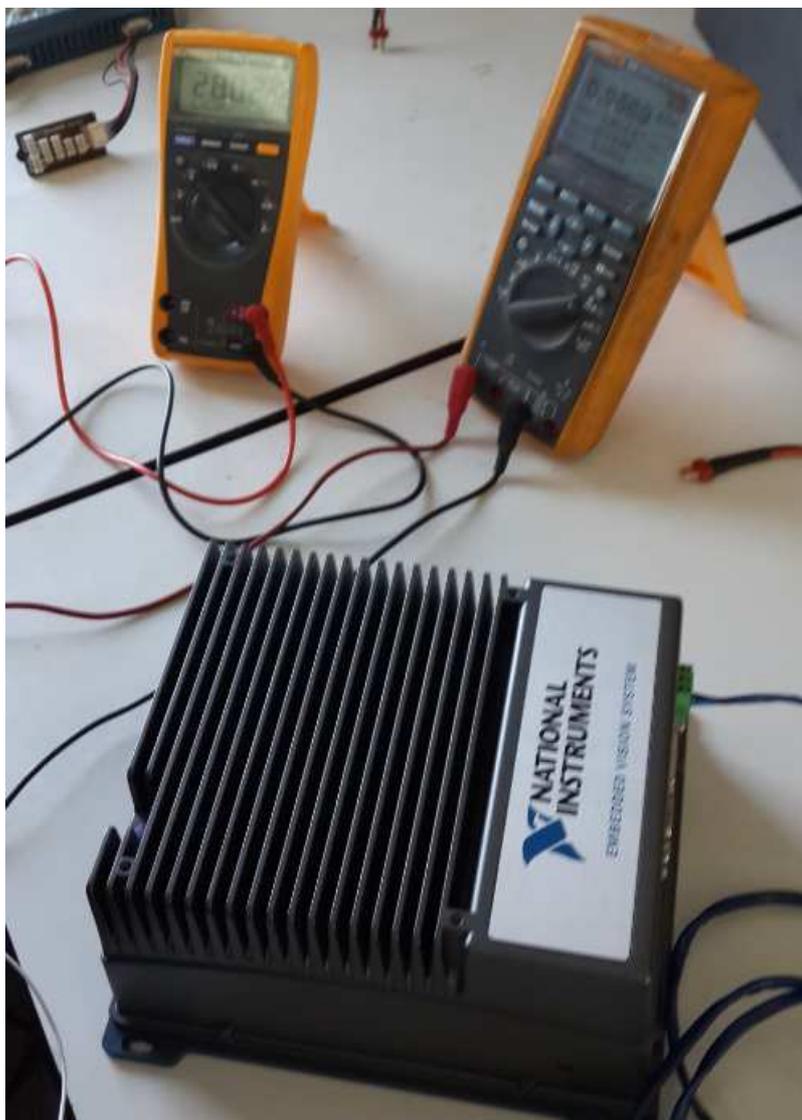


Figura 43. Análisis de Energía EVS en modo de espera

R 04.3) Para el cálculo de los tiempos de autonomía aproximados, partimos por la característica de las baterías LiPo que se usan, estas pueden proveer 5000 mA/h. Para la Cámara multispectral se podrá abastecer hasta 5 horas

de funcionamiento con una batería LiPo, pero esto depende del consumo de los otros equipos que comparten la batería.

En cambio para el sistema de adquisición de imágenes, destinaremos una batería LiPo para su uso exclusivo ya que a máximo funcionamiento ocupa hasta 90W, según las mediciones efectuadas la autonomía del sistema lograría abastecer fácilmente hasta 2h 30m en modo de grabación de imágenes.

6.5.5. Resultados de Prueba 5

R 05.1) Se procede a conectar vía GigE cable RJ45 cat. 5e a un router, y este conectado el sistema del UAV y un computador externo, procedemos a realizar ping a cada uno de los equipos para verificar que exista respuestas. La IP fija que mantiene el equipo CRio es 192.168.0.201 y la IP fija que se le asignó al sistema de adquisición de imágenes es la 192.168.0.221. Se verifico que si existe comunicación con los equipos.

R 05.2) Verificada la comunicación se procede a leer las variables compartidas que se creó en el sistema del UAV y se obtuvo los resultados que se muestran en la

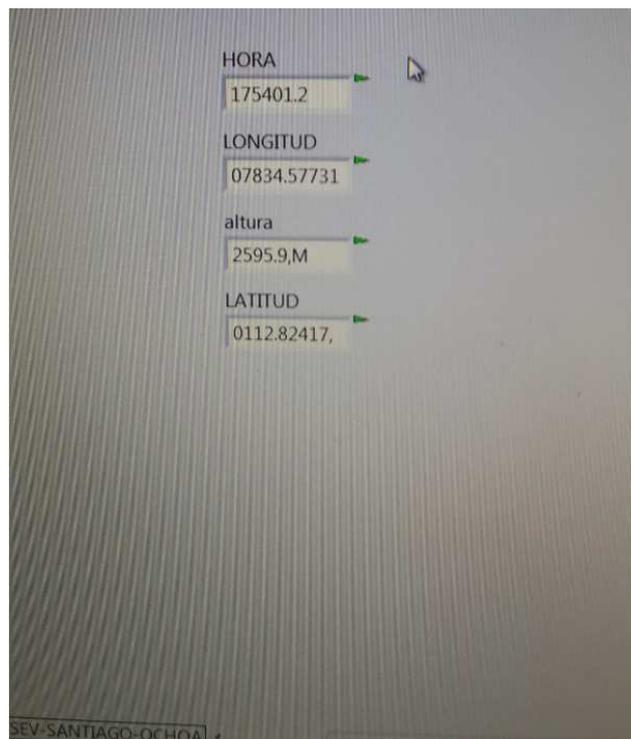


Figura 44. Comunicación de variables compartidas del UAV

6.5.6. Resultados de Prueba 6

RA 01.1) Como se observa en la Figura 45 existe comunicación e información de variables compartidas para el posicionamiento del vehículo.



Figura 45. Verificación de comunicación con sistema del UAV

RA 01.2) La ubicación al momento de las pruebas de carreteo indica $78^{\circ}34'32.899''$ de Longitud y $1^{\circ}12'49.167$ y es confirmada con los valores de Google earth.



Figura 46. Posición Inicial de carreteo.

RA 01.3) A continuación se ingresan los protocolos geospaciales para adquirir imágenes.

- a. Latitud Inicial= -112.82171
- b. Latitud Final= -112.81945
- c. Longitud Inicial= -7834.55474
- d. Longitud Final= -7834.54832

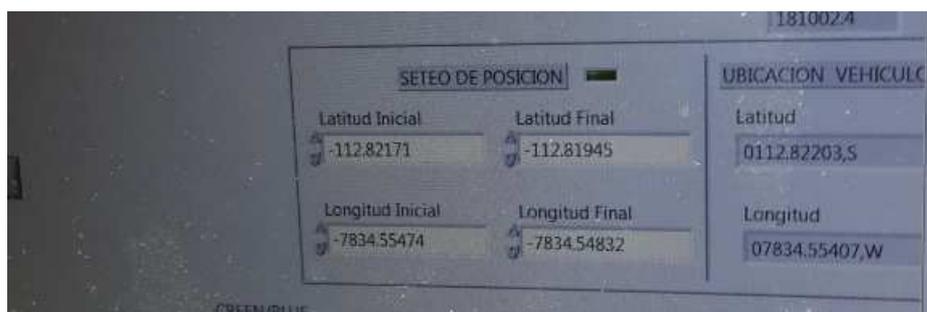


Figura 47. Seteo protocolos geospaciales

RA 01.4) Al movilizar la aeronave fuera de los límites seleccionados, nuestro indicador de área se encuentra en modo off.

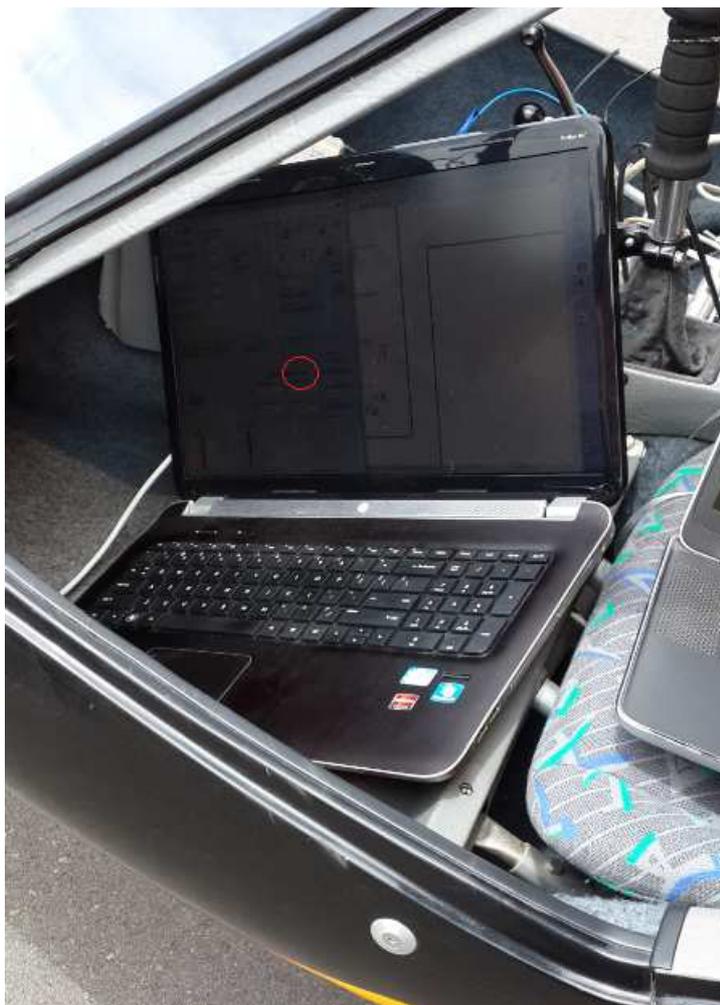


Figura 48. Aeronave fuera de área

RA 01.5) Al momento de ingresar al área de adquisición de imágenes, el indicador de área se enciende y empieza a adquirir las imágenes.

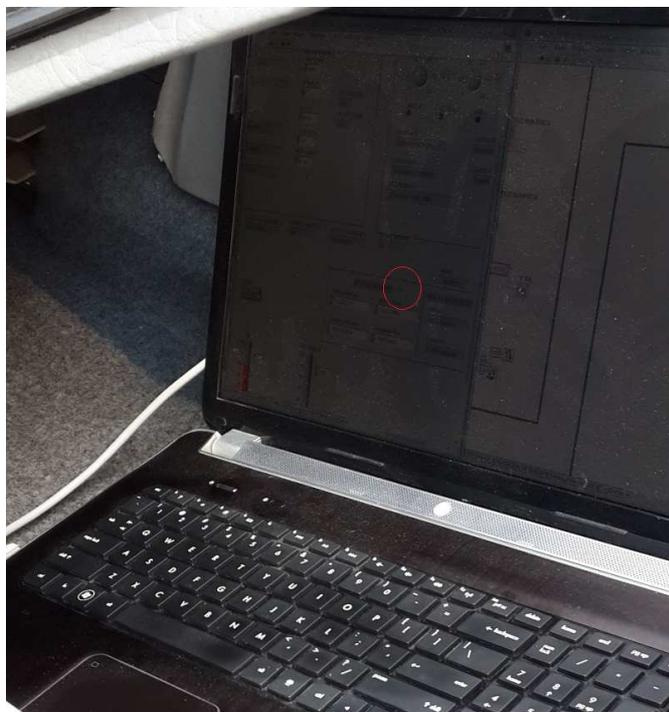


Figura 49. Aeronave dentro del área.

6.5. Resultados de pruebas en aire

El sistema de adquisición de imágenes logro adquirir imágenes multispectrales, ubicando un área específica y unificado con el sistema central del UAV del Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE.

6.5.1. Resultado de Prueba 1

RA 01.1) Para el montaje de la cámara se elaboró una estructura de aluminio compatible con diferentes tipos de aeronaves, la misma que permite estabilizar la cámara en la nave de manera segura.



Figura 50. Montaje de cámara multispectral DuncanTech MS-4100

RA 01.2) Se interconectaron los sistemas de adquisición de imágenes y el sistema de UAV por medio de GigE.



Figura 51. Integración de sistemas

RA 01.3) Los protocolos espectrales con los que se configuro el sistema fueron solicitados por el usuario de tal manera que en modo de CIR se pueda resaltar la vegetación en ese espectro, los valores fueron de:

- Apertura Red: 8
- Apertura IR: 8
- Apertura Green/Blue: 8
- Ganancia Red: 36
- Ganancia IR: 39.75
- Ganancia Green/Blue:21

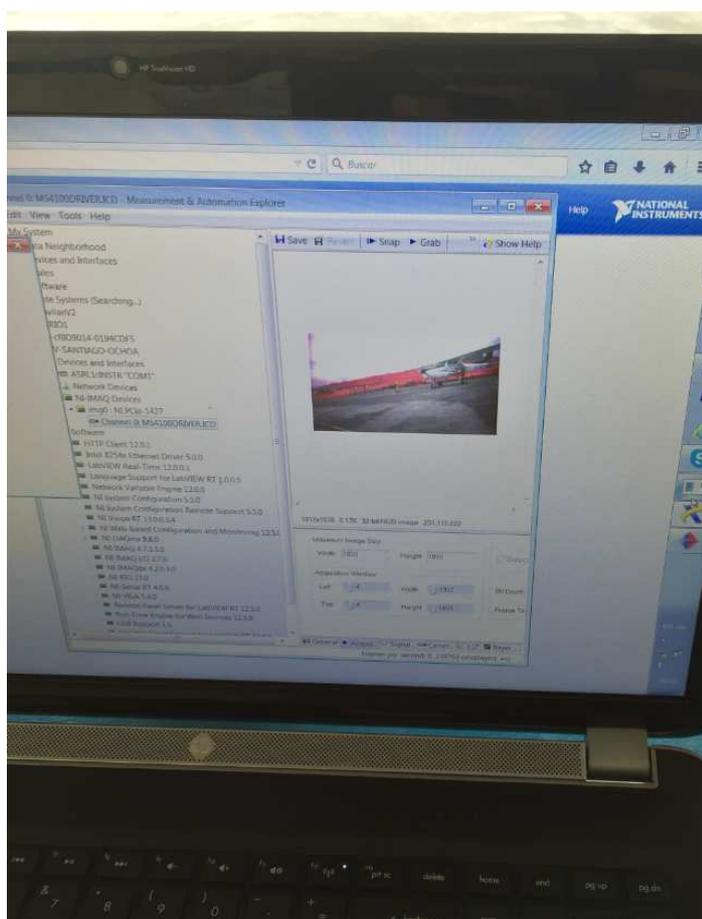


Figura 52. Muestra de imagen con protocolo espectral antes del vuelo

RA 01.4) Para este vuelo se preparó en los protocolos geospaciales los siguientes datos

- Longitud Inicial: 78°00'03.29''
- Longitud Final: 77°59'03.25''
- Latitud Inicial: 1°30'08.25''
- Latitud Final: 1°29'44.50''

RA 01.5) De acuerdo a las condiciones climáticas se planteó un tiempo de vuelo de 20 minutos a una altura de 600 mts y a una altura de 1000 mts.

RA 01.6) En la Figura 53 y Figura 54 se aprecia la aeronave previa al despegue y el momento del despegue con los equipos a bordo.



Figura 53. Aeronave previa al vuelo



Figura 54. Aeronave en el momento del despegue

RA 01.7) Luego de efectuado el vuelo se procede a descargar las imágenes del vuelo las cuales se pueden observar en la Figura 55 y Figura 56.

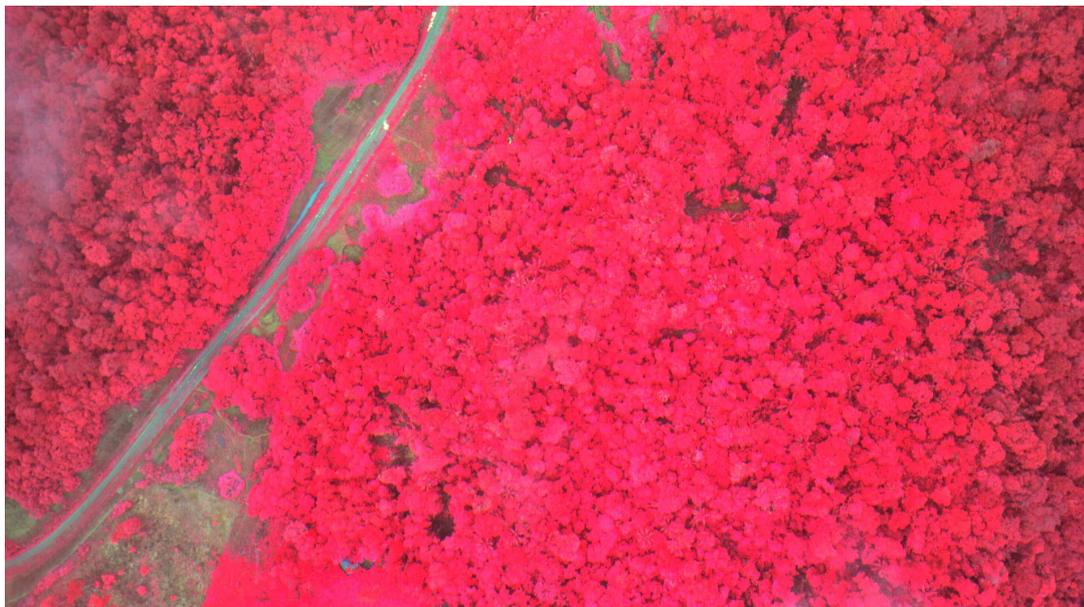


Figura 55. Fotografía Aérea CIR a 600 mts de altura

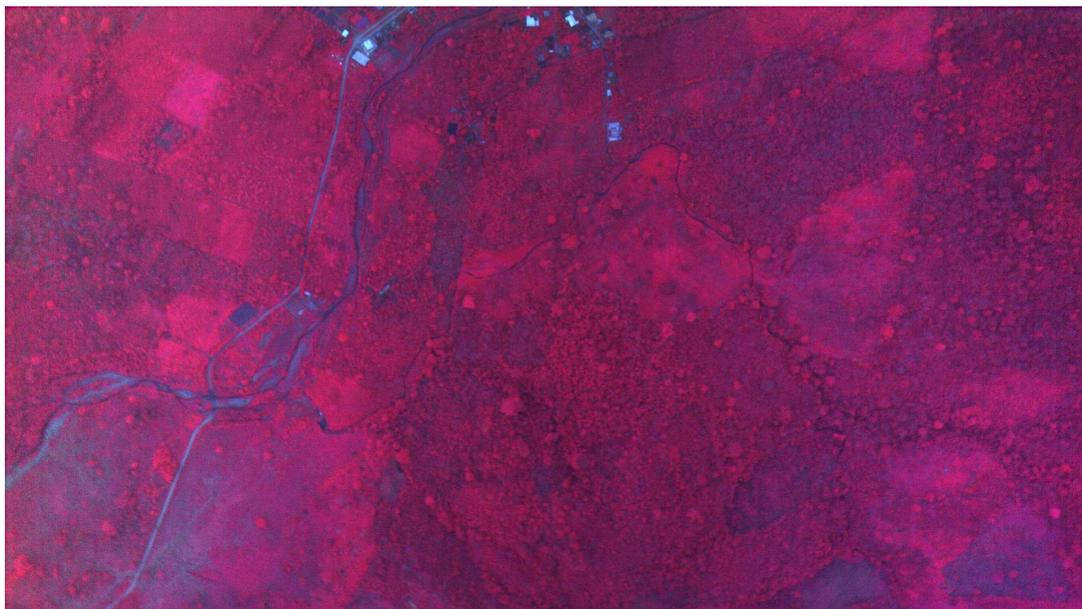


Figura 56. Fotografía CIR a 1000 mts. De altura

Como se observan en las dos imágenes, podemos notar la diferencia de calidad que existe ya que a mayor altura la reflexión de luz disminuye y tendríamos que aumentar los parámetros de configuración para tener mejor detalle de las imágenes. También cabe recalcar que los protocolos espectrales fueron seteados en CIR para poder diferenciar las bondades de la cámara Duncantech para obtener imágenes destinadas al uso agrícola, ya que en la actualidad se encuentran realizando estudios de firmas espectrales en el campo agrícola.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Con la elaboración de este proyecto se cumple a cabalidad con los objetivos para la implementación de un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales para integración en un vehículo aéreo no tripulado.

Se determinó que el mejor protocolo de comunicación entre el sistema de adquisición de imágenes y el UAV es el puerto GigE por ser de alta velocidad de comunicación y alta fiabilidad, además al ser dos sistemas compatibles por ser dispositivos de la multinacional National Instruments, facilitan el trabajo de integración entre sí.

Se diseñó un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales robusto y compacto considerando las especificaciones de los UAV que cumple con los parámetros de peso y dimensiones, orientado para fines civiles y militares.

Se implementó una metodología de diseño propuesta y que iba depurándose hasta alcanzar los mejores resultados considerando los criterios de diseño y los parámetros propuestos.

Se implementó un sistema de adquisición de imágenes desarrollado en el mismo lenguaje de programación que los sistemas de control de los UAV, para lograr una fácil integración entre los dos sistemas y así disminuyendo los tiempos y complicaciones de diseño.

Se desarrolló un sistema para el control de la cámara multiespectral Duncantech MS-4100 que permite modificar los parámetros espectrales de la misma para la adquisición de imágenes.

El sistema permite utilizarse en cualquier tipo de aeronave y así obtener las mismas prestaciones del sistema de adquisición de imágenes que poseía anteriormente el Instituto Espacial Ecuatoriano.

Se pudo evaluar las prestaciones que brinda el Embedded Vision System NI EVS-1463RT, que si bien al ser un sistema embebido dirigido al tratamiento de imágenes, brinda otras opciones al momento de ser programado, para que puedan complementar y optimizar nuestra aplicación; pudiendo así simplificar el uso de otros dispositivos.

Se integró el sistema de adquisición de imágenes con el sistema de control del vehículo aéreo no tripulado, la integración se realizó por medio del puerto GigE y con un 100% de compatibilidad, que permitirá en futuro al sistema realizar actividades que permitan optimizar el sistema con nuevas aplicaciones.

7.2. RECOMENDACIONES

El sistema de adquisición de imágenes elaborado es parte de una primera etapa, se sugiere estudiar las herramientas del sistema de visión para agregar características que puedan optimizar el trabajo de adquisición.

Se recomienda hacer un estudio exhaustivo de carga útil y balanceo en el UAV para poder volar con los equipos a bordo.

Se recomienda realizar los vuelos entre los 600mts y 1000 de altura para que las imágenes resulten mejor enfocadas y permita la captación de los espectros de luz.

Se recomienda aumentar tiempos de apertura en caso de realizar vuelos a mayor altura, esto para poder tener imágenes más claras ya que se pierde reflexión de luz conforme aumenta la altura.

Cuando las imágenes no tengan la cantidad de luz necesaria se recomienda priorizar el aumento de tiempos de apertura de diafragma de la cámara, antes que las ganancias de los filtros, ya que al aumentar la ganancia las imágenes son susceptibles a introducir ruido y perder de esta forma calidad de la imagen.

En los siguientes prototipos se puede aprovechar el sistema de visión y sus herramientas para unir el mosaico de imágenes en tiempo real.

Se recomienda antes de iniciar una nueva misión, vaciar el disco principal para poder tener espacio suficiente de trabajo, ya que puede llegar al colgar el sistema si queda sin espacio disponible.

7.3. BIBLIOGRAFIA

Concepción Zavaleta, P. F. (Febrero de 2013). Recuperado el 18 de Enero de 2014

DUNCANTECH. (n.d.). *DuncanTech MS4000 & MS4100 Quick Start Guide*.

DUNCANTECH. (n.d.). *MS4000 and MS4100 High-Resolution Digital Color and Multispectral Camera*. Auburn.

DuncanTech. (n.d.). *MS4100*.

Escalante Ramírez, B. (2006, Agosto). *Procesamiento Digital de Imágenes*.

Retrieved Febrero 2014, from Apuntes de curso impartido: <http://verona.fi-p.unam.mx/boris/teachingnotes/Introduccion.pdf>

Gradiant. (2010, Abril 23). <http://www.gradiant.org/es>. Retrieved Enero 25, 2014, from <http://www.gradiant.org/es/actualidad/noticias/196-vision-multiespectral.html>

Lira Chávez, J. (2010). *Tratamiento Digital de Imágenes Multiespectrales* (Segunda ed.). Mexico: Lulu.

Rodríguez Morales, R., & Sossa Azuela, J. H. (2011). *Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes* (Primera ed.). Madrid, España: Ra-Ma.

Rodríguez Morales, R., & Sossa Azuela, J. H. (2011). *Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes* (Primera ed.). Madrid: Ra-Ma.

Salvatierra, C. (2004, Agosto). *Fundamentos de Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite*. Retrieved Enero 20, 2014, from http://ffyl.uncu.edu.ar/IMG/pdf/Notas_clase_Procesamiento_digital.pdf

Sossa Azuela, J. H. (2013). *Visión Artificial* (Primera ed.). Madrid: Ra-Ma.

SRGIS. (2005-2006). *Guía básica sobre imágenes satelitales y sus productos*.

Retrieved Febrero 1, 2014, from <http://www.srgis.cl/>

SUR1810. (2014). *UAV GUARDIANES DE LA SOBERANIA ECUATORIANA*.

SUR1810.

ANEXOS

**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE
IMÁGENES MULTIESPECTRALES.**

1. Proceder a conectar los equipos de acuerdo al diagrama eléctrico de la Figura 57.

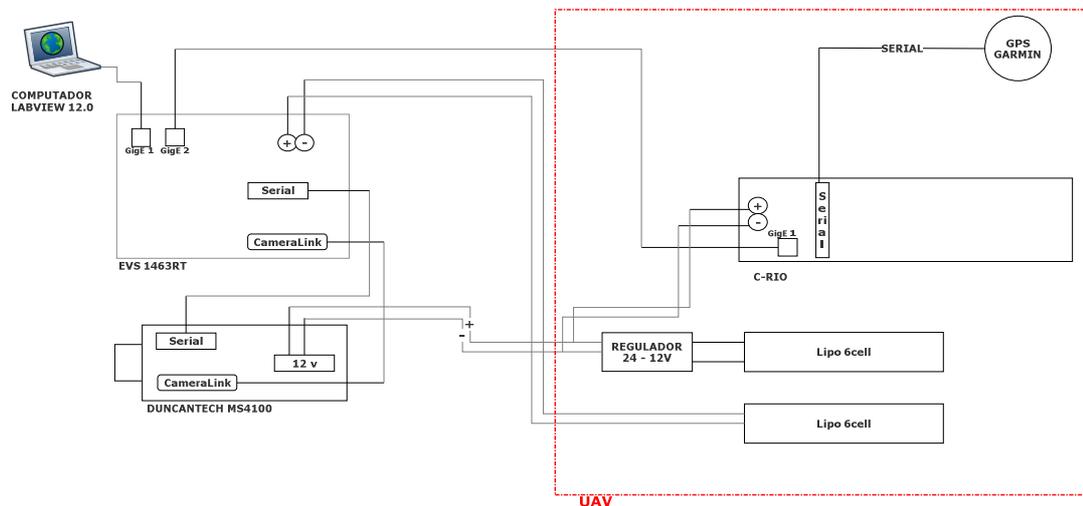


Figura 57. Diagrama Eléctrico

2. Si no se cambian los protocolos geoespaciales o los espectrales, desconectar el computador externo y procedemos a energizar el sistema para así proceder con la misión de vuelo. Luego continuamos con el paso #....
3. Si deseamos cambiar protocolos, Cambiamos el Deep 3 del EVS 1463RT a la posición “NO APP” como se muestra en la Figura 58.

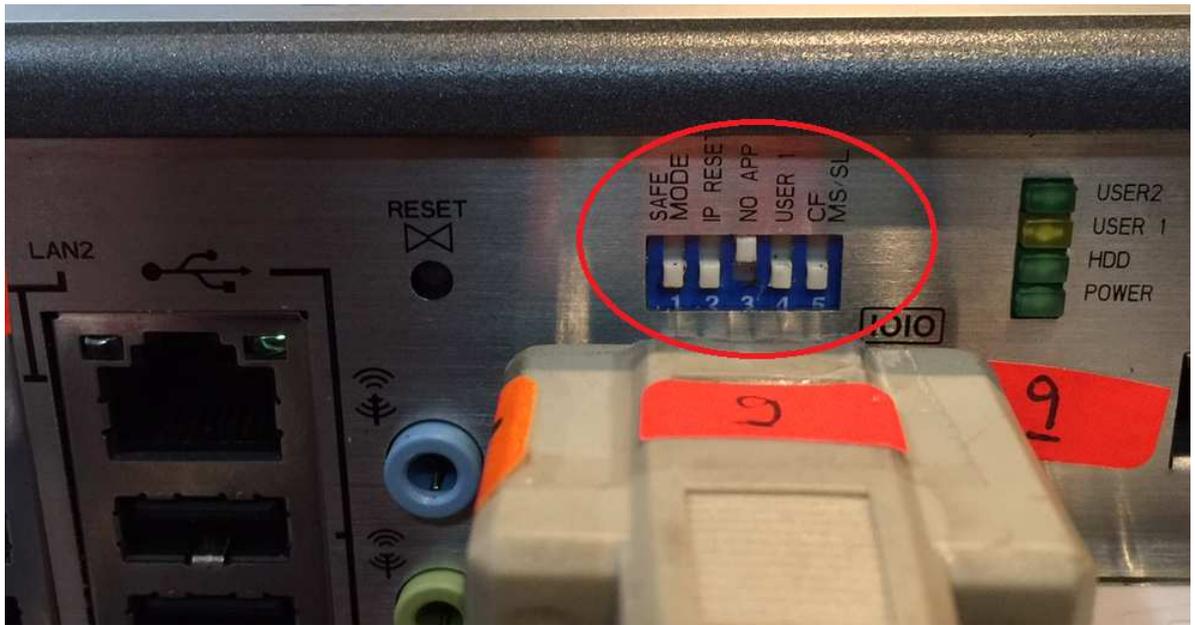


Figura 58. Posición Deep para programar protocolos

4. Desde Labview se ejecuta el programa “Control de Sensor”. Este nos presentara la siguiente pantalla

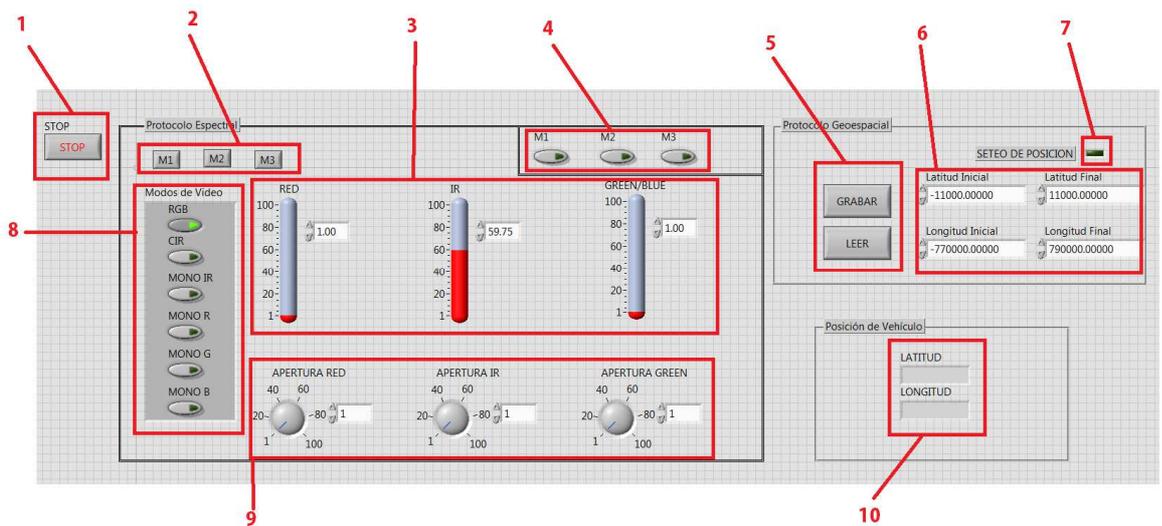


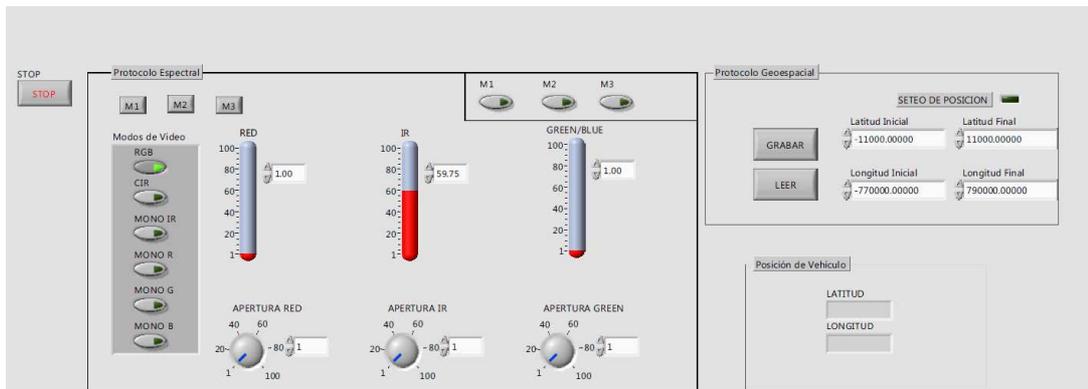
Figura 59. Cuadro de Controles

1	SUSPENDER PROGRAMA
2	GRABAR M1 M2 M3 CON PROTOCOLOS ESPECTRALES
3	GANACIA DE FILTROS
4	LEER PROTOCOLOS DE M1 M2 M3
5	GRABAR O LEER PROTOCOLOS GEOESPACIALES
6	PROTOCOLOS ESPECTRALES
7	INDICADOR DE AREA DE GRABACIÓN
8	SELECCIONAR MODOS DE VIDEO
9	TIEMPO DE APERTURA DE FILTROS
10	POSICION INSTANTÁNEA DE LA NAVE

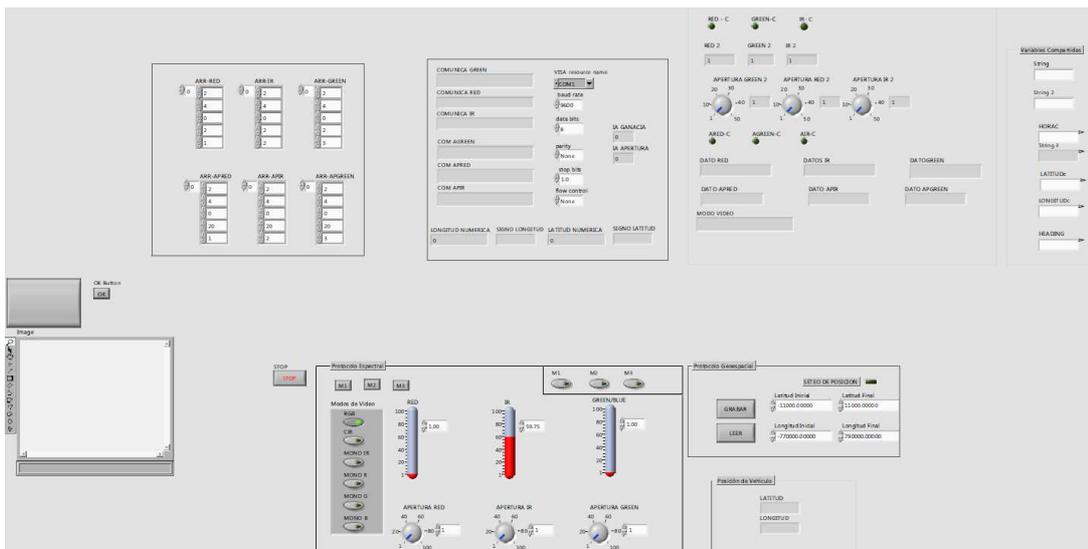
5. Se configura con los valores deseados de los protocolos tanto espectrales como espaciales.
6. Pulsar Stop para terminar programa, regresar el Deep 3 a la posición inicial, reiniciar el sistema y regresar al paso #2.
7. Luego de finalizar la misión, conectamos el computador al GigE2 y por medio del explorador de Windows ingresamos a la dirección <https://192.168.0.221:3385>

- En la pestaña de carpetas vamos al disco C del sistema embebido y procedemos a descargar las imágenes.

PANEL DE CONTROL SISTEMA DE ADQUISICION DE IMÁGENES



PANEL GENERAL



PROGRAMA PRINCIPAL

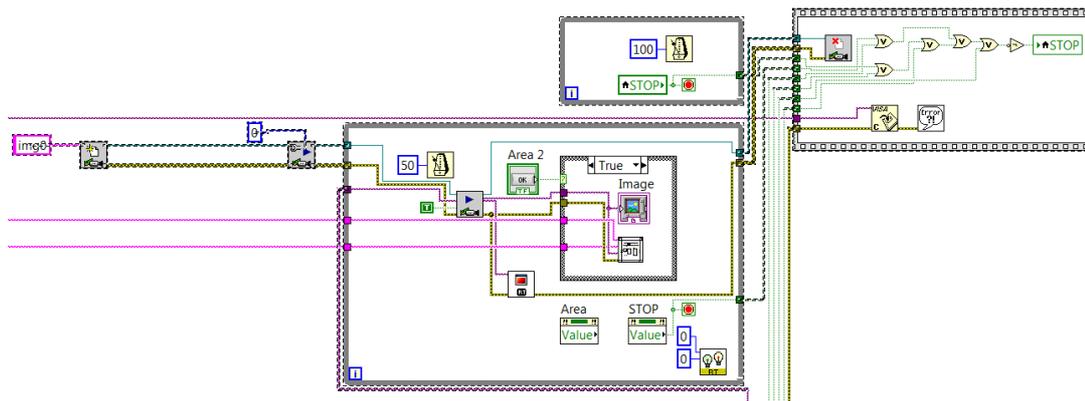


Figura 60. Módulo de Grabación de Imágenes y Cierre del Programa

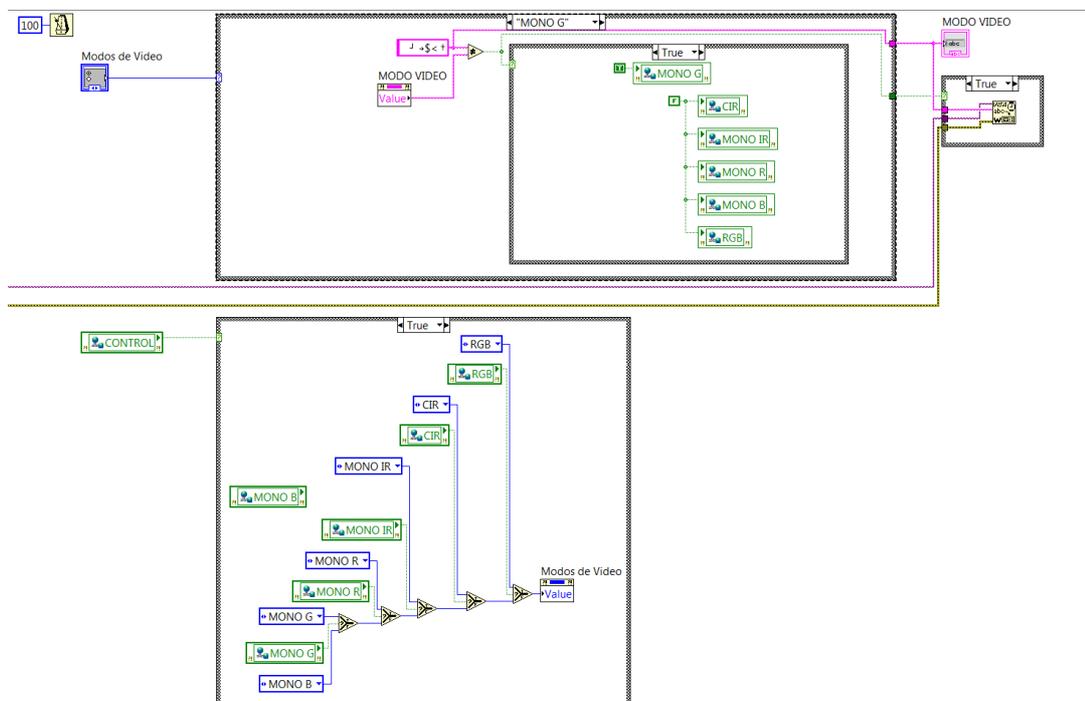


Figura 61. Configuración de Modos de video

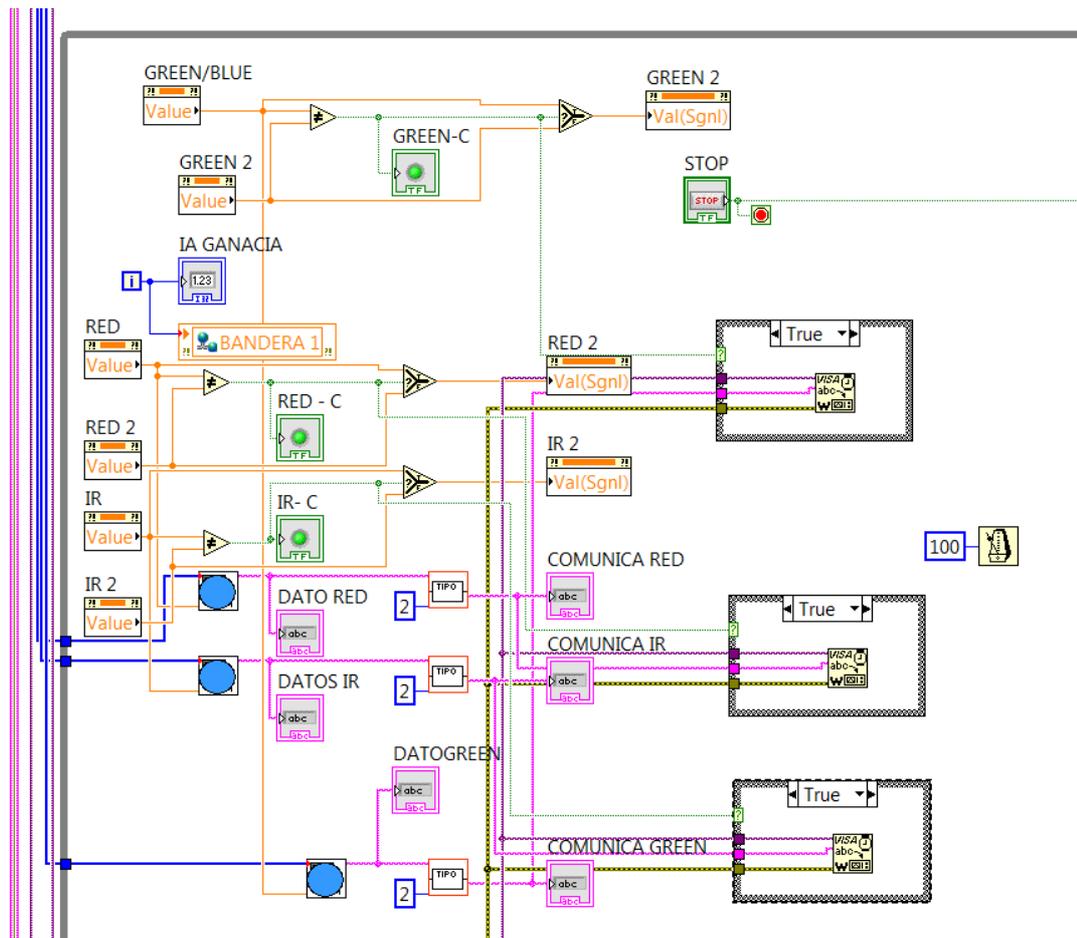


Figura 62. Configuración de Ganancia

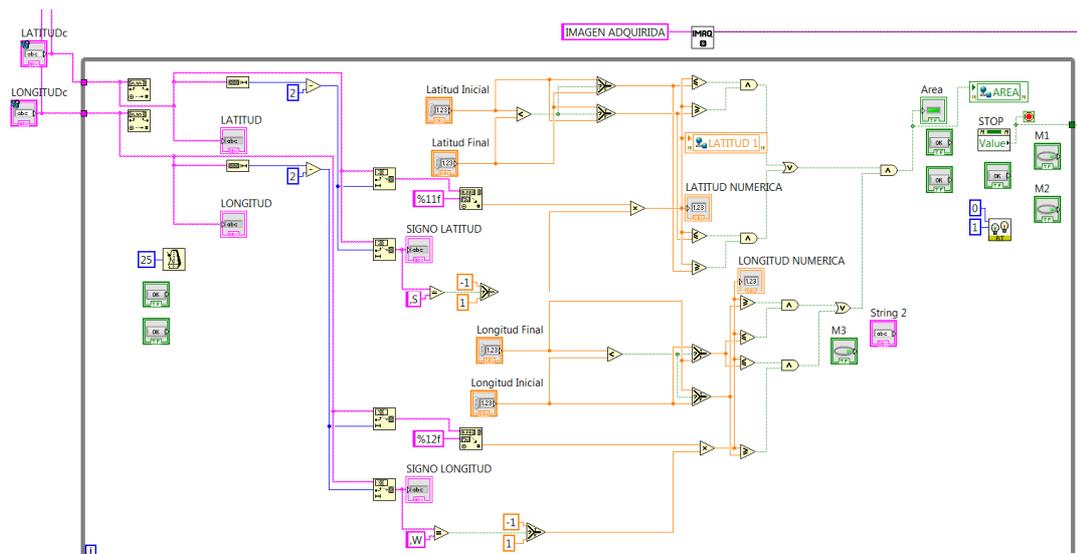


Figura 63. Validación de área geoespacial

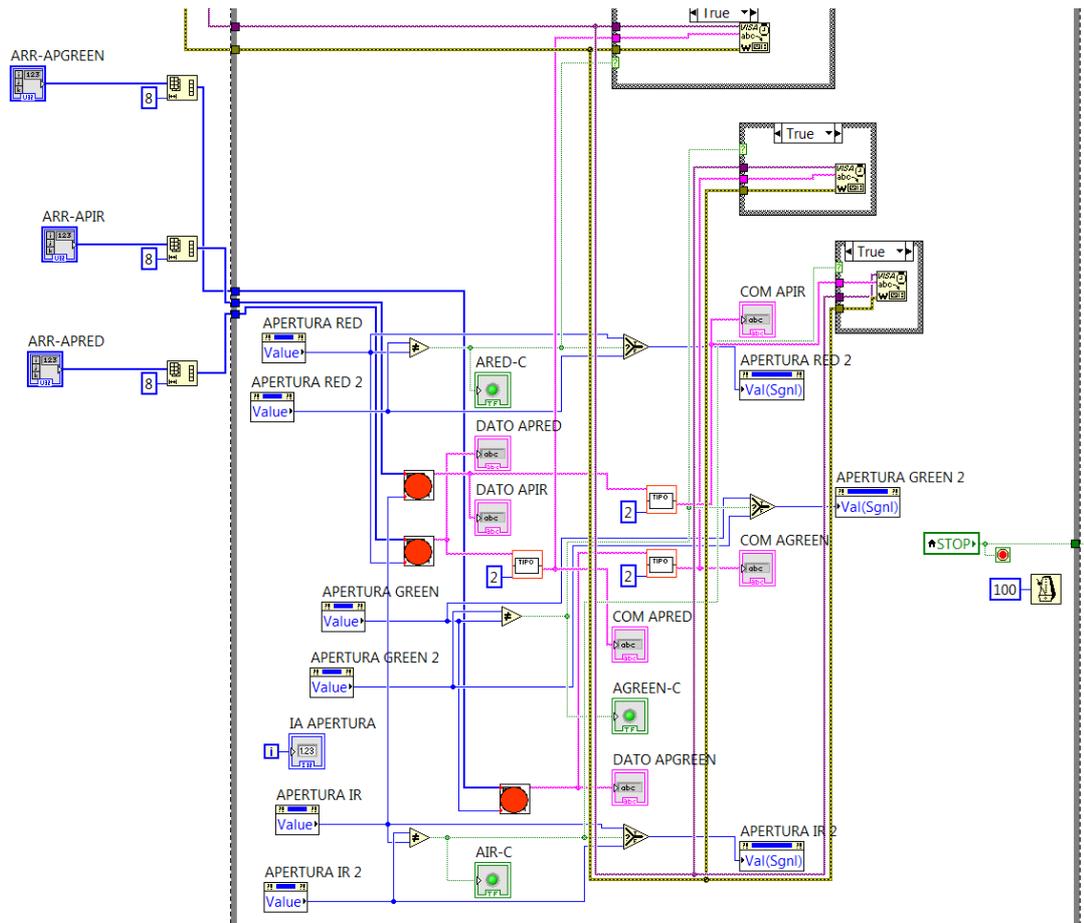


Figura 64. Configuración de tiempo de Apertura

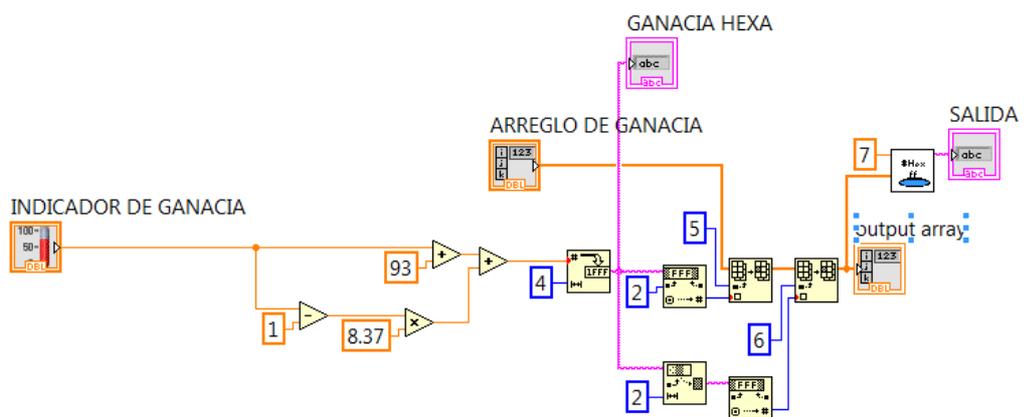


Figura 65. Transformación de Valores a Comando de Cámara

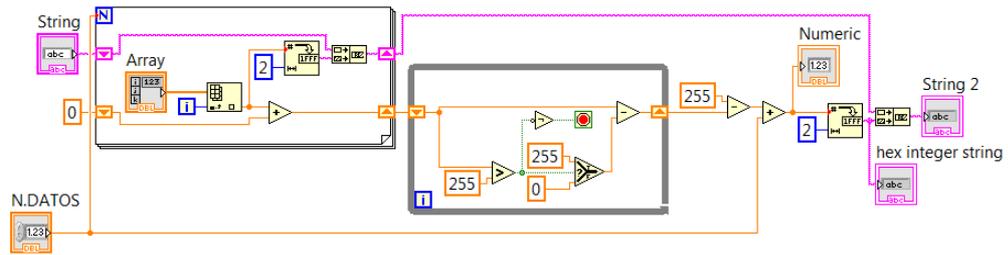


Figura 66. Calculo de Checksum

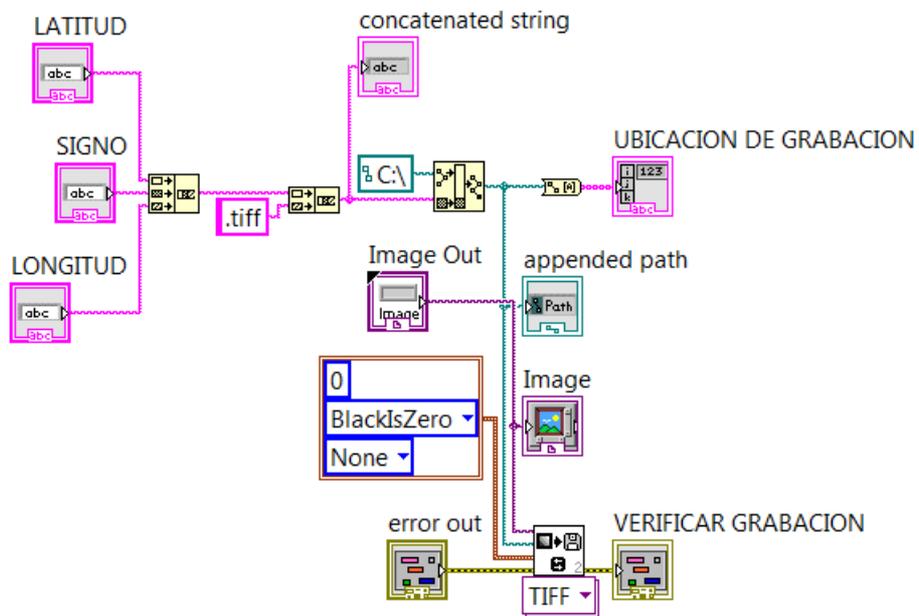


Figura 67. Grabación de Archivo.

ACTA DE ENTREGA

El proyecto de titulación "Implementación de un sistema de adquisición de Imágenes multiespectrales, para Integración en un vehículo aéreo no tripulado" fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 8 de Mayo de 2014

ELABORADO POR:



OSCAR SANTIAGO OCHOA GUEVARA
171541691-1

AUTORIDAD



Ing. Luis Orozco MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL



