

DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL
REMOTO DE ORIENTACIÓN DE UNA CÁMARA PROFESIONAL DE
FOTOGRAFÍA QUE PERMITA OBTENER LAS IMÁGENES A TRAVÉS DE
INTERNET DE FORMA INALÁMBRICA

JUAN SEBASTIÁN LÓPEZ TOBON

CAMILO ANDRÉS PARDO MÁRQUEZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2014

DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL
REMOTO DE ORIENTACIÓN DE UNA CÁMARA PROFESIONAL DE
FOTOGRAFÍA QUE PERMITA OBTENER LAS IMÁGENES A TRAVÉS DE
INTERNET DE FORMA INALÁMBRICA

JUAN SEBASTIÁN LÓPEZ TOBON

CAMILO ANDRÉS PARDO MÁRQUEZ

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero en Mecatrónica

DIRECTOR

Ing. Darío Amaya Hurtado Ph.D.

CO DIRECTOR

Ing. Ángela Marcela Mejía Ph.D.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Abril de 2014

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y salud y a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera.

Juan Sebastián López Tobon

A mis padres Alfonso Pardo y Claudia Márquez de Pardo por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por sobre todo su ejemplo de vida. A mis hermanas mayores Ana María y Claudia Marcela por su compañía. Finalmente a mis abuelos que desde el cielo sé que cuidan de mí.

Camilo Andrés Pardo Márquez

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros directores de trabajo de grado, el ingeniero Darío Amaya Hurtado y la ingeniera Ángela Marcela Mejía, por su apoyo, colaboración, orientación y soporte a lo largo del desarrollo del presente trabajo de grado.

A la Universidad Militar Nueva granada por la formación académica y personal brindada a lo largo de nuestro proceso de aprendizaje.

Finalmente, a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo y tiempo durante la planeación y ejecución del presente trabajo de grado.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	6
2. MARCO REFERENCIAL	8
2.1. ESTADO DEL ARTE	8
2.2. MARCO CONCEPTUAL	10
2.2.1. TIMELAPSE	10
2.2.2. INTERVALÓMETRO	11
2.2.3. PAN-TILT-ZOOM	12
2.2.4. SISTEMAS CONTROLADOS POR RED (NCS)	12
2.2.5. UDP	13
3. DISEÑO CONCEPTUAL	14
3.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	14

3.1.1.	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	14
3.1.2.	MODELO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA.....	15
3.2.	QFD	16
3.2.1.	LLUVIA DE IDEAS	17
3.2.2.	DIAGRAMA DE AFINIDAD	18
3.2.3.	CASA DE LA CALIDAD.....	18
3.2.4.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	20
3.2.5.	MATRIZ DE SELECCIÓN	22
3.2.6.	MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA	24
4.	DISEÑO DETALLADO	27
4.1.	PLANEACIÓN DEL PROYECTO	27
4.2.	DISEÑO MECÁNICO/ELÉCTRICO.....	28
4.2.1.	COMPONENTES	28
4.2.2.	PLANOS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	29
4.3.	DISEÑO DE SOFTWARE	35
4.3.1.	PROGRAMAS.....	35
4.3.2.	DIAGRAMA DE RED.....	36
4.3.3.	DIAGRAMA DE SECUENCIAS DETALLADO.....	36
4.3.4.	DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN SERVIDOR-CLIENTE- MICROCONTROLADOR.....	37
4.3.5.	INTERFACES GRAFICAS USUARIO-MAQUINA	40

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
5.1. TRANSMISIÓN DE DATOS.....	46
5.1.1. TIEMPOS DE ALMACENAMIENTO SEGÚN TAMAÑO DE IMAGEN	46
5.1.2. TIEMPOS DE VISUALIZACIÓN SEGÚN TAMAÑO DE IMAGEN	48
5.1.3. ESTABILIDAD DEL SERVIDOR	49
5.2. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DESARROLLADO CON EL MERCADO ACTUAL	52
6. CONCLUSIONES.....	53
7. BIBLIOGRAFÍA	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación de especificaciones y precios entre diferentes modelos de cámaras profesionales para fotografía y cámaras PTZ para monitoreo.	3
Tabla 2. Diagrama de afinidad.	18
Tabla 3. Matriz de selección.	23
Tabla 4. Planeación del desarrollo del proyecto.	27
Tabla 5. Tiempos de almacenamiento de archivos en servidor según tamaño de la imagen.	46
Tabla 6. Tiempos de visualización de archivos en interfaz según tamaño de la imagen.	48
Tabla 7. Mensajes enviados y recibidos por el servidor en diferentes intervalos. ...	50
Tabla 8. Tiempos de respuesta del servidor a peticiones HTTP simples.	51
Tabla 9. Comparación de especificaciones del sistema mecatrónico desarrollado contra las soluciones disponibles en el mercado.	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Casa de la calidad realizada para evaluar los requisitos del cliente frente a lo que realmente desea en su sistema de monitoreo usando el concepto de TimeLapse.	19
Figura 2. Esquema del sistema mecatrónico elegido a partir del QFD.	24
Figura 3. Diagrama de casos de uso para la gestión y monitoreo del sistema mecatrónico.	25
Figura 4. Diagrama de actividades para la gestión y monitoreo del sistema mecatrónico.	26
Figura 5. Dispositivo de orientación Pan-Tilt.	29
Figura 6. Fotografía lateral del montaje del dispositivo de orientación Pan-Tilt de la cámara.	30
Figura 7. Fotografía frontal y superior del dispositivo de orientación Pan-Tilt con las cámaras montadas.	31
Figura 8. Fotografía del dispositivo en funcionamiento.	31
Figura 9. Dimensiones del dispositivo mecatrónico de orientación Pan-Tilt.	32
Figura 10. Esquema del circuito que integra todos los elementos del sistema mecatrónico.	33

Figura 11. Vista en modelo virtual de la integración de los sistemas del dispositivo mecatrónico.	34
Figura 12. Diagrama de red final para el sistema desarrollado. Realizado con PacketTracer de Cisco.....	36
Figura 13. Diagrama de secuencias detallado del software para gestión y monitoreo del sistema.....	37
Figura 14. Diagrama de interacción entre sistemas para la orientación de la cámara.....	38
Figura 15. Diagrama de interacción entre sistemas para la gestión de imágenes.	39
Figura 16. Diagrama de interacción entre sistemas para la gestión del servidor y sus funciones.....	40
Figura 17. Interfaz gráfica usuario-máquina para PC para operación del sistema mecatrónico en forma remota.	41
Figura 18. Primera pantalla de la interfaz gráfica para dispositivos móviles para operación del sistema mecatrónico en forma remota.	43
Figura 19. Segunda pantalla de la interfaz gráfica para dispositivos móviles para operación del sistema mecatrónico a través de la web.....	44
Figura 20. Grafica de tamaño de imagen vs. Tiempo de almacenamiento de la misma en el servidor.....	47
Figura 21. Grafica de tamaño de imagen vs. Tiempo de visualización de la misma en la interfaz.	49

GLOSARIO

ARDUINO Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, donde su software es manipulado utilizando lenguajes de programación conocidos. Adicionalmente la placa cuenta con puertos de entrada y salida, lo que facilita la incorporación de periféricos al sistema a desarrollar. El uso de estas placas de desarrollo permite que los proyectos sean ejecutados sin la necesidad de usar un computador.

DSLR por sus siglas en inglés (Digital Single Lens Reflex), son cámaras digitales réflex de lente sencillo e intercambiable, lo que les permite la adaptación a diversas condiciones ambientales con la finalidad de tomar fotografías claras y en muy alta definición del evento de interés.

HARDWARE conjunto de los componentes que integran la parte material de un sistema.

INTERVALÓMETRO Es un dispositivo que se encarga de establecer, de forma automática, un intervalo de tiempo determinado entre diferentes exposiciones de la cámara, logrando con la definición de este intervalo cuantos fotogramas deseamos que tenga nuestro video reconstruido usando TimeLapse.

NCS por sus siglas en inglés (Network Controlled Systems), son sistemas en donde una sola interfaz a través de la web controla todos los dispositivos y servicios del mismo, y de la misma manera se utiliza un lenguaje de modelamiento común y almacenamiento de datos para los servicios y dispositivos del sistema controlado.

PTZ por sus siglas en inglés (Pan, Tilt y Zoom), se refiere a las características del tipo de cámaras que poseen un movimiento de rotación horizontal (Pan), movimiento de rotación vertical (Tilt) y la posibilidad de acercarse o alejarse enfocando (Zoom).

SOFTWARE conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en un sistema.

TIMELAPSE es una técnica usada en cinematografía y fotografía para el monitoreo de eventos que suceden a velocidades imperceptibles al ojo humano, por lo cual a partir de imágenes fijas tomadas en determinados intervalos se puede formar una secuencia del evento.

UDP por sus siglas en inglés (User Datagram Protocol), es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas, los cuales pueden ser enviados a través de la red sin establecer previamente una conexión, sin confirmación ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros. El uso de este protocolo se hace vital para la transmisión de video en tiempo real, ya que no es posible realizar re transmisiones debido a que esto aumentaría considerablemente el tiempo de retardo.

XCODE es el programa para el desarrollo de aplicaciones en dispositivos móviles Apple, es decir para dispositivos móviles con sistema operativo iOS.

RESUMEN

En este trabajo se diseña y desarrolla un sistema mecatrónico que permite la supervisión de la orientación de una cámara de fotografía, desde una estación remota a través de la web, para realizar el monitoreo y gestión de eventos utilizando el concepto de TimeLapse. El sistema es desarrollado con el objetivo de ofrecer una solución más dinámica e interactiva con el usuario a las existentes en el mercado, permitiendo la realimentación del estado del sistema en tiempo real y la modificación de sus parámetros de funcionamiento, ya sea el intervalo de accionamiento de la cámara, la gestión de las imágenes obtenidas o la reorientación del dispositivo en sus dos grados de libertad (pan-tilt) a eventos más relevantes para el usuario. El desempeño y el análisis de resultados se evalúan con pruebas de estabilidad y confiabilidad del sistema desarrollado, además de su eficiencia. Las aplicaciones del sistema y sus desarrollos a futuro son evaluados teniendo en cuenta las soluciones ofrecidas actualmente para el monitoreo de eventos usando TimeLapse.

PALABRAS CLAVE: UDP, TimeLapse, Intervalómetro, Pan-Tilt-Zoom.

ABSTRACT

In this work a mechatronic system that allows the orientation of a photo camera from a remote station via the web is designed and developed, for monitoring and event management using the TimeLapse concept. The system is developed to provide a more dynamic and interactive solution for the user than the ones offered in the current market, allowing real time feedback of the system status and the modification of its operating parameters, like the sampling interval of the photos, the management of the data obtained or the redirection of the two degree of liberty device built, for the camera to focus more important events for the user. Performance analysis and results are evaluated testing the stability and reliability of the developed system, and its efficiency. System applications and future developments are evaluated considering the solutions currently offered for event monitoring using TimeLapse.

KEYWORDS: UDP, TimeLapse, Intervalometer, Pan-Tilt-Zoom.

1. INTRODUCCIÓN

El TimeLapse es un proceso mediante el cual se toman fotografías a un evento o suceso cada determinado intervalo de tiempo. En algunas ocasiones las cámaras que registran las fotografías están ubicadas en puntos fijos por largos periodos de tiempo funcionando las 24 horas del día, haciendo necesaria la presencia periódica de una persona para descargar el material obtenido, que puede llegar a ser alrededor de varios GB de información semanal dependiendo de la resolución de la cámara. Ya que la cámara Nikon D3100 utilizada para el proyecto tiene una resolución de 40 megapíxeles (las prestaciones de alta calidad de imagen deseada), lo cual en un formato sin compresión de 12bits por Pixel se obtendría un archivo de 21.3MB cada determinado intervalo. Tomando como referencia un intervalo de 10 minutos en 24 horas, por día se almacenarían 3GB de información, traducido en 21 GB en una semana por cada cámara, lo que implica un gran tráfico de información en intervalos cortos de tiempo [1].

En el tiempo en el que las cámaras permanecen sin supervisión pueden ser desconectadas, cambiadas de lugar, puede fallar el suministro eléctrico y esto solo puede ser descubierto hasta la próxima revisión presencial de las mismas.

Es por eso, que se hace necesario implementar un sistema que de manera remota, permita estar en comunicación con la cámara, para poder tener acceso a la información de lo que pueda suceder alrededor de esta. Además, controlar parámetros como el encendido y apagado del disparador de la cámara, el intervalo de las fotografías, e incluso mover y enfocar la cámara en otra dirección.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la transferencia de fotografías de forma remota, para ayudar en la toma de decisiones oportunas, para poder

redirigir las cámaras a otros puntos con eventos que puedan ser más relevantes [2].

Es por eso que este trabajo se enfoca en el desarrollo de un sistema mecatrónico que permita manipular, remotamente y en tiempo real, una cámara profesional de fotografía para el monitoreo de eventos, facilitando así la toma de decisiones y supervisión constante de los mismos, ahorrando costos de operación al evitar el monitoreo presencial con los desplazamientos que esto implicaría y ofreciendo una alternativa más económica, en comparación al mercado actual, para las prestaciones deseadas.

A continuación se realiza la presentación del proyecto, definiendo el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, y finalmente la delimitación del mismo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Podemos diseñar, y desarrollar, un dispositivo mecatrónico que permita la supervisión de eventos de forma remota a través de la web, usando una cámara profesional, a un costo competitivo y con prestaciones de mayor calidad a las cámaras PTZ existentes?

En este proyecto, se desarrollará un sistema mecatrónico para la supervisión de orientación y tiempos de accionamiento de una cámara profesional de fotografía, de forma remota a través de la web en tiempo real, con el uso de una interfaz gráfica para computador y otra para dispositivos móviles, utilizando conocimientos de diseño mecánico, telecomunicaciones y programación para su integración.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En este trabajo, se integra un dispositivo mecatrónico con aplicaciones web para participar en el desarrollo y creación de productos a partir de las nuevas tecnologías, ampliando las posibilidades de las soluciones ofrecidas para el monitoreo de eventos de forma remota, creando un sistema versátil y económico que permita el monitoreo en tiempo real con mejores prestaciones a las ofrecidas por el mercado actual de cámaras PTZ.

En la tabla 1 se presentan las soluciones más relevantes ofrecidas al público para el monitoreo de eventos de forma remota mediante cámaras PTZ.

Tabla 1. Comparación de especificaciones y precios entre diferentes modelos de cámaras profesionales para fotografía y cámaras PTZ para monitoreo.

	Referencia	Resolucion Imagen	PTZ	Conectividad	Precio (USD)	Lentes	Sensor	Tipo	Formato Imagen
Nikon	D3100	4608 x 3072	No	Ninguna	429	Int.*	CMOS 23.1 x 15.4 mm	DSLR	JPG,RAW
Nikon	D3200	6016 x 4000	No	USB	496	Int*	CMOS, 23.2 x 15.4 mm	DSLR	JPG,RAW
Nikon	D5300	6000 x 4000	NO	WiFi	796	Int*	CMOS, 23.5 x 15.6 mm	DSLR	JPG,RAW
Nikon	D7100	4494 x 3000	NO	USB	1096	Int*	CMOS, 23.5 x 15.6 mm	DSLR	JPG,RAW
Canon	EOS Rebel T3i	3456 x 2304	No	USB	599	Int*	CMOS, 22.3 x 14.9 mm	DSLR	JPG,RAW
Canon	EOS 70D DSLR	5472 x 3648	NO	Wi-Fi	1199	Int*	CMOS, 22.5 x 15 mm	DSLR	JPG,RAW
Canon	EOS 6D	5472 x 3648	NO	WiFi	1899	Int*	CMOS, 35.8 x 23.9 mm	DSLR	JPG, RAW
Sony	BRC-Z330	1920x1080	SI	RS232	3199	18x Optical	1/3" Color CMOS	DIGITAL PTZ HD	VIDEO, JPG
Canon	BU-46H	1496 x 1120	SI	RS232	22,567	20x Optical	1/3" HD 3CCD	HD PTZ	VIDEO, JPG
Canon	XU-81	1496 x 1120	SI	RS232	9,499	12x Optical	1/3" HD CMOS Sensor	HD PTZ	VIDEO, JPG
Microseven	Exview CCD	720 x 486	SI	Ethernet, Wi-Fi	1,099	18x Optical	1/4" Sony ExView HAD CCD	HD PTZ	VIDEO, JPG
Pelco	DD423 Spectra	704 x 480	SI	Ethernet	1,151	23X Optical	N/A	HD PTZ	VIDEO, JPG

Int* = Intercambiable.

Como se observa en la tabla 1, encontrar una cámara profesional de fotografía tipo PTZ con las especificaciones requeridas en nuestro trabajo (zoom óptico e imágenes en resolución de al menos 1496x1120) supone de una inversión no menor a 10,000USD, por lo cual el desarrollo de un sistema mecatrónico para el

control de posición de una cámara profesional común con las especificaciones requeridas se hace de gran utilidad, ya que disminuirá considerablemente los costos de dicho dispositivo.

Al emplear sistemas autónomos se busca optimizar el tiempo invertido en el ejercicio manual de la recolección de las imágenes producto de una sesión de fotografía, permitiendo al usuario encargarse de la edición y postproducción del material. Además, al ser un sistema en tiempo real, las alertas implementadas permiten al usuario tomar decisiones inmediatas basadas en el contenido de las fotografías obtenidas, mejorando así la calidad del producto final y evitando tiempos muertos o material innecesario.

Debido a que los sensores de las cámaras de fotografía profesional tienen un tiempo de vida según la cantidad de disparos que se realizan, controlar los tiempos de encendido y apagado de los circuitos aumentara la vida útil de las cámaras empleadas. Al desarrollar este tipo de aplicaciones y soluciones permite explorar su uso en lugares remotos, que puedan ser de difícil acceso.

Se usará una cámara DSLR porque permite manejar y adaptarse a las características lumínicas y ambientales que se presenten en la escena, más aun tratándose de un proceso de TimeLapsing donde las condiciones climáticas afectan directamente la calidad de las imágenes obtenidas. Así mismo, las cámaras de tipo DSLR al contrario de las de tipo PTZ, permiten intercambiar los lentes de la misma para poder adaptar una cámara a diferentes posiciones y distancias del objetivo.

Para las imágenes obtenidas desde las cámaras se manejará el formato RAW que almacena en detalle todos los parámetros de iluminación que se encontraban en la escena al momento de la toma para luego ser trabajados y procesados en un software de edición/postproducción como Photoshop Lightroom, permitiendo

realizar modificaciones en su exposición, balance de blancos, temperatura de color y demás elementos que permitirán mostrar las imágenes de la manera más clara posible, por el contrario de las cámaras PTZ o IP que existen en el mercado que proporcionan video en formatos comprimidos, e imágenes en formato JPG, lo que reduce la calidad de la imagen.

1.3. OBJETIVOS

Se define el objetivo general del presente trabajo y también los objetivos específicos, que serán las herramientas para lograr con éxito el objetivo general planteado.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un sistema mecatrónico que permita supervisar la orientación de una cámara de fotografía, desde una estación remota, con el propósito de realizar el monitoreo y gestión de eventos a través de la web, utilizando el concepto de TimeLapse.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desarrollar un dispositivo mecatrónico que permita reorientar una cámara profesional de fotografía de forma remota, emulando el comportamiento de una cámara PTZ.

Desarrollar una aplicación que permita obtener las fotografías de la tarjeta de memoria SD con módulo WiFi integrado de forma remota.

Desarrollar e implementar un dispositivo electrónico que mediante internet permita supervisar eventos en una cámara profesional de fotografía, como posición y frecuencia de muestreo.

Desarrollar una interfaz para computador que permita establecer una conexión con el controlador, para la supervisión de eventos.

Diseñar y desarrollar un sistema de información que permita gestionar los datos e imágenes a través de un aplicativo web embebido en la aplicación que controla los eventos de la cámara.

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto consta de un sistema mecatrónico con las siguientes características:

Sistema Pan-Tilt (dispositivo mecánico): Montaje que le dará a la cámara dos grados de libertad, que son rotar sobre su eje horizontal (Pan) e inclinarse hacia arriba o hacia abajo en su eje vertical (Tilt), permitiendo cambiar el objetivo que se está capturando, y a su vez, llegar a mas ángulos de los procesos que se deseen observar.

Servidor con protocolo UDP: Es el protocolo de transmisión utilizado para el envío y recepción de datos entre el servidor y el cliente y es el que permite la configuración del punto de acceso en la web para la gestión y supervisión del sistema.

ArduinoUNOR3: Es una tarjeta de desarrollo con un microcontrolador integrado que nos da la posibilidad de tener módulos de expansión, como lo son:

- a. Módulo de conexión WiFi: Prestará las funciones de red al circuito diseñado, permitiendo la comunicación entre la cámara y la interfaz presentada al usuario. Este llevará la información desde y hacia el sistema de Pan-Tilt y el circuito para el Intervalómetro.
- b. Intervalómetro: Será el dispositivo encargado de llevar el temporizador que activará la cámara según el tiempo deseado. Estará conectado a una Cámara Nikon D3100.

Tarjeta de memoria inalámbrica (WiFi): Almacenamiento y manipulación de las imágenes obtenidas de la cámara a través de comandos http.

El sistema de Pan-Tilt y el intervalómetro serán controlados mediante una interfaz desarrollada para un dispositivo móvil y computador, donde también podrán visualizarse las fotografías almacenadas en la tarjeta de memoria, permitiendo a partir de la última fotografía tomar la decisión de modificar las condiciones actuales (orientación) de la cámara de forma remota. Todo esto a través del módulo WiFi del Arduino y el protocolo de comunicación UDP.

2. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presenta el marco referencial del caso de estudio del trabajo de grado, el cual consta de dos partes:

- Estado del arte.
- Marco referencial.

2.1. ESTADO DEL ARTE

Existe poca información acerca de empresas o personas que ofrezcan soluciones para TimeLapse para Construcción en Colombia. De igual manera, las limitaciones en este campo, están dadas por la tecnología integrada en el desarrollo de este tipo de aplicaciones. Algunas de las empresas encontradas que ofrecen este tipo de servicios se enuncian a continuación:

Tenemos la empresa TimeCam.tv, que ofrece un servicio en el que utilizan una cámara IP, o una cámara web conectada a internet, y en sus servidores se almacenan las fotografías que después son visualizadas a través de un código embebido en una página web. Se ofrecen dos servicios, el básico, el cual tiene un costo mensual de \$20usd mensuales con características básicas, como notificaciones en caso de fallas en la cámara y una resolución de 0.3 megapíxeles. El paquete Pro, tiene un costo de \$180usd y mejora la imagen hasta 12 megapíxeles y agrega un panel de control de zoom y paneo [3].

También está PolarisTime, la cual diseña dispositivos como intervalómetros y rieles para realizar trabajos de TimeLapse en espacios pequeños (1-2 metros de longitud). Sus dispositivos son de funcionamiento autónomo y programable. Es compatible con una gran variedad de cámaras de fotografía profesional [4].

Otra de las empresas actuales es Brinno Solutions, que desarrolla sus propias cámaras, con baterías que les permite funcionar hasta por dos meses. La cámara se configura y no se podrá tener acceso a la información, hasta que la cámara sea retirada del lugar puesto. Permite utilizar lentes diferentes y rotar en un ángulo de 120° [5].

Respecto a las tecnologías utilizadas en este campo de estudio tenemos la visualización cuantitativa de flujos geofísicos utilizando imágenes oblicuas de TimeLapse de bajo costo. [6]. Que nos dice que en las regiones costeras se presentan fenómenos físicos que son importantes y desean ser estudiados. Debido a que la escala de estos procesos es pequeña tus tiempos son rápidos y se presentan problemas de aliasing en los programas que se implementan. La experiencia de los observadores juega un papel importante. Por tal razón fue necesario un sistema simple, robusto y portable, proponiendo como solución un montaje para TimeLapse.

Otra de las tecnologías de uso del campo de estudio son las secuencias faciales de una Cámara de Red PTZ. [7]. Donde se propone la adquisición de una secuencia en alta resolución del rostro de personas mediante una cámara IP con capacidad PTZ, permitiendo ayudar en análisis forenses de secuencias de video que contienen caras. La cámara enfoca el rostro, y cambia su dirección hacia el objetivo y sigue su movimiento hasta donde sea mecánicamente posible. El sistema funciona en tiempo real y funciona de manera autónoma.

Siguiendo con las tecnologías de uso actual tenemos también el sistema de vigilancia remota para celulares con control de sistema eléctrico y dirección de cámara [8]. En el que desarrolla un sistema de vigilancia remota, que consta de un servidor, red de cámaras, dispositivos de control remoto y clientes basados en web. Se obtienen las imágenes, se acumulan en una base de datos donde se

procesa y mediante un applet de JAVA puede ser visualizado en un teléfono celular.

También existen dentro del campo de estudio el análisis de comportamientos de poblaciones animales, como lo es el sistema de fotografía remota con TimeLapse del león marino de Steller. [9] Este proyecto tiene como meta principal crear una herramienta que pueda proveer a los investigadores imágenes de locaciones remotas para analizar el comportamiento del león marino de Steller. El proyecto fue llevado a cabo con sistemas de energía que pudieran operar en condiciones extremas como paneles solares, se utilizaron cámaras análogas y digitales y computadores integrados en chips con bajo consumo de corriente.

El diseño de una cámara de red inalámbrica embebida [10], es otra de las tecnologías de uso del caso de estudio, donde se utiliza un sensor de imagen conectado a un controlador que adquiere la imagen y la procesa, posteriormente, utilizando las tecnologías de transmisión inalámbrica, mediante un módulo WiFi los datos de la imagen son transmitidos a un computador conectado a la misma red mediante un router.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. TIMELAPSE

Es una técnica cinematográfica donde cada foto es obtenida en un intervalo mucho mayor al utilizado en la reproducción del video. Cuando se reproduce a una velocidad normal parece que el movimiento es más rápido y continuo. Los procesos que son normalmente estables para el ojo humano como el movimiento del sol y las estrellas en el cielo, el florecer de las plantas, raíces de frutos creciendo, entre otros, se vuelven pronunciados.

La técnica de TimeLapse es una herramienta poderosa para documentar de forma lenta el fenómeno de cambio/desarrollo/movimiento. [11]

Una cámara de video común a una frecuencia constante normalmente toma entre 25 o 30 fotografías, que cuando son reproducidas tenemos la sensación de que es la vida real, Las cámaras para TimeLapse hacen capturas cada minuto, y el tiempo que pasa entre cada fotografía se llama intervalo. En este tiempo la cámara fotográfica guarda la imagen en una tarjeta de memoria y espera el tiempo para la siguiente fotografía.

Finalmente la secuencia de imágenes lograda por todas las fotografías se ensamblan en un video final que se llamará TimeLapse. [12].

La resolución a la cual se trabajará el TimeLapsing es conocida como 4K [13], que corresponde a unas dimensiones de 3840 x 2169 pixeles, esta resolución es posible alcanzarla únicamente con cámaras profesionales de tipo DSLR por tanto se descarta el uso de cámaras comercialmente existentes de tipo PTZ para este propósito, ya que las que cumplen los requisitos son excesivamente costosas, como se observó en la tabla 1 previamente.

2.2.2. INTERVALÓMETRO

Es un dispositivo que se acopla a una cámara fotográfica con la finalidad de automatizar el intervalo determinado entre diferentes exposiciones de la misma. Este dispositivo es imprescindible para la realización del TimeLapse mencionado previamente, ya que mediante este se define y controla cuantos disparos realiza la cámara según la cantidad de fotogramas deseados en nuestro video final para el monitoreo del evento.

2.2.3. PAN-TILT-ZOOM

Las cámaras de video y fotografía convencionales consisten en una cámara fija que cubre un área grande, esto resulta en situaciones donde los objetivos no están cubiertos por los ángulos de visión de las cámaras, causando esto que el análisis del video o fotografía sea complicado, especialmente cuando se tienen requerimientos relacionados con los objetivos o procesos a capturar, como puede ser tracking de precisión, o identificación facial entre otros.

El número total de cámaras del que se pueda disponer varía según la disponibilidad de costos y facilidad de instalación, más allá de la calidad de la imagen. Para esto existe una solución que integra el análisis y sensado de las tareas de una forma más cercana, que se logra mediante el control dinámico de los parámetros Pan Tilt Zoom (PTZ) de las cámaras de red para satisfacer los requerimientos.

Esto permite a las cámaras enfocarse en múltiples regiones de interés y aun así ser eficientes en la calidad de las imágenes obtenidas. Mediante la configuración PTZ se provee gran flexibilidad requiriendo menos hardware y de este modo reduciendo costos. [14].

2.2.4. SISTEMAS CONTROLADOS POR RED (NCS)

La ventaja de los avances en redes de comunicación como el internet permite la implementación de nuevos y retadores sistemas de control encargados de cumplir tareas dinámicas coordinadas a través de una red de manera remota comunicada con operadores humanos, agentes autómatas o sistemas conectados vía internet u otras redes de comunicación.

Esta nueva clase de control es ahora llamado Redes de Sistemas de Control o NCS (Networked Control Systems) por sus siglas en inglés, y su característica principal es tener uno o más lazos cerrados mediante un canal de comunicación.

El concepto de NCS ha emergido trayendo consigo nuevos retos relacionados con el control y la solución de problemas. [15].

2.2.5. UDP

Este protocolo (User Datagram Protocol) se define para poner a disposición un modo de datagramas de comunicación informática de conmutación de paquetes en un entorno de un conjunto interconectado de redes. Este protocolo asume que el protocolo subyacente es el protocolo de internet (IP). [16].

Este protocolo proporciona un procedimiento para que los programas de la aplicación puedan enviar mensajes a otros programas con un mínimo de mecanismo de protocolo, por lo cual la entrega y recepción de los datos no está garantizada, ni la duplicación de los mismos, pero permite grandes tráfico de información al no realizar retransmisiones ni verificaciones de control de flujo, ya que el propio datagrama incorpora la información suficiente en su cabecera.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se presenta la forma en que se llevó a cabo el proyecto, estructurado en dos etapas: análisis del problema y diseño por QFD del sistema.

3.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En esta etapa se definen las necesidades y requerimientos a tener en cuenta en el diseño del sistema, mediante la definición de los componentes, estructura y funcionamiento.

Para esto, es necesario establecer:

- Requerimientos del Sistema.
- Modelo Estructural del Sistema.

3.1.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Lo primero que debemos definir son los requerimientos del sistema para proveer una solución eficiente al problema que queremos solucionar, por lo cual a continuación se listan las características principales que el mecanismo final debe tener, logrando así un dispositivo competitivo para el mercado actual, que cuente con las prestaciones de alta calidad que deseamos ofrecer como valor agregado:

- a. Monitoreo y gestión de eventos de forma remota utilizando captura de imágenes usando el concepto de TimeLapse.
- b. Imágenes en alta definición (3840x2196 Pixeles) para visualización de detalles a grandes distancias del evento monitoreado.

- c. Sistema mecánico para la orientación de la cámara en dos ejes de libertad, Pan (giro sobre eje vertical) y Tilt (giro sobre eje horizontal).
- d. Circuito de control para el intervalómetro que permita su manipulación en tiempo real de forma remota.
- e. Procesador con módulo WiFi integrado para la comunicación servidor-cliente e integración del intervalómetro al sistema.
- f. Protocolo de comunicación servidor-cliente que optimice el proceso de TimeLapse del evento monitoreado.
- g. Aplicación mediante protocolo HTTP para la gestión de los datos (imágenes) almacenados en la memoria.
- h. Punto de acceso de internet (servidor) para realizar la gestión inalámbrica del dispositivo mecatrónico.
- i. Interfaz gráfica para computador y dispositivos móviles, para la comunicación servidor-cliente, permitiendo la gestión de datos y la manipulación del dispositivo Pan-Tilt de forma remota.
- j. Integración de sistemas mediante aplicativo web embebido en la interfaz.

3.1.2. MODELO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA

Definidos los requerimientos del sistema se procede a construir el modelo estructural del sistema, enumerando los componentes necesarios y el objetivo de los mismos:

- a. Sistema mecatrónico para la manipulación de la cámara en dos ejes de libertad (horizontal y vertical). La construcción de este sistema requerirá de los siguientes componentes:
 - i. Base de sujeción de la cámara.
 - ii. Dos motores eléctricos (servomotores) para la manipulación de sus dos grados de libertad.

- iii. Mecanismos de transmisión (poleas) y control (circuitos) para la manipulación de los motores.
- b. Sistema electrónico para el control de la gestión de datos entre servidor-cliente y la manipulación del dispositivo de orientación. Esto supone de los siguientes componentes:
 - i. Procesador para el manejo de la recepción y envío de datos.
 - ii. Módulo WiFi integrable al procesador para la gestión en forma remota.
 - iii. Intervalómetro, para la selección de los periodos de toma de fotos.
 - iv. Circuito de supervisión para los motores del sistema mecatrónico.
- c. Punto de acceso de internet para la gestión inalámbrica del dispositivo final, lo cual es realizable de dos maneras, según el volumen de la información:
 - i. Servidor.
 - ii. Router.
- d. Computador o dispositivo móvil, para el uso de la interfaz gráfica que permita la manipulación y seguimiento de forma remota de todo el sistema.

Definidas las especificaciones del sistema que se quiere desarrollar para la solución efectiva del problema planteado, se debe realizar un diseño conceptual, basado en la realimentación obtenida a partir de la investigación sobre el estado del arte del tema del proyecto y las alternativas comerciales disponibles para el público, teniendo en cuenta los valores agregados que se quiere añadir a este nicho de la industria.

3.2. QFD

Por sus siglas en inglés, Quality Function Design, es un proceso que toma en cuenta las especificaciones de diseño de producto y el objetivo a lograr con el

sistema que se va a desarrollar, siempre en miras de la satisfacción de los requerimientos del cliente.

Este proceso cuenta con herramientas de diseño que permiten identificar e evaluar las importancias relativas y absolutas de cada aspecto del diseño propuesto para así llegar a una alternativa de solución efectiva. Estas herramientas se enumeran y desarrollan a continuación.

3.2.1. LLUVIA DE IDEAS

Conociendo las especificaciones deseadas y el objetivo a lograr se procede a la lluvia de ideas donde el equipo de trabajo identifica los aspectos relevantes para la solución del problema planteado, de lo cual se obtuvo:

1. Portabilidad.
2. Presupuesto.
3. Mecanismo de orientación Pan-Tilt.
4. Interfaz usuario máquina.
5. Capacidad de almacenamiento.
6. Realimentación en tiempo real.
7. Materiales.
8. Procesador.
9. Integración de intervalómetro y módulo WiFi.
10. Calidad de las imágenes.
11. Operación en forma remota.

3.2.2. DIAGRAMA DE AFINIDAD

Se usa para organizar la lluvia de ideas realizada para el diseño y desarrollo de un sistema mecatrónico para el monitoreo de eventos de forma remota, a través de la web.

Realizando este diagrama, el que se observa en la tabla 2, se define a que parte del desarrollo del proyecto corresponde cada uno de los aspectos identificados.

Tabla 2. Diagrama de afinidad.

Estética	Mecánica	Electrónica	Sistemas	Otros
1 7	3	8 9 10	4 5 6 11	2

3.2.3. CASA DE LA CALIDAD

Con esta herramienta se determinan las importancias absolutas y relativas de las especificaciones de diseño para el desarrollo de la solución, como se observa en la figura 1.

Toma en cuenta los requerimientos del cliente y los compara en relevancia contra los requerimientos de funcionalidad, permitiendo identificar la importancia relativa de cada una de las especificaciones deseadas por el cliente, para así priorizar los esfuerzos del diseño de la solución hacia aquellos aspectos que presenten una mayor relevancia para lo que el cliente desea como producto final.

Nótese que a la importancia relativa calculada de cada una de las especificaciones de diseño deseadas por el cliente se les llamara peso, y esta

3.2.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A partir de la casa de calidad se procede a proponer tres alternativas de solución que consideren los requerimientos identificados como más importantes a partir de sus pesos (importancias relativas).

Nótese que los siguientes componentes serán comunes a las tres alternativas de solución, ya que es la forma más efectiva de cumplir con las especificaciones deseadas por el cliente (PixLab):

- Punto de acceso a internet configurado a través de un router con un proveedor de servicios privado y un computador.
- Protocolo de comunicación UDP para la interacción servidor-cliente, lo que hace él envío de datos más veloz y eficiente al no necesitar encabezados ni confirmación de las tramas.
- Interfaz gráfica para computador para la gestión de datos y manipulación del dispositivo de orientación de la cámara.

Por esto las diferencias entre cada alternativa de solución se darán por la selección del dispositivo de orientación de dos grados de libertad, el tipo de cámara a utilizar, el diseño eléctrico para la gestión de la cámara y el dispositivo de orientación, la integración de los sistemas a la web y el tipo de realimentación para el usuario.

3.2.4.1 Alternativa de solución uno

La primera alternativa de solución propuesta tendrá los siguientes componentes, que cumplirán con las especificaciones del sistema ya definidas:

- Dispositivo de orientación de dos grados de libertad para la cámara, el cual tendrá los siguientes componentes:
 - 2 servomotores para el control de giro.
 - Sistemas de transmisión de potencia por polea y correderas.
 - Base de sujeción para la cámara en el dispositivo de orientación.
- Circuitos discretos tanto para el procesador, el intervalómetro, el módulo WiFi y la correspondiente integración de los mismos en una sola tarjeta.
- Cámara digital réflex de alta definición (16MP).
- Realimentación para el usuario a partir de la última fotografía tomada.

3.2.4.2 Alternativa de solución dos

Para la segunda alternativa propuesta, tendremos los siguientes componentes que cumplirán con los criterios de diseño previamente mencionados:

- Cámara PTZ HD con conectividad RS232. (Canon BU H46, de la tabla 1.)
- Circuitos discretos tanto para el procesador, el intervalómetro, el módulo RS232 y la correspondiente integración de los mismos en una sola tarjeta.
- Realimentación para el usuario a partir de video en tiempo real.

3.2.4.3 Alternativa de solución tres

Para la última de las tres alternativas de solución a proponer se tendrán los siguientes componentes para cumplir con los requisitos deseados por el cliente:

- Dispositivo de orientación de dos grados de libertad para la cámara, el cual será adaptado a partir del montaje de un hexacoptero dañado del cual se

puede reparar dicho montaje. Este posee una base para la sujeción de la cámara digital HD.

- Arduino UNO R3, el cual permitirá tener en una sola tarjeta de desarrollo las extensiones necesarias y la integración de los sistemas necesarios para la supervisión remota del dispositivo de monitoreo. Estos elementos son:
 - Microcontrolador ATmega328, cumpliendo las funciones del procesador necesario.
 - 14 puertos digitales (i/o), para la manipulación del intervalómetro.
 - Arduino WiFi Shield, permitiéndole a la tarjeta conectarse a internet, permitiendo la integración al sistema, y gestionar los datos de una tarjeta SD, la cual será usada para la gestión de las imágenes.
- Cámara digital réflex de alta definición (16MP).
- Realimentación para el usuario a partir de la última fotografía tomada.
- Realimentación en tiempo real para el usuario a través de una cámara web auxiliar.

3.2.5. MATRIZ DE SELECCIÓN

Con esta herramienta del QFD se identifica, a partir de la importancia relativa de cada especificación a satisfacer para el cliente (PixLab), cuál de las tres alternativas es la mejor solución al problema planteado, como se observa en la tabla 3.

Para esto se evalúan cada uno de los criterios de diseño respecto al valor objetivo que se quiere lograr en cada uno de los mismos (nótese que estos valores objetivo son subjetivos ya que se evalúan posibilidades de soluciones no construidas).

Así se identifica claramente que la mejor alternativa de solución al problema es la alternativa número tres, por lo que esta será la que determine el camino a seguir.

Tabla 3. Matriz de selección.

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Portabilidad	2.31%	80%	100%	90%
Mecanismo de orientación (pan-tilt)	3.08%	80%	100%	80%
Capacidad de almacenamiento	5.13%	50%	50%	100%
Interfaz usuario-maquina	4.81%	100%	50%	100%
Realimentación en tiempo real	19.24%	70%	50%	100%
Operación en forma remota	19.24%	100%	50%	100%
Calidad de las imágenes	19.24%	100%	100%	100%
Control del tiempo de intervalo de fotografías	7.7%	100%	50%	100%
Bajo Costo	19.24%	20%	10%	60%
TOTAL	100%	75.183%	54.614%	91.447%

Una vez seleccionada la mejor alternativa, se desarrolla un diagrama con el esquema de las conexiones y elementos necesarios, como se observa en la figura 2, donde se aprecia con mayor claridad los elementos de la alternativa de solución más efectiva obtenida a partir del proceso de diseño QFD, la cual fue la alternativa tres con un cumplimiento del 91.45% de las especificaciones de diseño deseadas por el cliente (PixLab).

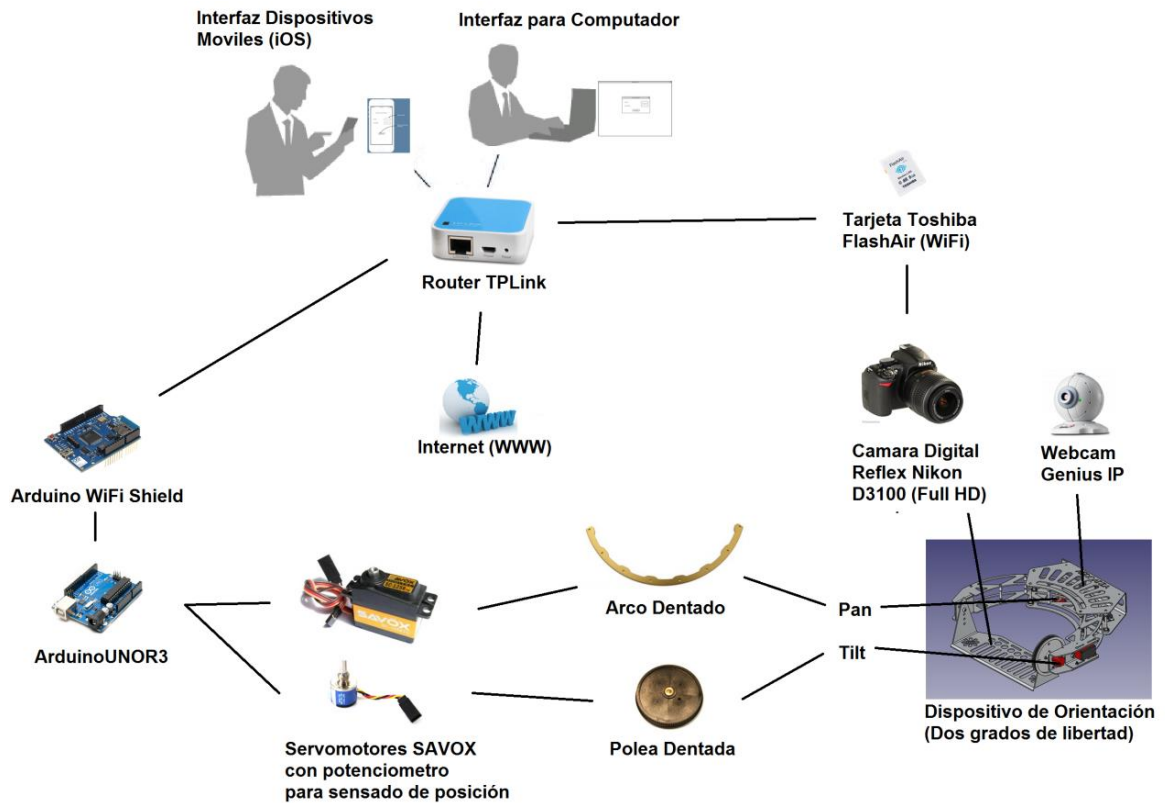


Figura 2. Esquema del sistema mecatrónico elegido a partir del QFD.

3.2.6. MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA

Procediendo con el diseño conceptual del sistema a desarrollar se procede a realizar los diagramas de casos de uso y el de actividades, los cuales servirán de guía para la estructura del software a implementar y el orden de las instrucciones de operación.

3.2.6.1 Diagrama de casos de uso

En la figura 3 se especifican las tareas que deben ser realizadas en el sistema mecatrónico que será desarrollado para la gestión y control de TimeLapse.

Este es el equivalente al diagrama de flujo para el sistema a desarrollar, dando así claridad sobre las secuencias y pasos que debe seguir el software a desarrollar.

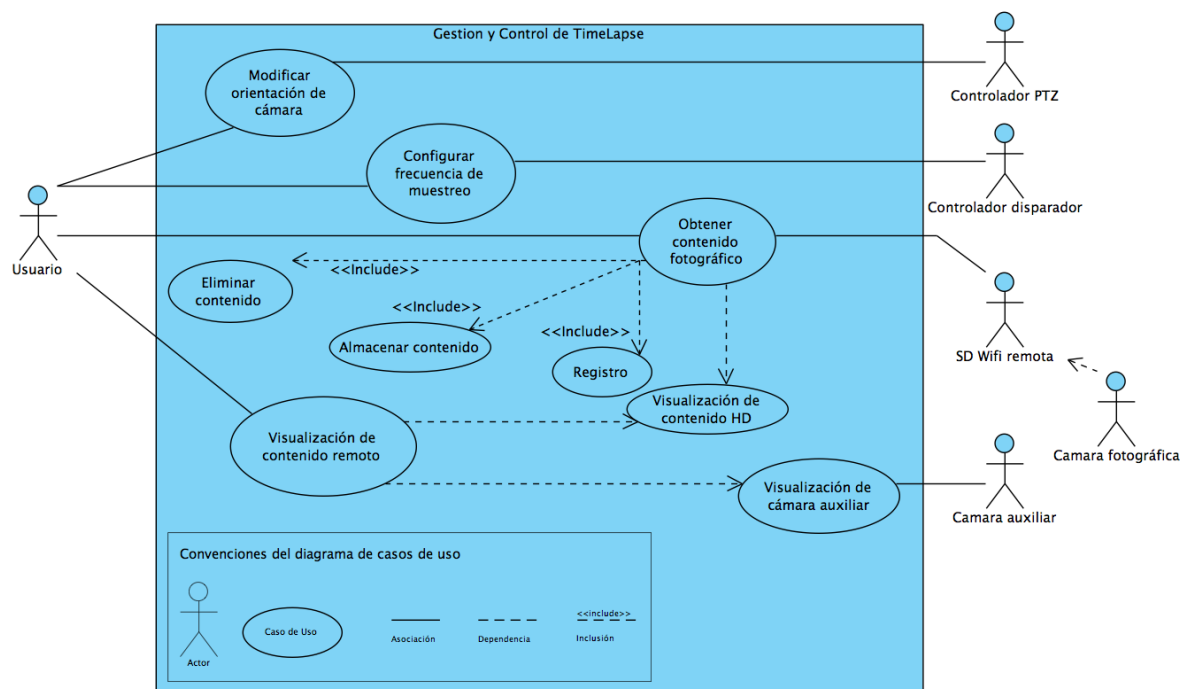


Figura 3. Diagrama de casos de uso para la gestión y monitoreo del sistema mecatrónico.

3.2.6.2 Diagrama de actividades

En la figura 4 se muestra el diagrama de actividades del software a implementar, en donde se observa, en concepto, cómo funcionan las interacciones interfaz-usuario y servidor-cliente para la gestión y monitoreo del sistema.

Este diagrama de actividades se realiza con la finalidad de identificar las clases y funciones necesarias para el óptimo funcionamiento del software, identificando así los pasos a seguir y las actividades de cada elemento de la red.

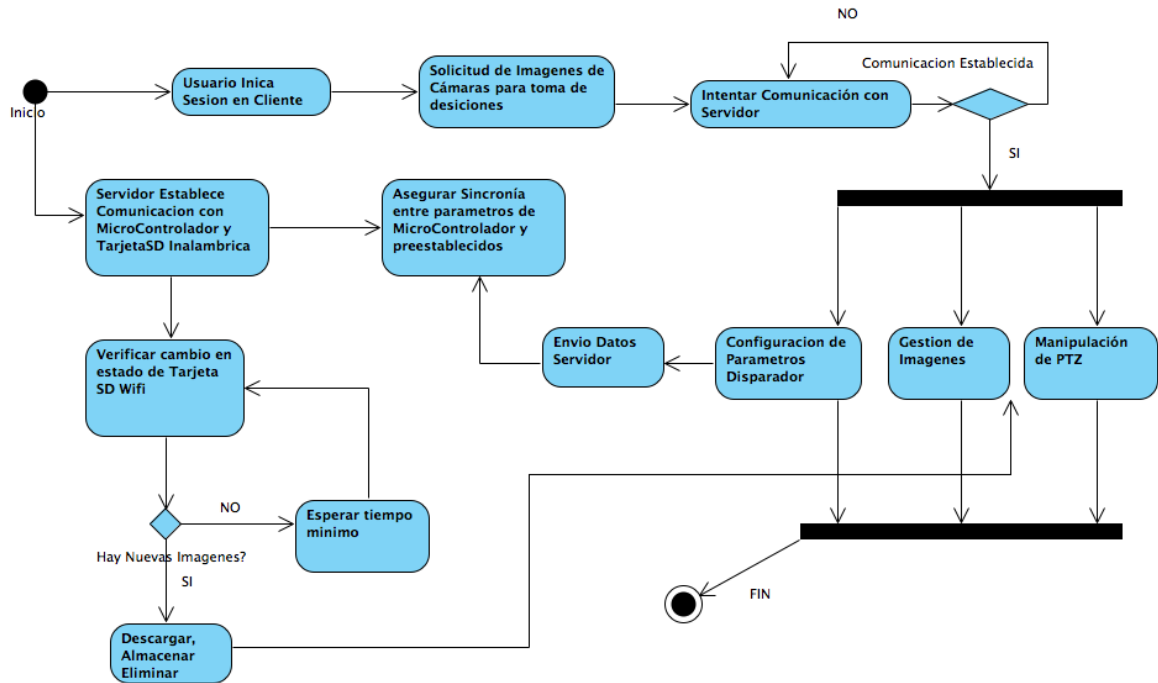


Figura 4. Diagrama de actividades para la gestión y monitoreo del sistema mecatrónico.

Una vez definida la estructura del software y la interacción entre los diferentes elementos incorporados al sistema mecatrónico, se procede el diseño detallado del proyecto, tanto en su parte mecánica como electrónica y la planeación de las actividades a realizar.

4. DISEÑO DETALLADO

Se describe el desarrollo del sistema, estructurado de la siguiente forma:

- Planeación del proyecto.
- Diseño Mecatrónico.
- Diseño de Software.

4.1. PLANEACIÓN DEL PROYECTO

El primer paso para el diseño detallado del proyecto es definir los tiempos y etapas de construcción del mismo, para lo cual se realizó el cronograma de tiempos que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Planeación del desarrollo del proyecto.

Actividad	Duración semanas															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Adquisición de materiales	■															
Diseño y construcción de circuito Intervalómetro			■	■												
Desarrollo e implementación de protocolo de comunicación a través de Internet					■	■	■									
Diseño y construcción de sistema Pan-Tilt								■	■	■						
Desarrollo de interfaz para Computador											■	■	■			
Desarrollo de aplicación de gestión de imágenes en tarjeta SD - Web													■	■	■	
Integración de los sistemas																■
Pruebas																■

4.2. DISEÑO MECÁNICO/ELÉCTRICO

Se procede al diseño mecánico y eléctrico del sistema, organizado de la siguiente manera:

- Componentes.
- Planos y funcionamiento del dispositivo.

4.2.1. COMPONENTES

Se realiza el listado de los componentes utilizados junto con una breve descripción de los mismos:

- Nikon D3100: Es la cámara que se adquirió para proveer gran calidad de imágenes (DSLR, Full HD, 16Mp), además al ser una cámara digital réflex permite la inclusión de la gestión de imágenes al sistema.
- Arduino UNOR3: Es la tarjeta de desarrollo, que mediante su microcontrolador permite el manejo y control del sistema de orientación Pan Tilt, el intervalómetro y la inclusión del módulo de expansión WiFi.
- Arduino WiFi Shield: Es el módulo de expansión WiFi del ArduinoUNO, que es el que permitirá la integración de todos los sistemas a la web para su gestión en forma remota.
- Dispositivo de orientación (Pan-Tilt): Se eligió la adquisición de un sistema ya construido para así asegurar la precisión en los movimientos y la confiabilidad del sistema. Adicionalmente al evaluar los costos de manufactura desde cero suponía de un gasto, si no igual, mayor al de adquirir el montaje del hexacoptero de segunda mano, por lo cual se eligió el marco del hexacoptero FOTOHIGHER, el cual se adapta a nuestras necesidades, como se observa en la figura 5, como la estructura del dispositivo de orientación Pan Tilt.

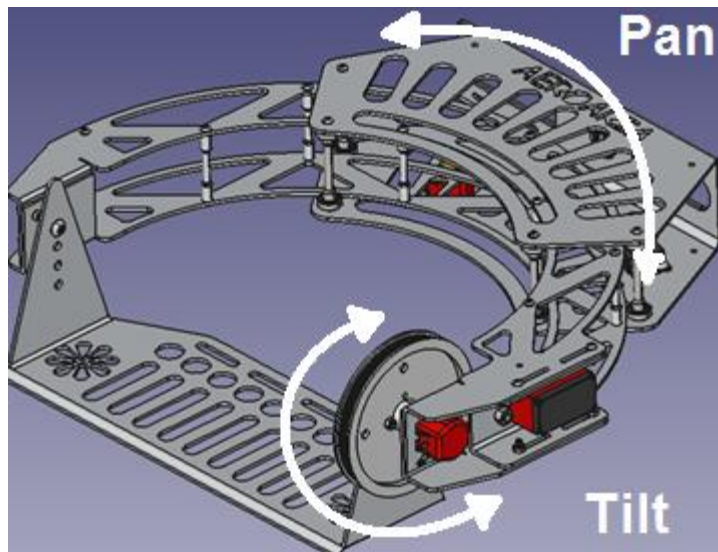


Figura 5. Dispositivo de orientación Pan-Tilt.

- Router TPLink Nano: Sirve de punto de acceso a internet para poder gestionar todo el dispositivo de forma remota a través de la web. En otras palabras será configurado como el servidor.
- Tarjeta SD WiFi de Toshiba: Se eligió este tipo de memoria para que sea incluida a la red del sistema como un elemento más, lo que permite la gestión de su información de forma remota, lo que finalmente será clave para la gestión de imágenes para el proceso de TimeLapse en tiempo real.
- Cámara web IP de baja resolución: Se incluye con la finalidad de eliminar el retardo en la realimentación al usuario, ya que el procesamiento de imágenes hace que la toma de decisiones a partir de la última foto sea muy impreciso, por lo que el uso de esta cámara web auxiliar permitirá al usuario la realimentación en tiempo real.

4.2.2. PLANOS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para la construcción del dispositivo de orientación se obtuvo un marco del hexacoptero FOTOHIGHER de segunda mano (disminuyendo costos), el cual

provee los dos grados de libertad necesarios para el movimiento de la cámara al tener el sistema de correderas y poleas dentadas para la transmisión de la potencia de los servos.

Las piezas encargadas de la transmisión de potencia serán las poleas y la corredera dentadas, asegurando su precisión y posición al no permitir deslizamiento, además de permitir así manejar cargas de peso de elementos agregados sin comprometer su suave funcionamiento.

Los servos serán los encargados de controlar el movimiento de Pan y Tilt de la cámara montada en la base, permitiendo así la orientación de la cámara.

Ahora, para asegurar la posición inicial y final de los servomotores se necesitan sensores de posición, que serán los que transformen el movimiento de los servos en una señal cuantificable por el microcontrolador permitiendo el control de los mismos. Estos sensores serán los potenciómetros de precisión de 5K.

En las figuras 6 y 7, se observan las fotografías del dispositivo de orientación, donde se aprecian sus sistemas de transmisión y la base de sujeción de las cámaras.

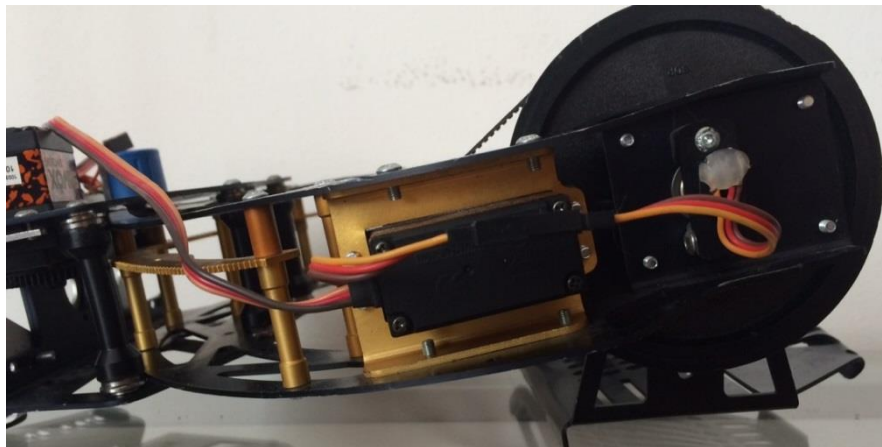


Figura 6. Fotografía lateral del montaje del dispositivo de orientación Pan-Tilt de la cámara.

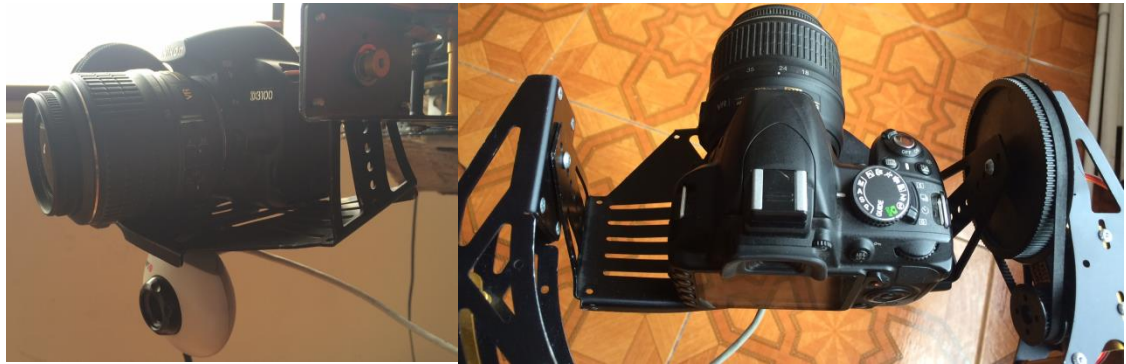


Figura 7. Fotografía frontal y superior del dispositivo de orientación Pan-Tilt con las cámaras montadas.

Ya teniendo definido el funcionamiento de los servos, la transmisión y los sistemas de control de posición, se procede a realizar el montaje de los mismos a la tarjeta de desarrollo, lo que permite identificar las conexiones necesarias para el montaje del sistema. Esta comunicación entre el dispositivo y la tarjeta de desarrollo se realiza mediante la conexión de los servos junto con sus sensores y las cámaras, como se observa en la figura 8.



Figura 8. Fotografía del dispositivo en funcionamiento.

El dispositivo final armado posee el volumen que se aprecia en la figura 9, donde se especifican las dimensiones finales del mismo.

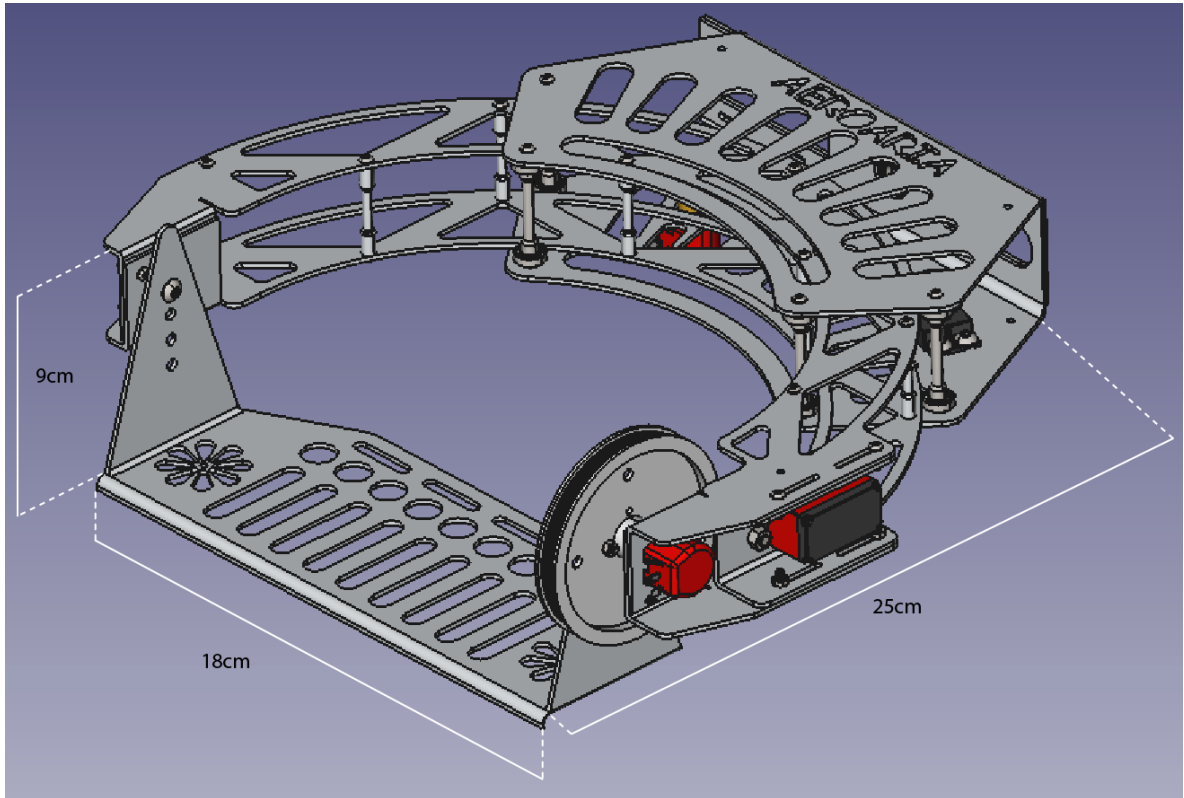


Figura 9. Dimensiones del dispositivo mecatrónico de orientación Pan-Tilt.

En la figura 10 se muestra el esquema de las conexiones del sistema a la tarjeta de desarrollo, este montaje muestra la integración de los siguientes sistemas del sistema mecatrónico desarrollado:

- a) Intervalómetro.
- b) Sensores del dispositivo de orientación (potenciómetros).
- c) Servomotores para Pan y Tilt del dispositivo de orientación.

- d) Arduino UNOR3.
- e) Arduino WiFi Shield.

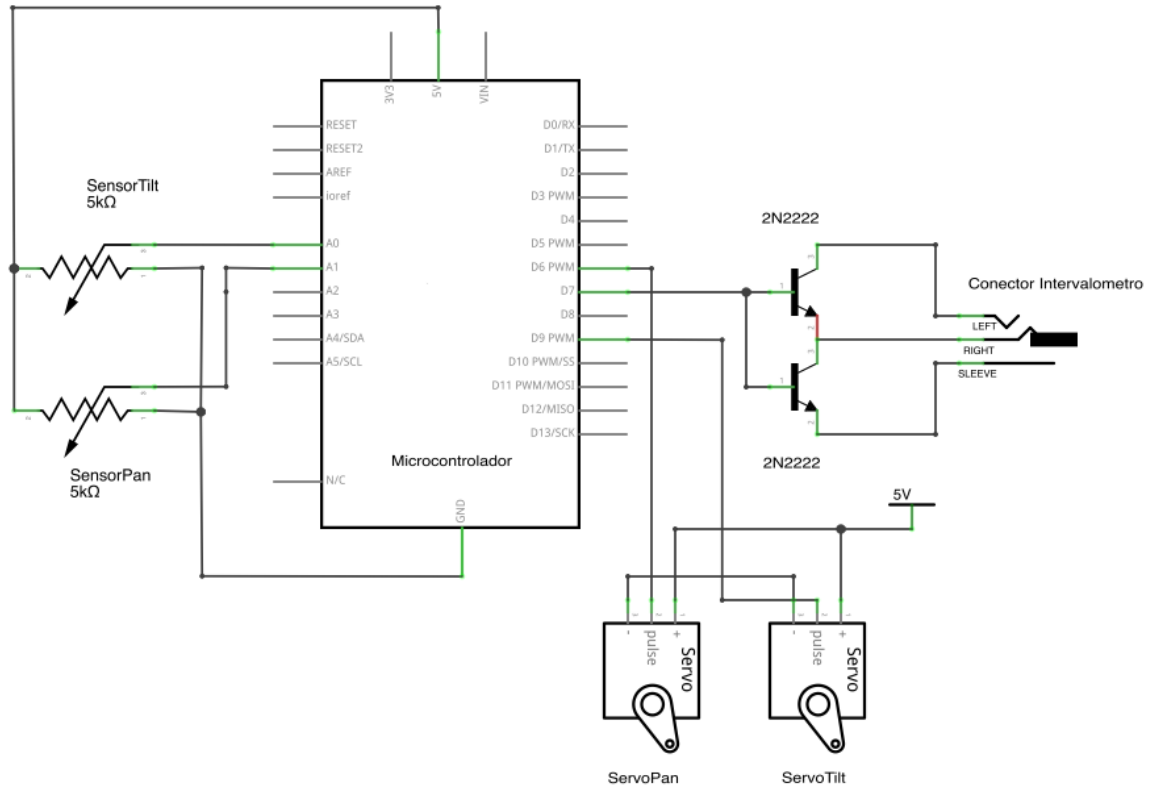


Figura 10. Esquema del circuito que integra todos los elementos del sistema mecatrónico.

Del esquema del circuito que integra el dispositivo de orientación con el microcontrolador del Arduino y su módulo WiFi, se realiza el modelo virtual del mismo, como se observa en la figura 11.

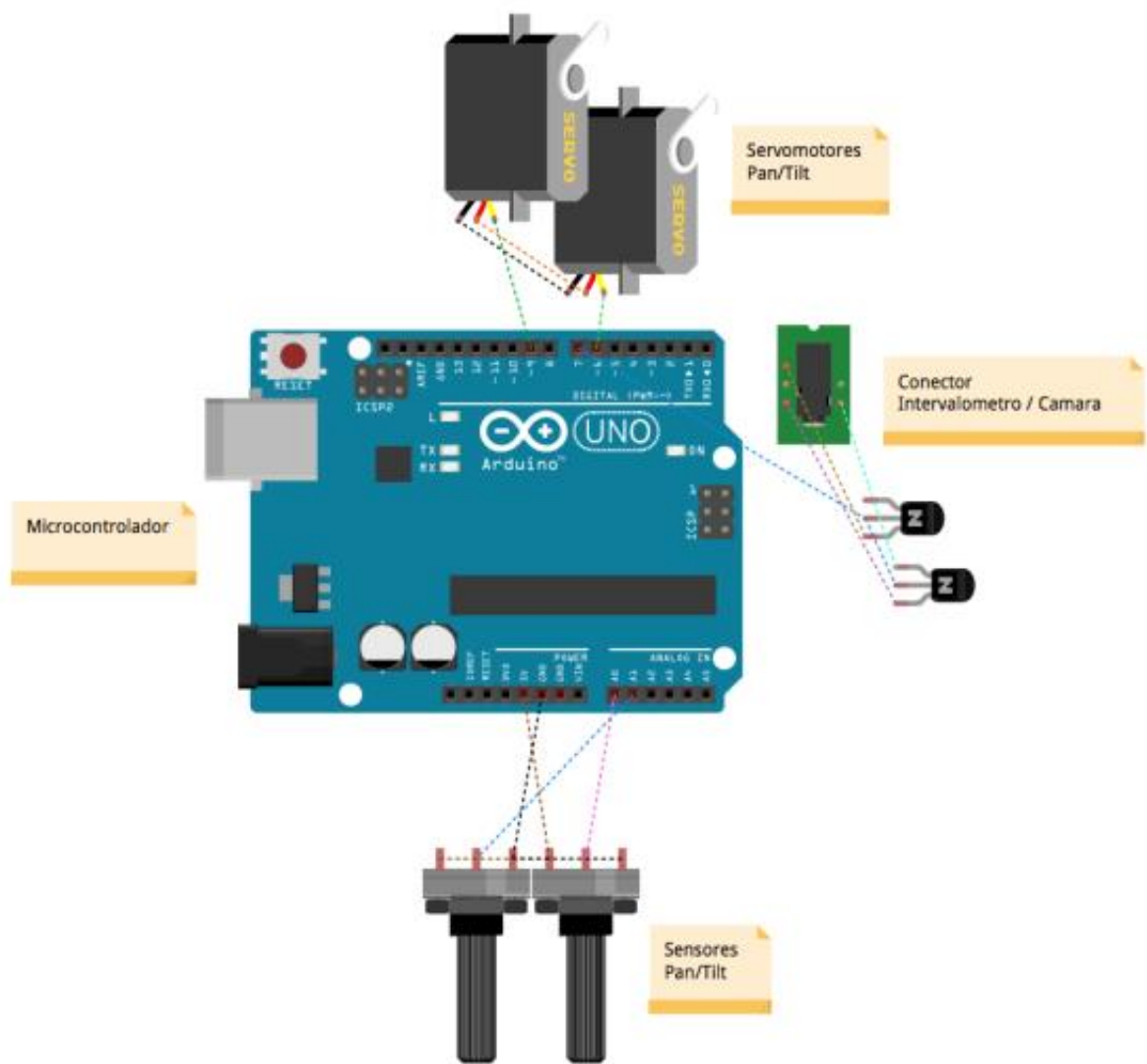


Figura 11. Vista en modelo virtual de la integración de los sistemas del dispositivo mecatrónico.

4.3. DISEÑO DE SOFTWARE

Se describe el diseño de la programación de los sistemas, estructurado de la siguiente forma:

- Programas.
- Diagrama de red.
- Diagrama de secuencias detallado.
- Diagramas de interacción cliente-servidor-Arduino.
- Interfaces gráficas usuario-máquina.

4.3.1. PROGRAMAS

Se listan los programas necesarios para la creación de las aplicaciones para la interfaz, la gestión de datos y la manipulación del dispositivo de orientación, junto con una breve descripción de los mismos:

- a) Xcode: Es la plataforma de desarrollo para aplicaciones de dispositivos móviles de Apple (iOS).
- b) Arduino IDE: Es la plataforma de desarrollo para el uso de la tarjeta ArduinoUNOR3 y la integración de todos los sistemas a la red mediante su módulo de expansión WiFi, el Arduino WiFi Shield.
- c) Eclipse IDE: Plataforma de desarrollo de Java, usada para la implementación de la interfaz gráfica para computador, permitiendo su uso sin importar el sistema operativo del mismo.
- d) PacketTracer: Es el programa para la creación de redes de Cisco Systems, el cual permite probar las conexiones de red de un sistema y la asignación de IPs de cada uno de los elementos de la misma.

4.3.2. DIAGRAMA DE RED

En la figura 12 se muestra el diagrama de la red del sistema, en donde se asignan las direcciones de red de cada uno de los elementos de la misma y las pruebas de funcionamiento correspondientes para la confiabilidad del sistema.

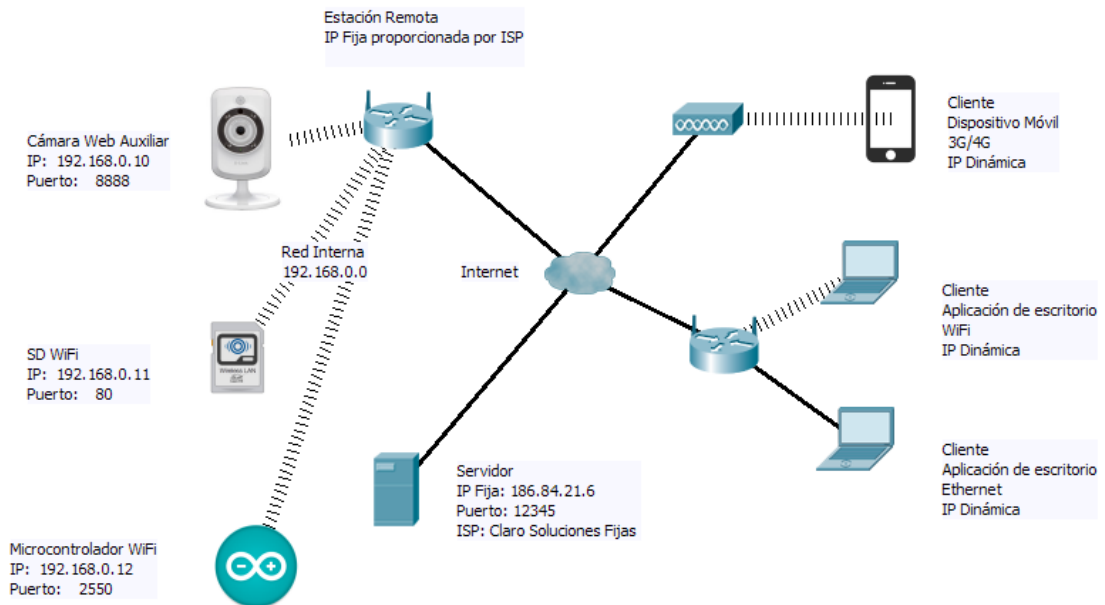


Figura 12. Diagrama de red final para el sistema desarrollado. Realizado con PacketTracer de Cisco.

4.3.3. DIAGRAMA DE SECUENCIAS DETALLADO

A partir del diagrama de secuencias del diseño conceptual y el diseño de la red, se procede a elaborar el diagrama de secuencias detallado, el cual aporta mayor claridad de los procesos y el orden de las instrucciones para el funcionamiento correcto del sistema, como se observa en la figura 13, donde se muestran las clases y funciones creadas para la programación del dispositivo desarrollado.

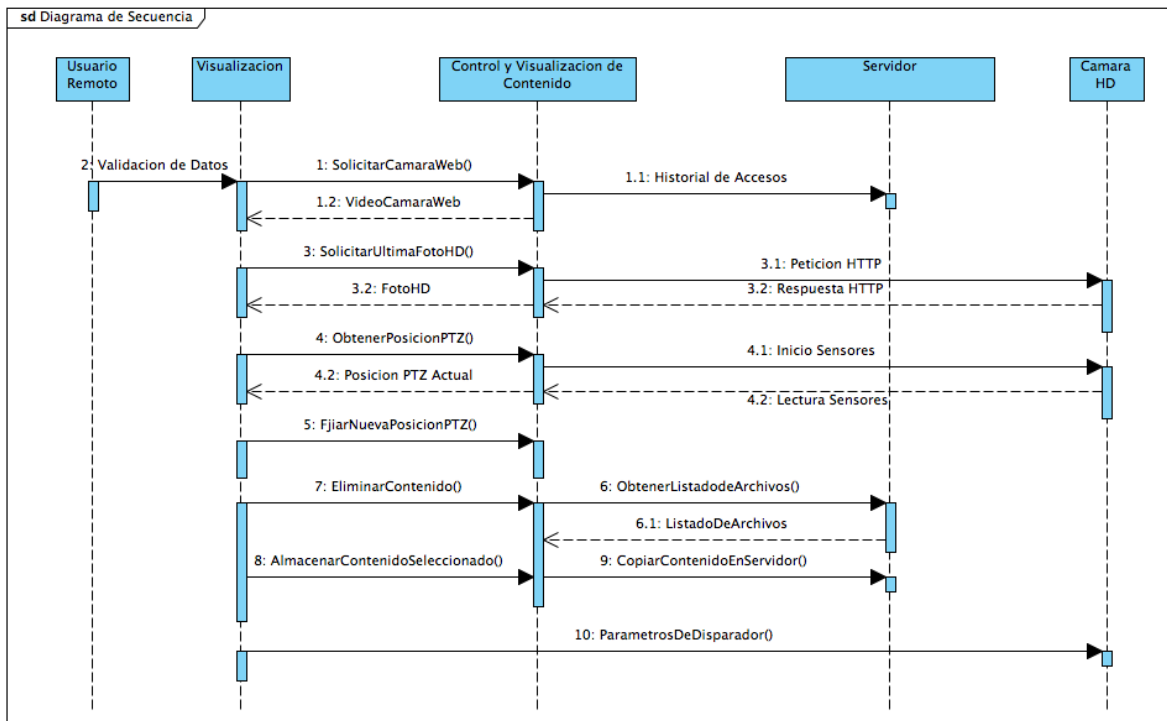


Figura 13. Diagrama de secuencias detallado del software para gestión y monitoreo del sistema.

4.3.4. DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN SERVIDOR-CLIENTE-MICROCONTROLADOR

El proyecto tiene cuatro actores en cuanto a la integración de los sistemas y el funcionamiento remoto del mismo a través de la web, los cuales son:

- Cliente.
- Servidor (Router TPLink).
- Microcontrolador con módulo WiFi (Arduino WiFi).
- Tarjeta de memoria WiFi (FlashAir de Toshiba).

Esta interacción entre estos actores es la que permite la integración de los sistemas para lograr cada una de las actividades propuestas para el sistema mecatrónico desarrollado, permitiéndole realizar los siguientes procesos claves:

a) Orientación de la cámara

Entran en acción el cliente, el servidor y el microcontrolador, como se observa en la figura 14, donde se muestran las secuencias y protocolos que debe seguir cada sistema para poder manipular en forma remota la orientación Pan-Tilt del dispositivo.

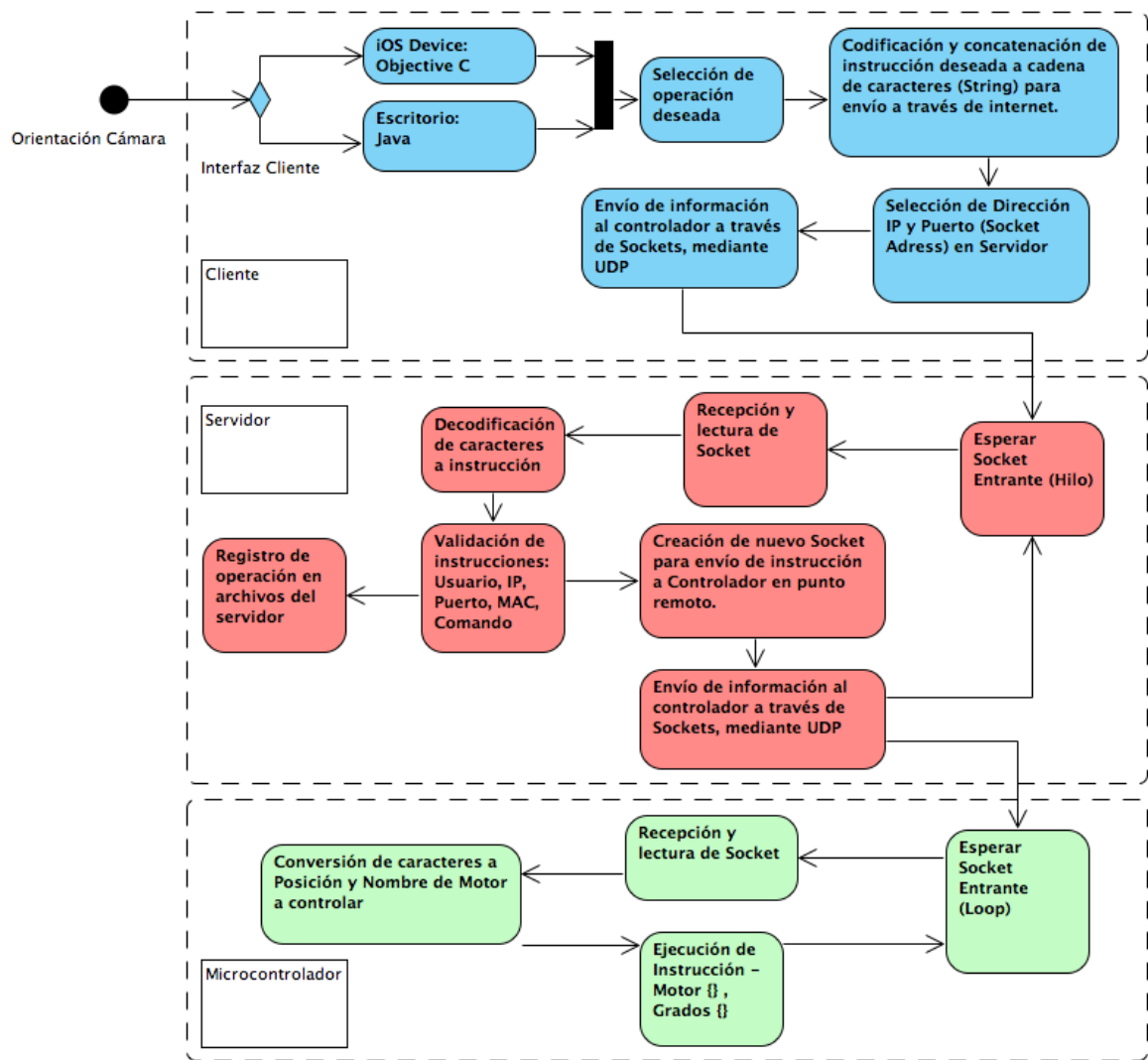


Figura 14. Diagrama de interacción entre sistemas para la orientación de la cámara.

b) Gestión de Imágenes

En la figura 15 se observa que para la gestión de las imágenes en forma remota con realimentación en tiempo real entran en acción el cliente, el servidor y la tarjeta de memoria WiFi, cada uno con sus secuencias de programa para el fin mencionado.

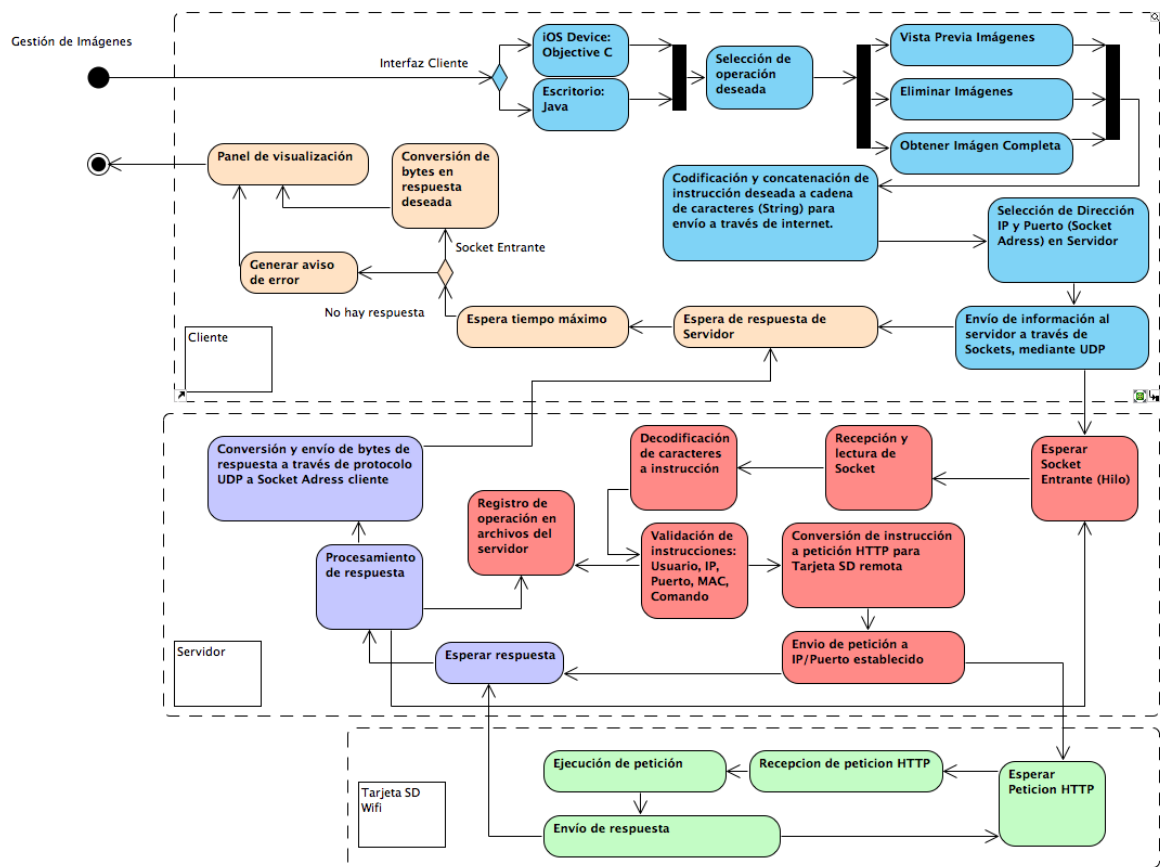


Figura 15. Diagrama de interacción entre sistemas para la gestión de imágenes.

c) Gestión del servidor

Finalmente, en la figura 16, se observan las secuencias de programa que deben seguir el servidor, el microcontrolador y la tarjeta de memoria WiFi para la gestión de la información almacenada en el servidor, que son el historial de acceso, la información de estado del mismo y las alertas para el usuario por e-mail cuando el sistema presente alguna falla, notificándole así de forma inmediata al cliente evitando tiempos o datos perdidos para el proceso de monitoreo.

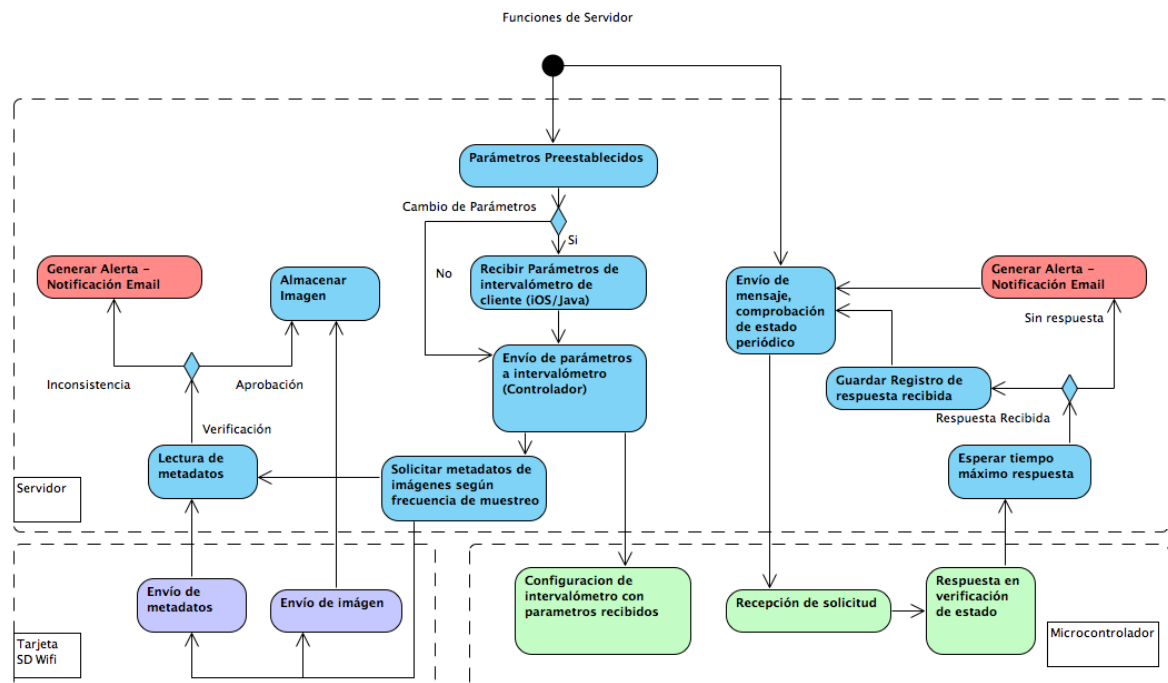


Figura 16. Diagrama de interacción entre sistemas para la gestión del servidor y sus funciones.

4.3.5. INTERFACES GRAFICAS USUARIO-MAQUINA

Definidas las estructuras y los pasos a seguir para la programación del dispositivo, se realizó el diseño e implementación de las interfaces gráficas para la

comunicación usuario-maquina en tiempo real. Para esto se divide este diseño en dos partes:

- Interfaz gráfica para computador.
- Interfaz gráfica para dispositivos móviles Apple.

4.3.5.1 Interfaz gráfica usuario-máquina para computador

Se realizaron las interfaces gráficas para PC con el uso de Eclipse IDE, con la finalidad de poder usar la aplicación en cualquier sistema operativo ya que es un entorno de desarrollo para aplicaciones Java.

En la figura 17 observamos la interfaz para PC desarrollada en entorno Java para su uso en múltiples sistemas operativos.

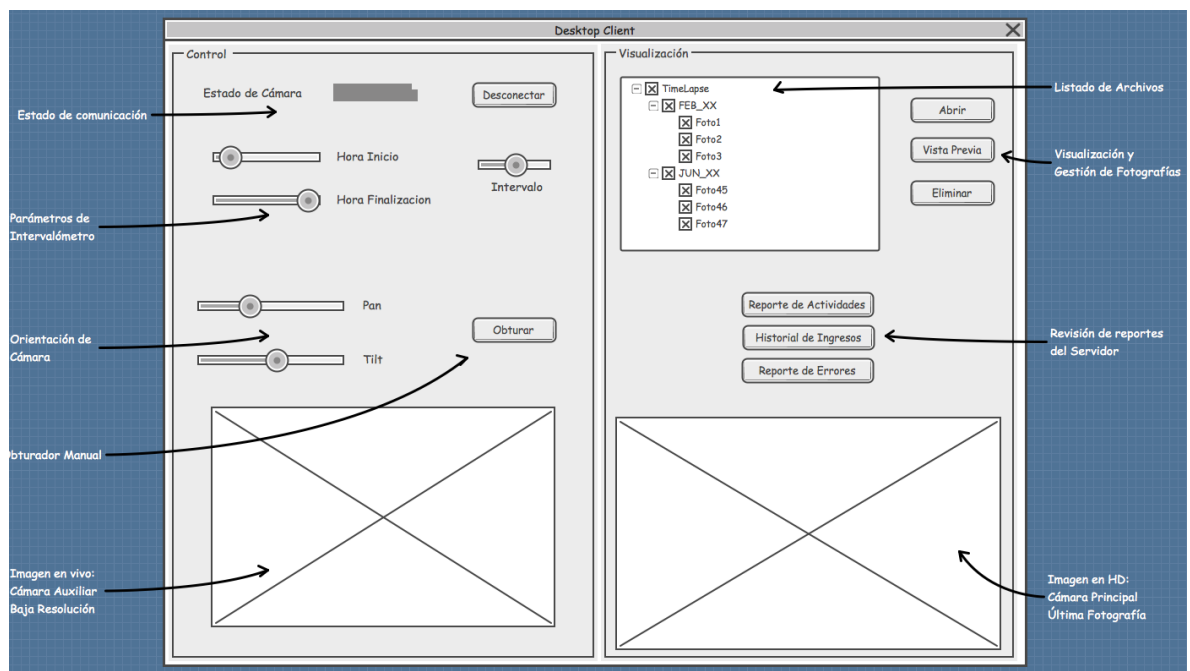


Figura 17. Interfaz gráfica usuario-máquina para PC para operación del sistema mecatrónico en forma remota.

De la interfaz desarrollada para computador, se observa que el usuario tiene a su disposición los siguientes parámetros del sistema mecatrónico para realizar el monitoreo del evento deseado por el cliente:

- Ingreso de usuario (pantalla previa al acceso a la interfaz):
 - Historial de uso del dispositivo.
- Estado de comunicación:
 - Conectar.
 - Desconectar.
- Parámetros del intervalómetro:
 - Hora inicio.
 - Hora finalización.
 - Intervalo.
- Parámetros de dispositivo de orientación:
 - Pan (movimiento rotacional en el eje vertical).
 - Tilt (movimiento rotacional en el eje horizontal).
- Obturador manual.
- Imagen en vivo de cámara web auxiliar:
 - Realimentación en tiempo real.
- Listado de archivos (imágenes):
 - Vista previa.
 - Gestión de archivos.
- Estado del servidor:
 - Reporte de actividades.
 - Historial de ingresos.
 - Reporte de errores.
- Ultima fotografía cámara principal (NikonD3100):
 - Visión de archivos en full HD.

4.3.5.2 Interfaz gráfica usuario-máquina para dispositivos móviles

Para el desarrollo de la aplicación para dispositivos móviles se usó Xcode, que es la plataforma de desarrollo para aplicaciones en iOS, el sistema operativo de los móviles Apple.

En la figura 18 se observan los comandos de operación de la primera pantalla del sistema mecatrónico de forma remota a través de dispositivos móviles Apple. Al usar el slider del teléfono se accede a la segunda pantalla, figura 19, donde se observan las vistas previas de las últimas imágenes tomadas en forma de mosaico y la última fotografía en full HD tomada por la cámara principal.

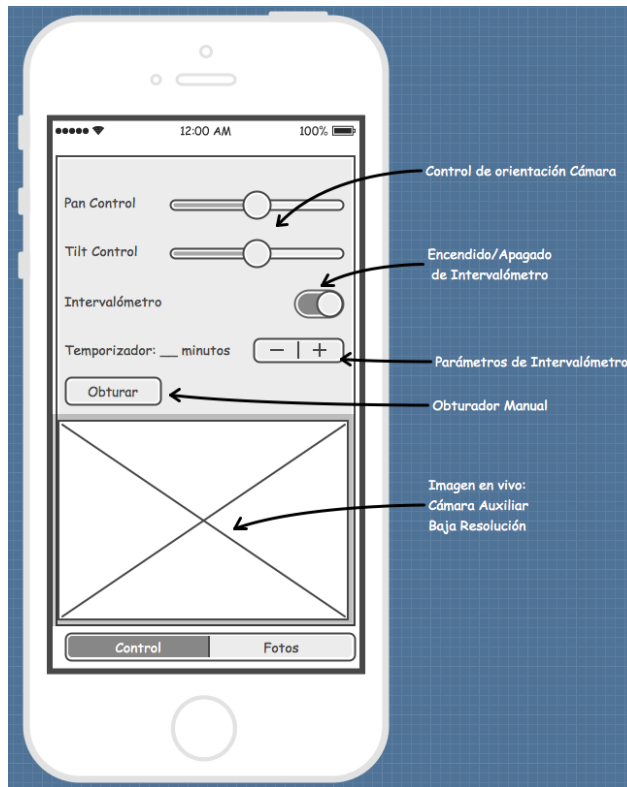


Figura 18. Primera pantalla de la interfaz gráfica para dispositivos móviles para operación del sistema mecatrónico en forma remota.

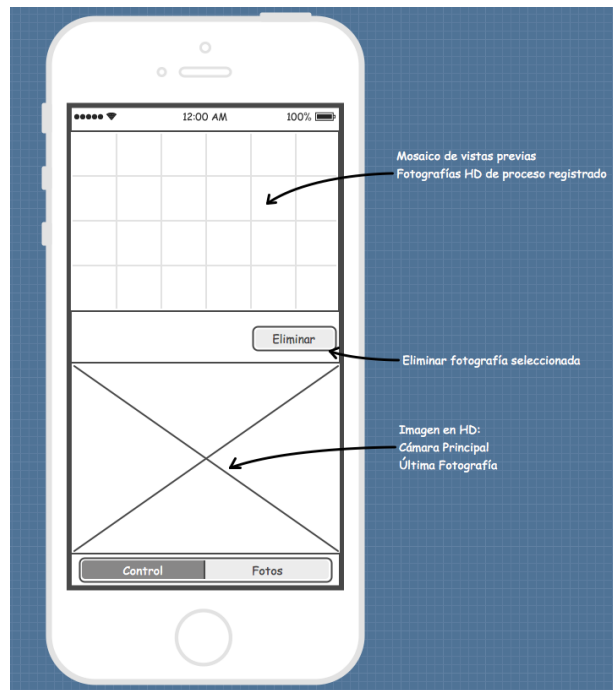


Figura 19. Segunda pantalla de la interfaz gráfica para dispositivos móviles para operación del sistema mecatrónico a través de la web.

Tomando los parámetros disponibles al usuario en las figuras 18 y 19, tenemos que el usuario en la interfaz para dispositivos móviles Apple tendrá a su disposición los siguientes parámetros del sistema mecatrónico:

- Ingreso de usuario(pantalla previa al acceso a la interfaz):
 - Historial de uso del dispositivo.
- Parámetros de dispositivo de orientación:
 - Pan (movimiento rotacional en el eje vertical).
 - Tilt (movimiento rotacional en el eje horizontal).
- Parámetros del intervalómetro:
 - Encendido/apagado.
 - Intervalo.

- Obturador manual.
- Imagen en vivo de cámara web auxiliar:
 - Realimentación en tiempo real.
- Mosaico de Imágenes:
 - Vista previa.
 - Gestión de archivos.
- Última fotografía cámara principal (NikonD3100):
 - Visión de archivos en full HD.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos con las pruebas de desempeño realizadas al sistema mecatrónico desarrollado, lo que consta de dos partes:

- Transmisión de datos.
- Comparación del sistema desarrollado con mercado actual.

5.1. TRANSMISIÓN DE DATOS

En esta parte se realizan las pruebas de funcionamiento de la gestión de datos por parte del servidor, su estabilidad y por ende la confiabilidad del sistema desarrollado

5.1.1. TIEMPOS DE ALMACENAMIENTO SEGÚN TAMAÑO DE IMAGEN

La primera prueba de desempeño realizada trata sobre el tiempo que tarda el servidor en guardar una imagen en su base de datos según el tamaño en Megabytes de la misma, como se observa en la tabla 5. Esta prueba se realizó a tres horas del día diferentes con la finalidad de observar si el tráfico de la red influye en la velocidad del sistema.

Tabla 5. Tiempos de almacenamiento de archivos en servidor según tamaño de la imagen.

Tamaño Imagen(MB)	Prueba 6:00 am Tiempo (ms)	Prueba 12:00 m Tiempo (ms)	Prueba 6:00 pm Tiempo (ms)
13.4	25261	24472	31001
6.6	10853	9661	12063
4.1	7645	6146	8909
3	3689	4620	5863

1.5	2085	2011	2966
1.3	1940	1870	1967
0.8	1242	1655	2430
0.7	1027	1016	2200
0.1	193	227	301
0.05	96	88	90

Con los datos de la tabla 5 se procede a realizar una gráfica que facilite el análisis de la información obtenida, como se observa en la figura 20. Nótese que el tiempo de almacenamiento se mide desde cuando el sistema toma la fotografía desde la interfaz hasta que el archivo es guardado en la base de datos del servidor.

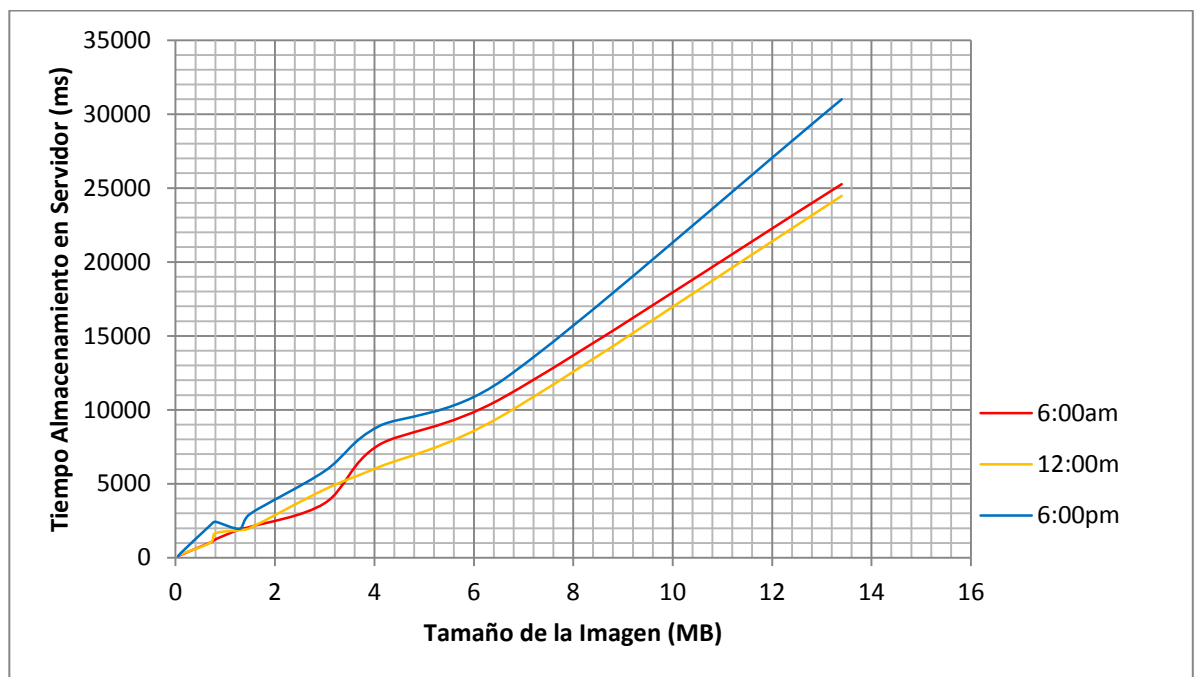


Figura 20. Grafica de tamaño de imagen vs. Tiempo de almacenamiento de la misma en el servidor.

Se observa que a mayor tamaño de imagen es mayor el tiempo de almacenamiento de la misma, casi en una relación exponencial, donde observamos que si las imágenes pesan menos de 3MB no tardaran más de 3

segundos en ser almacenadas, sin embargo, para una imagen full HD (13MB) supondría de un tiempo no menor a 30 segundos por lo que la realimentación en tiempo real a partir de la última fotografía sería un problema con tanto retardo, razón por la cual se incluyó en el diseño la cámara web auxiliar para la realimentación en tiempo real del sistema, anticipando este problema.

5.1.2. TIEMPOS DE VISUALIZACIÓN SEGÚN TAMAÑO DE IMAGEN

La segunda prueba de desempeño comprende el tiempo que tarda la interfaz en visualizar una imagen según el tamaño en Megabytes de la misma, como se observa en la tabla 6. Este tiempo de visualización se mide desde que el usuario realiza la petición de visualizar una imagen desde la base de datos del servidor hasta que la imagen es mostrada en la interfaz. Nótese que al igual que la prueba de almacenamiento se realiza a distintas horas para verificar la influencia del tráfico de red en el funcionamiento del sistema.

Tabla 6. Tiempos de visualización de archivos en interfaz según tamaño de la imagen.

Tamaño Imagen(MB)	Prueba 6:00 am Tiempo (ms)	Prueba 12:00 m Tiempo (ms)	Prueba 6:00 pm Tiempo (ms)
13.4	50570	49023	62001
6.6	12312	10236	17689
4.1	6084	8554	7045
3	7953	6248	6109
1.5	3611	2344	2768
1.3	2758	2923	3290
0.8	1774	1606	1737
0.7	1410	1494	1661
0.1	357	359	282
0.05	131	123	110

El fenómeno apreciado en el tiempo de almacenamiento de la imagen se hace más notorio en el tiempo que tarda la visualización de la misma en la interfaz, como se observa en la figura 21, en donde los tiempos duplican a los obtenidos para el almacenamiento, lo que refuerza aún más la inclusión de la cámara web auxiliar para la realimentación en tiempo real, ya que una imagen Full HD podría tardar casi 1 minuto en ser almacenada y visualizada, lo que supondría un retardo muy alto a la hora de desear re orientar el dispositivo de forma remota.

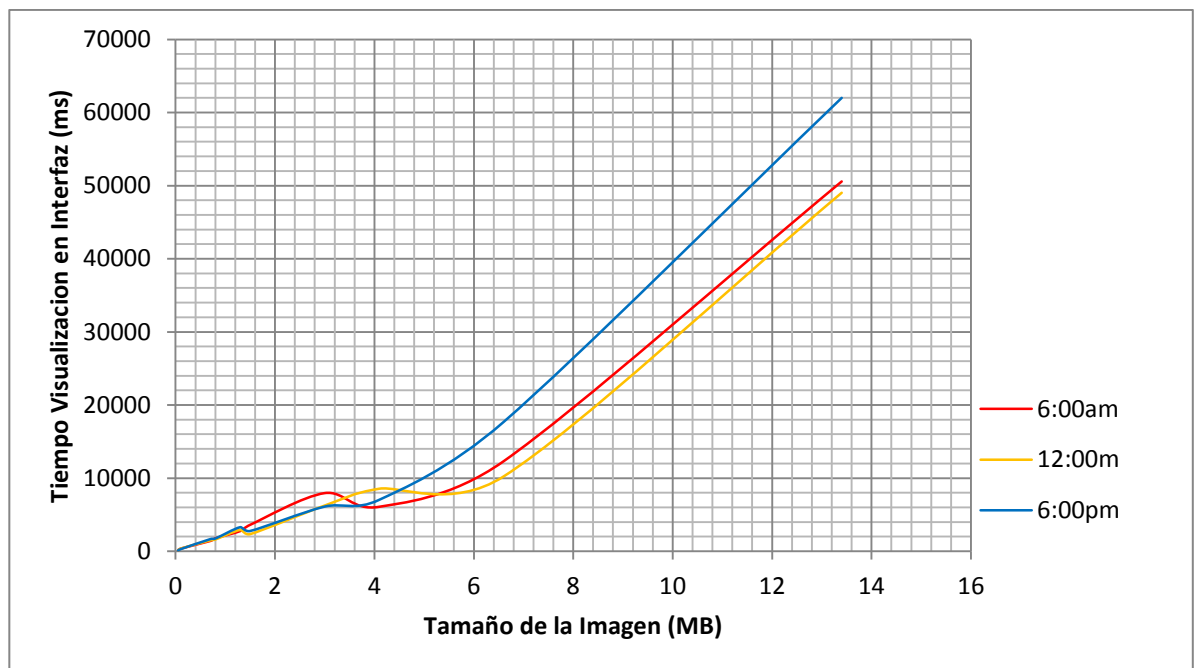


Figura 21. Grafica de tamaño de imagen vs. Tiempo de visualización de la misma en la interfaz.

5.1.3. ESTABILIDAD DEL SERVIDOR

Aquí enfocaremos nuestro análisis a la estabilidad del servidor y la velocidad de respuesta ante peticiones HTTP al mismo. Esto se realiza en dos partes:

- Mensajes enviados y recibidos por el servidor en distintos intervalos.
- Tiempos de respuesta del servidor a petición HTTP simple.

5.1.3.1 Mensajes enviados y recibidos por el servidor en distintos intervalos.

En esta parte se analiza la estabilidad del servidor en diversos intervalos de actualización de estado, como se observa en la tabla 7 a continuación.

Tabla 7. Mensajes enviados y recibidos por el servidor en diferentes intervalos.

Intervalo (ms)	Mensajes enviados	Mensajes recibidos
50	20	20
100	20	20
1000	20	19
10000	20	17

Nótese de la tabla 7 que los mensajes son enviados del servidor al intervalómetro, ya que la actualización de estado se debe realizar periódicamente para verificar que el usuario haya o no modificado los parámetros del mismo desde la interfaz.

Se observa de esta que el servidor en intervalos pequeños no pierde ninguno de los mensajes enviados, sin embargo en intervalos grandes se empieza a evidenciar pérdida de mensajes, por lo que este tipo de intervalos mayores a un segundo para el bucle de actualización del sistema no son recomendables ya que se puede perder la información dada por el usuario desde la interfaz.

5.1.3.2 Tiempos de respuesta del servidor a petición HTTP simple.

En esta parte se prueba la estabilidad del servidor analizando los tiempos de respuesta del mismo a peticiones HTTP simples, cuantificando cuánto tarda cada una de estas peticiones en ser ejecutada, como se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Tiempos de respuesta del servidor a peticiones HTTP simples.

# Prueba	Tiempo respuesta petición HTTP (ms)
1	22
2	20
3	23
4	27
5	24
6	27
7	23
8	19
9	22
10	21
	Promedio = 22.8ms

Estas peticiones HTTP las realiza el servidor a la tarjeta de memoria WiFi para permitir la gestión de imágenes de manera remota desde la interfaz.

Nótese que el punto de acceso a internet configurado con el router es bastante estable, a menos que ocurra una interrupción directamente con el proveedor de servicios particular (Claro), por lo que la inclusión en la interfaz del estado del servidor es de suma utilidad para el usuario para saber que su trabajo no se perderá por falta de conexión a la red o problemas ajenos al sistema desarrollado.

5.2. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DESARROLLADO CON EL MERCADO ACTUAL

En la tabla 9 se realiza una comparación de especificaciones entre el sistema mecatrónico desarrollado y las soluciones comerciales disponibles obtenidas de la investigación.

Tabla 9. Comparación de especificaciones del sistema mecatrónico desarrollado contra las soluciones disponibles en el mercado.

	TimeCam.tv [3]	Polaris Time [4]	Brinno [5]	PTZ Full HD	Sistema Mecatrónico
Resolución	0.3 MP	12 MP	1.3 MP	40 MP	16-40MP
Tiempo real	SI	NO	NO	SI	SI
Costo	USD 180 (sin cámara)	USD 3200 (sin cámara)	USD 400 (con cámara)	USD 20000 (Canon BU)	USD 1200 (NikonD3100)
Rango	1-100mts	1-2 mts	1-50mts	1-200mts	1-200mts
Pan-Tilt	PAN	PAN	PAN	SI	SI
Barrido	90° Pan	90° Pan	112° Pan	120° Pan y Tilt	78° Pan y 180°Tilt

Se observa claramente que el sistema desarrollado tiene una gran ventaja de precios respecto a los que ofrecen prestaciones similares, logrando así un producto competitivo y funcional para el mercado actual del caso de estudio de este artículo, cumpliendo con las especificaciones deseadas por el cliente (PixLab).

6. CONCLUSIONES

Con la adaptación del montaje del hexacoptero se logró un dispositivo de orientación capaz de manejar el peso de los elementos agregados, manteniendo un movimiento suave y confiable en sus dos grados de libertad, asegurando la posición de los movimientos Pan y Tilt.

El uso de la tarjeta de memoria Toshiba FlashAir permitió la gestión de las imágenes de la cámara de forma remota integrada a la interfaz desarrollada, sin retrasos considerables respecto a las peticiones HTTP con las cuales se realiza dicha gestión.

Con el uso de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO R3 y el Arduino WiFi Shield se logró integrar el control de los parámetros de la cámara a la gestión remota, a través de la web, mediante la interfaz (obturador manual, intervalómetro y posición servomotores).

El desarrollo de la interfaz en Java le permite al usuario usarla en cualquier computador sin importar su sistema operativo, permitiendo una mayor versatilidad ya que las soluciones ofrecidas son realizadas solo para Windows (lenguaje C).

El uso del protocolo UDP para la comunicación entre el servidor y el cliente permite una comunicación confiable y de mayor velocidad al no necesitar encabezados ni confirmaciones de sus tramas de datos para ser gestionadas. Adicionalmente el ingreso de usuario permite realizar el seguimiento al uso del sistema, aumentando la seguridad del mismo.

El tiempo que toma el sistema en almacenar y presentar una fotografía para visualización en la interfaz es considerablemente alto para usar la última imagen tomada como realimentación en tiempo real, por lo que el uso de la cámara web

auxiliar es de suma utilidad para el usuario y la realimentación para la orientación de la cámara.

La relación costo - resolución de las cámaras DSLR es considerablemente mejor a las cámaras PTZ existentes, por lo cual que el sistema permita el uso de este tipo de cámaras es de suma importancia para clientes que deseen una mayor resolución a un costo menor para sus trabajos de TimeLapse.

Perspectivas futuras del trabajo:

El sistema desarrollado permite varios avances a futuro, en términos del procesamiento de las imágenes para fines específicos de seguridad, ya sea para reconocimiento facial o seguimiento de insumos, por ejemplo. También permite procesos artísticos como la edición posterior del video para resaltar eventos específicos que se deseen visualizar en mayor detalle, ya que cuanto mayor resolución tiene una imagen más información se puede obtener y editar de la misma.

La interfaz permite mejoras a futuro, orientadas a facilitar el entendimiento de la misma para usuarios no familiarizados con terminología de Ingeniería, como lo son agregar un cuadro de texto para elegir el intervalo de la fotografías a voluntad y la aclaración de los movimientos Pan y Tilt de la cámara en un lenguaje más universal, como es nombrarlo rotación en eje horizontal y vertical.

Adicionalmente las alertas incluidas en la interfaz deben ser complementadas, ya que solo notificar al usuario por medio de un correo electrónico no asegura que el mismo se dé cuenta de las fallas en el sistema si lo está usando en ese momento.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dipesh G. Kamdar, Dr. C. H. Vithalani “A Novel Approach to Design and Implement Differential Time Lapse Video in Real Time Application”. PROCEEDINGS OF ICETECT. 2011. India.
- [2] Chong Ding, Bi Song, Akshay Morye, Jay A. Farrell, and Amit K. Roy-Chowdhury, “Collaborative Sensing in a Distributed PTZ Camera Network “. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 21, NO. 7, JULY 2012.
- [3] TimeCam.tv. Online Time Lapse and Construction Monitoring. Time Science. 2014. Disponible en <http://www.timecam.tv/home.aspx>. Recuperada en Enero de 2014.
- [4] Polaris Time. Time Lapse & Slider. Colombia. 2011. Disponible en http://polaristime.com/?page_id=45. Recuperada en Enero de 2014.
- [5] Brinno Incorporated. Brinno Solutions. Taiwan, USA. 2008. Disponible en <http://www.brinno.com/solution/index.html>. Recuperada en Enero de 2014.
- [6] Rich Pawlowicz. “Quantitative Visualization of Geophysical Flows Using Low-Cost Oblique Digital Time-Lapse Imaging”. IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 28, NO. 4, OCTOBER 2003.
- [7] Thang Ba Dinh, Nam Vo and Gerard Medioni. “High Resolution Face Sequences from A PTZ Network Camera”. Automatic Face & Gesture Recognition and Workshops (FG 2011), 2011 IEEE International Conference on 21-25 March 2011.
- [8] “A Mobile Phone-Enhanced Remote Surveillance System with Electric Power Appliance Control and Network Camera Homing” Autonomic and Autonomous

Systems, 2007. ICAS07. Third International Conference on 19-25 June 2007. Athens.

[9] Alexander B. Kulinchenko*, Eric O. Rogers, Yuliya Kopylova, Eddie Olsen, John Andrews, Patrick K. Simpson*, and Marc Jones. "Time-lapse photography system for remote Steller Sea Lion sites". Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International.

[10] Mingwei Li, Zhibo Li. "Design of Embedded Wireless Network Camera". Faculty of Electronic Information and Electrical Engineering. Dalian University of Technology. Dalian, China. 2011.

[11] Dipesh G. Kamdar, Dr. C. H. Vithalani "A Novel Approach to Design and Implement Differential Time Lapse Video in Real Time Application". PROCEEDINGS OF ICETECT. 2011. India.

[12] Dipesh G. Kamdar, Dr. C. H. Vithalani "A Novel Approach to Design and Implement Differential Time Lapse Video in Real Time Application". PROCEEDINGS OF ICETECT. 2011. India.

[13] Ultra HDTV. The #1 Ultra High definition Magazine. The Ultimate Guide to 4K and 8K Ultra HD. Hollywood, Ca. 2014. Disponible en <http://www.ultrahdtv.net/the-ultimate-guide-to-4k-and-8k-ultra-hd/>. Recuperado en Enero de 2014.

[14] Chong Ding, Bi Song, Akshay Morye, Jay A. Farrell, and Amit K. Roy-Chowdhury, "Collaborative Sensing in a Distributed PTZ Camera Network ". IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 21, NO. 7, JULY 2012.

[15] Alessandro Casavola, Member, IEEE, Maurizio Papini, and Giuseppe Franzè. "Supervision of Networked Dynamical Systems Under Coordination Constraints".

IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. 51, NO. 3, MARCH
2006.

[16] Postel, Jon. "User datagram protocol." Isi. 1980.