



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
SISTEMA DE SEGURIDAD POR VIDEOVIGILANCIA
AUTOMÁTICO DENTRO DE UN ÁREA EXTERNA
RESTRINGIDA, UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA
BÚSQUEDA, RECONOCIMIENTO, SEGUIMIENTO Y
NEUTRALIZACIÓN DE PERSONAS.**

**AUTOR: YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES
LUIS NOE ARIAS TOASA**

DIRECTOR: ING. DARÍO MENDOZA

LATACUNGA

2018



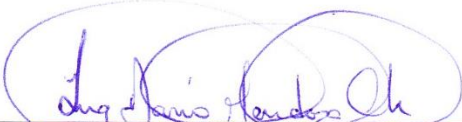
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE SEGURIDAD POR VIDEOVIGILANCIA AUTOMÁTICO DENTRO DE UN ÁREA EXTERNA RESTRINGIDA, UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA BÚSQUEDA, RECONOCIMIENTO, SEGUIMIENTO Y NEUTRALIZACIÓN DE PERSONAS.”** realizado por los señores **YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES, LUIS NOE ARIAS TOASA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES Y LUIS NOE ARIAS TOASA** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 29 de enero del 2018



ING. DARÍO MENDOZA
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES**, con cédula de identidad N°1804224283 y **LUIS NOE ARIAS TOASA**, con cédula de identidad N°1003539796 declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE SEGURIDAD POR VIDEOVIGILANCIA AUTOMÁTICO DENTRO DE UN ÁREA EXTERNA RESTRINGIDA, UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA BÚSQUEDA, RECONOCIMIENTO, SEGUIMIENTO Y NEUTRALIZACIÓN DE PERSONAS.”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Latacunga, 29 de enero del 2018



YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES

C.C.: 1804224283.



LUIS NOE ARIAS TOASA

C.C.: 1003539796.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES** y **LUIS NOE ARIAS TOASA**, autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS ESPE, publicar en la Biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE SEGURIDAD POR VIDEOVIGILANCIA AUTOMÁTICO DENTRO DE UN ÁREA EXTERNA RESTRINGIDA, UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA BÚSQUEDA, RECONOCIMIENTO, SEGUIMIENTO Y NEUTRALIZACIÓN DE PERSONAS.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva auditoría y responsabilidad.

Latacunga, 29 de enero del 2018



YORDI WLADIMIR FIGUEROA VINCES

C.C.: 1804224283



LUIS NOE ARIAS TOASA

C.C.: 1003539796

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedicó principalmente a Dios por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, darnos fuerzas para seguir adelante, y enfrentar las adversidades y los problemas que se presentan en la vida.

A mis padres Magdalena y Máximo, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mi hermano Anthony, por estar conmigo y apoyarme siempre, y que vea en mí un ejemplo a seguir.

A todos aquellos familiares y amigos que en algún momento supieron darme ánimos y también ayudarme económicamente para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi universidad que nos abrió sus puertas, ya que supo formarme como persona y como profesional, las oportunidades y momentos que me han brindado son incomparables.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Yordi

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, debido a que es quién supo guiarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

A mis abuelos Noe Arias y Rogelia Pozo que en todo el transcurso de la universidad han sido como mis padres que me han motivado en mi formación académica, creyendo en mi en todo momento, siendo un pilar fundamental en mi vida, que a través de sus consejos me han enseñado valores, principios, que día a día me hacen ser mejor persona.

A mis padres Luis Arias Y Elsa Toasa quienes a lo largo de mi vida me han apoyado, siendo los pilares fundamentales de mi formación académica y personal.

Luis

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios, por guiarme en el sendero correcto de la vida, cada día en el transcurso de mi camino e iluminándome en todo lo que realizo en mi convivir diario.

Gracias a mis padres Luis Arias Y Elsa Toasa que son mis mayores promotores durante este proceso.

A mis abuelos Noe Arias Y Rogelia Pozo porque creyeron en mi dándome ejemplos de superación y entrega.

A mi enamorada Lilia Chancusi porque siempre estuvo a mi lado ayudándome.

A mi familia, que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Luis

Agradezco a Dios, por guiarnos en el sendero correcto de la vida, cada día a lo largo de nuestro camino, a nuestro tutor Ing. Darío Mendoza, por guiarnos y por el tiempo prestado en el desarrollo del presente proyecto, a todos los profesores que nos formaron a través del conocimiento con la finalidad de formar excelentes profesionales, a mi querida carrera gracias por permitirme formar parte de este grupo de los cuales me llevó muy buenos momentos y experiencias, a mi padre ya que supo ayudarnos en la construcción del prototipo, finalmente agradezco a toda mi familia que me apoyó durante el transcurso de mi paso por la universidad.

Yordi

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Sistema de videovigilancia.....	4
1.5.1. Generalidades.....	4
1.5.2. Aplicaciones.....	5
1.5.3. Monitorización de espacios.....	5
1.6. Visión artificial.....	6
1.6.1. Generalidades.....	6

1.6.2.	Aplicaciones.....	6
1.6.3.	Procesamiento digital de imágenes	7
1.6.4.	Etapas del procesamiento digital de imágenes.....	8
1.6.5.	Captura	8
1.6.6.	Aprendizaje	8
1.6.7.	Detección	10
1.6.8.	Seguimiento	10
1.6.9.	Software a utilizar en el desarrollo	11
1.6.10.	OpenCV	11
1.7.	Hardware a utilizar en el desarrollo.....	12
1.7.1.	Motores	12
1.7.2.	Servomotores.....	12
1.7.3.	Sistemas embebidos.....	14
1.7.4.	RaspberryPi	15
1.7.5.	Lattepanda.....	15
1.7.6.	Arduino.....	16
1.7.7.	Marcadoras de paintball.....	16
1.7.8.	Cámaras	17
1.7.9.	Cámaras PTZ.....	18
1.7.10.	ZOOM óptico.....	19
1.7.11.	ZOOM digital.....	20

CAPÍTULO II

	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	21
2.1.	Selección del hardware	21
2.2.	Ordenador.....	21
2.2.1.	Alternativa 1. Raspberry Pi3 Modelo B Element I4	22
2.2.2.	Alternativa 2. Lattepanda (4GB/64GB)	22
2.2.3.	Alternativa 3. Portátil HP 2000-2d22DX.....	23
2.2.4.	Criterios de selección del ordenador.	24
2.2.5.	Selección de la mejor alternativa para el ordenador.....	24
2.3.	Microcontrolador	25
2.3.1.	Alternativa 1. Arduino uno.....	25

2.3.2.	Alternativa 2. Arduino Leonardo	26
2.3.3.	Alternativa 3. Arduino micro.....	27
2.3.4.	Criterios de selección del microcontrolador	27
2.3.5.	Selección de la mejor alternativa para el microcontrolador.....	28
2.4.	Cámara	28
2.4.1.	Alternativa 2: Hikvision PTZ DS-2DE4120I-D IP 1.3Mp HD 960P ..	29
2.4.2.	Alternativa 2: Cámara Domo IR DS-2AE4123TI-D 720P D-WDR.	29
2.4.3.	Criterios de selección de la cámara.....	30
2.4.4.	Selección de la mejor alternativa para la cámara	30
2.5.	Motores	31
2.5.1.	Alternativa 1: Servomotores.....	31
2.5.2.	Alternativa 2: Motor de pasos	32
2.5.3.	Selección de la mejor alternativa del motor.	33
2.6.	Marcadora.....	33
2.6.1.	Alternativa 1: Tippmann 98 Custom (paintball)	33
2.6.2.	Alternativa 2: Fusil Rifle Airsoft Ak 47 (airsoft).....	34
2.6.3.	Alternativa 3: marcadora elite hyperfire (nerf).....	34
2.6.4.	Criterios de selección de la marcadora.....	35
2.6.5.	Selección de la mejor alternativa para la cámara	35
2.7.	Fuente de voltaje.....	36
2.7.1.	Cálculo del amperaje	36
2.7.2.	Cálculo de voltaje	37
2.8.	Diseño mecánico.....	37
2.9.	Cálculos de torque para la selección de motores.....	38
2.10.	Análisis de engranajes y movimientos.	41
2.10.1.	Selección de engranajes movimiento PAN.....	42
2.10.2.	Selección de engranajes movimiento TILT	43
2.10.3.	Análisis de fuerzas en los engranajes.....	43
2.11.	Diseño de ejes	45
2.11.1.	Diseño del eje de movimiento TILT	45
2.11.2.	Cálculo del diámetro para el eje del movimiento TILT	47
2.11.3.	Diseño del eje de movimiento PAN	49
2.11.4.	Cálculo del diámetro para el eje del movimiento PAN	53
2.12.	Análisis estructural de partes en SolidWorks.	57

2.12.1.	Tensión máxima de Von Mises	57
2.12.2.	Factor de seguridad	57
2.12.3.	Eje del sistema PAN	58
2.12.4.	Eje del sistema TILT	59
2.12.5.	Análisis de brazos	60
2.12.6.	Bases hexagonales.	61
2.12.7.	Soportes de bases hexagonales.....	62
2.13.	Diseño de la placa electrónica.	63

CAPÍTULO III

	DESARROLLO DEL ALGORITMO	66
3.1.	Algoritmos de detección de personas	68
3.1.1.	Introducción	68
3.1.2.	AdaBoost y clasificador en cascada.	68
3.1.3.	LBP (Patrones locales Binarios)	72
3.1.4.	Implementación del algoritmo de detección en Qt	75
3.2.	Algoritmos de Seguimiento de personas.....	77
3.2.1.	KCF Kernelized Correlation Filters	78
3.2.2.	Implementación del algoritmo de seguimiento en Qt	79
3.3.	Instalación y configuración de la cámara	80
3.3.1.	Conexión de la cámara	80
3.3.2.	Configuración programa iVMS-4200 Client.....	81
3.4.	Configuración de la cámara con OpenCV	84
3.4.1.	Configuración del video en OpenCV y Qt.	84
3.4.2.	Control del ZOOM mediante CGI.....	85
3.4.3.	CGI (Common Gateway interface).....	85
3.4.4.	HTTP Hypertext Transfer Protocol.....	86
3.4.5.	Métodos de petición de HTTP.	87
3.4.6.	Implementación del comando CGI en Qt.....	87
3.5.	Control del Sistema PTZ para el seguimiento de personas.	89
3.5.1.	Cálculo de error de posicionamiento.	90
3.5.2.	Control de los servomotores	91

3.5.3.	Control de profundidad (ZOOM)	93
3.6.	Neutralización de personas.....	94

CAPÍTULO IV

	IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS	96
4.1.	Construcción e implementación mecánica.....	96
4.1.1.	Base inferior.....	96
4.1.2.	Mecanismo superior.....	97
4.2.	Implementación eléctrica y electrónica.	98
4.3.	Pruebas y resultados	99
4.4.	Área de detección útil de la cámara.....	100
4.4.1.	Caso 1: seguimiento hasta los 10 metros.....	102
4.4.2.	Caso 2: seguimiento hasta los 70 metros.....	103
4.5.	Evaluación del algoritmo de detención con la cámara	105
4.6.	Pruebas de seguimiento	110
4.6.1.	Seguimiento de personas con láser en el día	110
4.6.2.	Seguimiento de personas en la noche sin el láser.....	113
4.6.3.	Seguimiento de personas en la noche con láser	116
4.7.	Comprobación de la hipótesis de seguimiento.....	120
4.7.1.	Seguimiento de personas con láser en el día	120
4.7.2.	Seguimiento de personas en la noche sin el láser.....	122
4.7.3.	Seguimiento de personas en la noche con láser	124
4.8.	Pruebas con la marcadora (sistema de neutralización)	126
4.8.1.	Pruebas con el arma en el día y noche.....	126
4.8.2.	Comprobación de la hipótesis de neutralización de personas	128

CAPÍTULO V

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
5.1.	CONCLUSIONES	131
5.2.	RECOMENDACIONES.....	133
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

ANEXOS..... 142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Componentes para la videovigilancia	5
Figura 2	Etapas del procesamiento digital de imágenes.....	8
Figura 3	Cálculo de Haar sobre un rostro.	8
Figura 4	Cálculo de LBP.	9
Figura 5	Cálculo de HOG.....	10
Figura 6	a) Carcaza b) Sensor c) engranajes d) controlador e) motor DC.	13
Figura 7	Pines de un servomotor.....	13
Figura 8	Tarjeta RaspberryPi.....	15
Figura 9	Entradas y salidas Tarjeta Lattepanda (4GB/64GB).....	15
Figura 10	Tarjeta Lattepanda (4GB/64GB).....	16
Figura 11	Marcadora paintball.	17
Figura 12	PTZ de burbuja y esférica.....	18
Figura 13	Distancia focal.	19
Figura 14	zoom óptico 10x zoom digital 10x.....	20
Figura 15	Raspberry Pi3 Modelo B Element I4.....	22
Figura 16	Tarjeta Lattepanda.....	22
Figura 17	Portátil HP 2000-2d22DX.....	23
Figura 18	Arduino uno.	25
Figura 19	Arduino Leonardo.	26
Figura 20	Arduino micro.....	27
Figura 21	DS-2DE4120I-D I.....	29
Figura 22	DS-2AE4123TI-D.....	29
Figura 23	Servomotor.	32
Figura 24	Motor de pasos.	32
Figura 25	Tippmann 98 Custom.....	33
Figura 26	Fusil Rifle Airsoft Ak 47.....	34
Figura 27	marcadora elite hyperfire (nerf).....	34
Figura 28	Diagrama de torque en los brazos.	40
Figura 29	Ángulo de visión con ZOOM óptico.....	41
Figura 30	Disminución de área (acercamiento ZOOM).....	41
Figura 31	Diagrama de fuerzas en engranajes rectos.	43

Figura 32	Componentes de fuerzas en el plano X-Y Z-Y.....	45
Figura 33	Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano Y-Z	46
Figura 34	Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Z. ...	47
Figura 35	Componentes de fuerzas en los planos X-Y Z-Y	49
Figura 36	Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Y	50
Figura 37	Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Y	51
Figura 38	Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano Z-Y	52
Figura 39	Von Mises eje PAN.....	58
Figura 40	Factor de seguridad eje PAN.....	58
Figura 41	Von Mises eje TILT.....	59
Figura 42	Factor de seguridad eje TILT.....	59
Figura 43	Von Mises de los brazos.....	60
Figura 44	Factor de seguridad de brazos.	60
Figura 45	Von Mises de base hexagonal.....	61
Figura 46	Factor de seguridad base hexagonal.....	61
Figura 47	Von Mises soportes hexagonales.	62
Figura 48	Factor de seguridad de soportes hexagonales.	62
Figura 49	Circuito de control.....	64
Figura 50	PCB del circuito de control.....	65
Figura 51	Diagrama de flujo del algoritmo.	67
Figura 52	Descripción de una casca atencional.....	69
Figura 53	Comparativa de métodos de detección de personas.....	71
Figura 54	Detección de personas usando LBP.....	71
Figura 55	Detección de personas usando LBP (nocturna).	72
Figura 56	Vecindario de un píxel central (5).	72
Figura 57	Imagen inicial e imagen Final LBP.....	73
Figura 58	Vector de características LBP.....	74
Figura 59	Vecindarios circulares.....	74
Figura 60	LBP frente a diferentes escalas de grises.....	75
Figura 61	Detección de personas en el día.	76
Figura 62	Detección de personas en la noche.....	77
Figura 63	Pruebas del KCF con algoritmos de última generación.	78
Figura 64	Conexiones de red.....	80
Figura 65	Propiedades red ethernet	81

Figura 66	Protocolo de internet.....	81
Figura 67	Device management.....	82
Figura 68	Conexiones la cámara	82
Figura 69	Configuración cámara dentro programa.	83
Figura 70	Conexión de la cámara	83
Figura 71	Funcionamiento de la cámara.....	84
Figura 72	sistema de conexión, protocolo RTSP	84
Figura 73	Funcionamiento de comandos CGI.	86
Figura 74	Programación de método PUT.	89
Figura 75	Programación de método GET	89
Figura 76	Dimensiones de la imagen.....	89
Figura 77	Movimiento de una persona enfocada en la imagen.....	90
Figura 78	Centro de una persona y de la imagen.....	91
Figura 79	Cálculo del error.	91
Figura 80	Cuadrantes de la imagen.....	92
Figura 81	Sistema PAN TILT	93
Figura 82	a) Detección. b) No detección cerca. c) No detección lejos.....	94
Figura 83	Botones para activar la marcadora.	95
Figura 84	Partes de la construcción del mecanismo.....	96
Figura 85	Base.....	97
Figura 86	a) y b) Mecanizado de brazos c) acoples motores	97
Figura 87	Perforaciones y roscados	97
Figura 88	Ensamble superior.	98
Figura 89	Camuflaje militar del prototipo	98
Figura 90	Fuente y tablero de control	99
Figura 91	Implementación de la cámara, láser y mecanismo de disparo ..	99
Figura 92	a) mecanismo total b) cámara c) mecanismo de movimiento ..	100
Figura 93	PAN y TILT del mecanismo de movimiento	101
Figura 94	Grados de libertad en el movimiento PAN del sistema	102
Figura 95	Ángulo de visión total en un rango de (3.5 a 10) m	102
Figura 96	seguimiento hasta los 10 metros	103
Figura 97	Ángulo de visión total a los 70 metros	103
Figura 98	seguimiento hasta los 70 metros	104
Figura 99	área de neutralización.....	104

Figura 100	a) detección en el día b) detección en la noche.....	105
Figura 101	a) Personas en el día b) Personas en la noche.	108
Figura 102	seguimiento con láser en el día según la profundidad.....	111
Figura 103	Seguimiento vs efectividad con el láser en el día	113
Figura 104	Seguimiento en la noche sin el láser	114
Figura 105	Seguimiento vs de efectividad en la noche sin el láser.....	116
Figura 106	Seguimiento de personas en la noche con láser.	117
Figura 107	Seguimiento vs efectividad en la noche con el láser.....	119
Figura 108	Seguimiento de personas vs Porcentaje de efectividad.....	120
Figura 109	pruebas de disparo en el día y noche.....	126
Figura 110	Rango de disparo vs Porcentaje de efectividad.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Escala de ponderación.....	21
Tabla 2.	Valoración de las alternativas de ordenador	24
Tabla 3	Valoración de las alternativas del microcontrolador.....	28
Tabla 4.	Valoración de las alternativas de la cámara.....	30
Tabla 5	Valoración de los motores.....	33
Tabla 6	Valoración de alternativas de la marcadora.....	35
Tabla 7.	Especificaciones fuente	37
Tabla 8	Elementos que mueve el sistema PAN y TILT.....	38
Tabla 9	Características del servomotor.	40
Tabla 10	Relación de movimientos.....	42
Tabla 11	Características del piñón y corona del movimiento PAN.....	42
Tabla 12	Características del piñón y corona del movimiento TILT.....	43
Tabla 13	Comparación de esfuerzos total y compresión	54
Tabla 14	Representación visual del proceso AdaBoost.....	69
Tabla 15	Datos pruebas detección de personas.....	70
Tabla 16	ZOOM óptico y ángulo de visión	101
Tabla 17	Detección de personas en el día y noche.....	105
Tabla 18	Cantidad de personas detectadas.....	108
Tabla 19	Seguimiento según la profundidad con láser en el día	111
Tabla 20	Seguimiento según la profundidad en la noche sin el láser.....	114
Tabla 21	Seguimiento según la profundidad en la noche con el láser.....	117
Tabla 22	Resumen de los 3 casos críticos de seguimiento	119
Tabla 23	Seguimiento de personas en el día con el láser.....	121
Tabla 24	chi cuadrado	121
Tabla 25	Chi- cuadrado de seguimiento en la noche sin el láser.....	122
Tabla 26	chi cuadrado	123
Tabla 27	Chi- cuadrado del seguimiento en la noche con el láser.....	124
Tabla 28	chi cuadrado	125
Tabla 29	Prueba de disparo con el arma en día y en la noche.....	126
Tabla 30	Chi- cuadrado de la neutralización de personas.....	129
Tabla 31	chi cuadrado	129

RESUMEN

Este trabajo utiliza la visión artificial y la videovigilancia para el desarrollo de un algoritmo de detección, reconocimiento, seguimiento y neutralización de personas utilizando las librerías de OpenCV con una interfaz gráfica desarrollada en Qt, implementado en un sistema mecánico el cual permite realizar el seguimiento de la persona, como también permite la utilización del sistema de neutralización a través de una marcadora de paintball. Las capturas de las imágenes o videos son realizadas por una cámara de seguridad IP, la cual permite que el algoritmo sea robusto las 24 horas del día, es decir el programa tiene la capacidad de funcionar en el día y en la noche a diferentes condiciones de luz, hasta una distancia efectiva de 70 metros, controlado por el zoom de la cámara IP a través de los comandos CGI Interfaz de entrada común (Common Gateway interface). El procesamiento digital de imágenes en su parte de detección utiliza clasificadores de cascada ya entrenados con el descriptor LBP (Local Binary Patterns). Posteriormente se utiliza un algoritmo de seguimiento de la persona detectada utilizando los filtros de correlación kernelizados KCF (Kernelized Correlation Filters). El sistema mecánico cuenta con dos sistemas de dos movimientos PAN (movimiento en x) y TILT (movimiento en y), que permite que la persona coincida con el centro de la imagen. El sistema es robusto a diferentes condiciones ambientales dentro de un área restringida

PALABRAS CLAVE:

- **VIDEOVIGILANCIA**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **DETECCIÓN DE PERSONAS**
- **OPENCV**

ABSTRACT

This work uses artificial vision and video surveillance for the development of an algorithm for detection, recognition, tracking and neutralization of people using OpenCV libraries with a graphical interface developed in Qt, also has a mechanical system which allows tracking of the person, as also allows the use of the neutralization system through a paintball gun. The captures of the images or videos are made by an IP security camera, which allows the algorithm to be robust 24 hours a day, that is, the program has the ability to operate in the day and at night under different conditions of light, up to an effective distance of 70 meters controlled by the zoom of the IP camera through the CGI commands Common input interface (Common Gateway interface). Digital image processing in its detection part uses already trained cascade classifiers with the LBP (Local Binary Patterns) descriptor. Subsequently, a tracking algorithm of the person detected is used using the kernelized correlation filters KCF (Kernelized Correlation Filters). The mechanical system has two systems of two movements PAN (movement in x) and TILT (movement in y), which allows the person to coincide with the center of the image. The system is robust to different environmental conditions within a restricted area.

KEYWORDS:

- **SURVEILLANCE**
- **ARTIFICIAL VISION**
- **DETECTION PEOPLE**
- **OPENCV**

CAPÍTULO I

1.FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Antecedentes.

Los sistemas de videovigilancia fueron originados en el año de 1942 utilizados por la compañía Siemens AG para ver el despliegue de cohetes v2 en Alemania (Asistet, s.f.), en donde se le denominaba “circuito cerrado de televisión”, gracias a que se podía ver y analizar lo que sucede en cierto entorno.

La videovigilancia es utilizada para vigilar el tráfico de drogas, delincuencia, control de accidentes, búsqueda de personas desaparecidas y monitorear a los vehículos en peajes, calles, avenidas etc. La tecnología de la videovigilancia es también mal utilizada para cometer fraudes bancarios a través del espionaje de claves utilizando cámaras clandestinas.

En nuestros tiempos, los sistemas de videovigilancia han ido avanzado conjuntamente con la visión artificial gracias a que esta herramienta, ayuda al fortalecimiento, robustez y rapidez en la toma de decisiones (Carro, Sanchez, & Aguiar, 2013), a través de una programación determinada donde se analiza imágenes en tiempo real, proporcionando información del momento. Estos factores van en función del tiempo y del ambiente, así el sistema puede actuar de una manera automática sin supervisión humana.

1.2. Justificación.

Existen proyectos de videovigilancia que tienen la funcionalidad de grabar video, tomar fotografías y administrar alertas en ciertas áreas establecidas, las empresas de seguridad requieren de personal para observar y determinar si hubo personas dentro de un área restringida, al no utilizar la visión artificial, estos sistemas de seguridad funcionan mediante la activación de sensores

para la grabación de video, los cuales en algunas ocasiones son activados por factores no predecibles como animales o condiciones ambientales.

El Ecu911, el sistema de videovigilancia para el Ecuador, tiene alrededor de más de 2450 cámaras. Cada vigilante tiene 3 pantallas en su escritorio. Previamente coordinan las áreas a supervisar, a la vez, en la parte frontal de la sala hay 45 pantallas gigantes simultáneas que sirven para localizar los sitios. En la sala de vigilancia, otro grupo de vigilantes monitorea las cámaras ubicadas en 2 provincias en tiempo real, atento a cualquier accidente o evento que ocurra (El Universo, 2015).

La videovigilancia en el ECU911 se realiza mediante la observación, para la supervisión total durante todas las horas de un día. Además, se requiere de llamadas de usuarios que indican al ECU911 el suceso que ocurre en el instante. Lo cual puede ser un problema debido al gran conjunto de cámaras, con lo cual el tiempo de alerta no es inmediato.

Este proyecto pretende utilizar la visión artificial para el reconocimiento, seguimiento y neutralización de personas, mediante el tratamiento digital de imágenes es posible realizar un sistema de seguridad autónoma que detecte a las personas, además de seguir el comportamiento del ser humano dentro del área restringida gracias al sistema móvil de dos ejes (PAN-TILT) y de profundidad(ZOOM).

1.3. Descripción resumida del proyecto.

El proyecto de investigación de videovigilancia consta de sistemas mecánicos, electrónicos y de software, que, mediante la referencia obtenida por el algoritmo de visión artificial, permita generar señales de control que muevan un sistema mecánico de seguimiento y neutralización de personas.

La parte de software es la encargada de buscar personas dentro de una zona limitada, para su posterior análisis de reconocimiento y seguimiento de personas.

La parte mecánica es la encargada de mover el mecanismo de la cámara y el dispositivo de neutralización, a través de 2 motores para un movimiento en dos ejes.

En la parte electrónica se utiliza un computador con microcontrolador, los cuales tienen salidas y entradas digitales para el funcionamiento de los motores y sensores (cámara), el computador es requerido para el procesamiento digital del video o fotos utilizando OpenCV. El sistema de videovigilancia tiene un área de supervisión con una longitud de 70 metros como máximo, además tiene características adicionales como: estar activo las todas las horas del día, es decir funcionamiento en el mañana, tarde y noche, lo cual lo hace robusto ante diferentes condiciones de luz de ambiente, además tiene la capacidad de poder neutralizar a la persona detectada, como aplicación adicional del mecanismo de videovigilancia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar e implementar un prototipo de sistema de seguridad por video vigilancia automático dentro de un área externa restringida, utilizando visión artificial para la búsqueda, reconocimiento, seguimiento y neutralización de personas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de la videovigilancia, tratamiento digital de imágenes, y búsqueda de elementos necesarios para realizar el proyecto.
- Diseñar un algoritmo que permita el reconocimiento de personas y seguimiento de personas (TRACKING).
- Diseñar un mecanismo para el movimiento del sistema de video vigilancia.
- Comprobar el funcionamiento de programa con el sistema de video vigilancia.
- Calibrar y ajustar el sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento que validen el proyecto

1.5. Sistema de videovigilancia

1.5.1. Generalidades

Los sistemas de videovigilancia controlan diferentes ambientes y actividades, donde los elementos involucrados están interconectados, están compuestos por cámaras enlazadas a dispositivos DVR u ordenadores. Los DVR de videovigilancia están ubicados en sitios determinados, los cuales tienen la capacidad de controlar las características de las cámaras. Los mismos pueden incluir visión nocturna, procesos asistidos por computador, detención de movimiento, seguimiento de personas, lo que los hace más efectivas y confiables (Accesor Applications and Services S.A, n.d.).

La videovigilancia es externa e interna. Por lo general la videovigilancia interna utiliza los CCTV (circuito cerrado de televisión), estos equipos son utilizados en empresas, que cuentan con guardias de seguridad, esto quiere decir que el video o las fotografías obtenidas por las cámaras de videovigilancia son almacenadas internamente sin tener contacto con los sitios externos. La videovigilancia IP o externa (Internet Protocol), puede acceder, controlar, y visualizar de forma inalámbrica, es decir remota, desde cualquier sitio utilizando el internet sin supervisión manual o personal. La videovigilancia es importante para cualquier tipo de institución, ya que permite observar el comportamiento de trabajadores, como también para el control de inventarios.

Componentes básicos de videovigilancia

- **Cámaras.** Son sensores o dispositivos que capturan imágenes o videos.
- **Medios de trasmisión.** Son los controladores o dispositivos que permiten administrar todos los componentes involucrados, tanto en software como en hardware como por ejemplo DVRs, computadores.
- **Dispositivo de almacenamiento.** Son elementos complementarios que almacenan registros de fotos y videos en disco duros, memorias etc.
- **Elementos adicionales.** Son dispositivos que ayudan al mejor control y visualización de la videovigilancia como por ejemplo joysticks, monitores etc.



Figura 1 Componentes para la videovigilancia

Fuente: (Cruz, 2016)

1.5.2. Aplicaciones

La videovigilancia está presente en la vida diaria, mediante múltiples aplicaciones en diferentes áreas:

- **Seguridad militar:** Control de territorios restringidos, auxilio de personas.
- **Vigilancia en ciudades:** Búsqueda para personas desaparecidas, protección de turistas, comprobación de delitos a través de las cámaras que se encuentran en parques, calles, aeropuertos.
- **Transporte:** Robo de carros, protección de cargas, localización e identificación de choques, control exceso de velocidad, control de infracciones de tránsito.
- **Vigilancia en instituciones privadas:** Control de personal, inventario y bodegas.
- **Actividades bancarias y financieras:** Supervisión de oficinas, cajeros automáticos, identificación de rostros, ojos. (Trc, n.d.)

1.5.3. Monitorización de espacios

La monitorización de espacios es la supervisión o inspección de diferentes espacios, lugares públicos o privados mediante la coordinación de varios mecanismos y personal, se logra controlar situaciones no comunes que generen una situación de riesgo, esto se realiza con la aplicación de la videovigilancia y sus componentes básicos, que través de un grupo de

cámaras interconectadas a un DVR o un computador, controla los diferentes espacios, mediante el sistema de comunicación IP para el control desde internet (uso externo) o un CCTV (uso interno).

1.6. Visión artificial

1.6.1. Generalidades

La visión artificial es una parte de la IA “Inteligencia Artificial”, que tiene como fin la extracción de información y de datos del mundo real o físico a través de imágenes digitales, utilizando un computador que dispone de métodos para procesar, analizar y comprender la información extraída. La visión artificial utiliza a la imagen como una representación de una realidad mediante la extracción de datos sobre la saturación, colores, brillo en una imagen (Velez F, 2003, p. 19).

El procesamiento digital de imágenes está relacionado con la visión artificial, la finalidad que tienen ambos es filtrar y modificar la imagen, mediante el filtrado de fallas, mejoras en las propiedades de coloración, saturación, brillo, cambio de capas de color a niveles de grises. La visión artificial extrae las características de la imagen para que puedan ser interpretadas por un computador como detección de figuras geométricas o colores, o detección de patrones como por ejemplo números y letras del abecedario. (Sucar & Gómez, s.f.).

1.6.2. Aplicaciones

Debido que la visión artificial intenta asemejarse al ojo humano, esta tiene múltiples aplicaciones en diferentes áreas:

- **Robótica industrial:** Utilizado para transportadores móviles y autónomos para el reconocimiento de pistas y objetos.
- **Visión en la manufactura:** Inspección e identificación de piezas fabricadas, control de calidad, inspección de productos alimenticios.
- **Cosmetología:** Control calidad, análisis de arrugas en sujetos a prueba.

- **Medicina:** Análisis de patologías en (biología, patología, oftalmología, toxicología, hematología, genética, cardiología).
- **Interpretación de patrones:** Conversión de códigos alfanuméricos en imágenes a texto digital, interpretación de escrituras.
- **Seguridad:** Reconocimiento y búsqueda de rasgos faciales, placas vehiculares, seguimiento y detección de personas.
- **Astronomía:** Procesamiento de imágenes tomadas en satélites y telescopios.
- **Ciencias de la tierra:** Control de calidad de sembríos y cosechas, geología y estudios de la tierra (ADCIS, 2016).

1.6.3. Procesamiento digital de imágenes

El procesamiento digital de imágenes es un conjunto de algoritmos que cambian a la imagen original en donde se separan, resaltan o atenúan las áreas de interés (ROI) necesarias para la aplicación, por lo que este proceso elimina ruido, efectos no deseados, distorsiones, transformaciones de color (Moya, 2016).

La herramienta utilizada para el procesamiento digital de imágenes es la matemática insertadas en códigos y algoritmos que mejoran o extraen características de una imagen (Escalante, 2006). Dentro del procesamiento digital de imágenes se debe ciertos conceptos básicos de elementos que son requeridos para la recopilación de datos en la imagen.

- **Imagen digital.** Es una matriz bidimensional que representa valores numéricos de píxeles.
- **Píxel.** Es un punto y una unidad básica de una imagen.
- **RGB (RED rojo, GREEN verde, BLUE azul).** Capa de 3 dimensiones que tienen las imágenes a color representados en cada píxel.
- **Escala de gris.** Es una representación en color gris de un píxel.
- **ROI.** Es la región de interés de una imagen digital.
- **Oclusión.** Cuando un objeto interfiere con otro objeto de interés.
- **ZOOM.** Alejamiento o acercamiento del lente para ubicar un objetivo que está ubicado dentro de una imagen.

1.6.4. Etapas del procesamiento digital de imágenes

Para el tratamiento digital de una imagen en la detección y reconocimiento de personas es necesario recurrir a una secuencia lógica de pasos o procesos detallados a CONTINÚAción:



Figura 2 Etapas del procesamiento digital de imágenes.

1.6.5. Captura

Consiste en obtener las imágenes del objeto a analizar de un lugar externo o interno utilizando una cámara digital.

1.6.6. Aprendizaje

Tratamiento digital de imágenes a través de filtros y transformaciones geométricas en donde resaltan o eliminan regiones de interés de la imagen para la caracterización y clasificación de imágenes, existen algunos modelos de aprendizaje citados a CONTINÚAción:

- **Descriptores tipo Haar.**

Los descriptores tipo Haar son conjuntos de características que posee una imagen digital, establecidos por tres filtros digitales para la detección de orillas y líneas (Universidad de las Américas Puebla).



Figura 3 Cálculo de Haar sobre un rostro.

Fuente: (Diaz, 2016)

Algoritmo de Viola-Jones.

Es un algoritmo que está basado en clasificadores de cascada tipo Haar y un entrenamiento basado en Adaboost, este algoritmo requiere de recursos computacionales bajos al tener una discriminación eficaz. Viola Jones tiene una probabilidad de verdaderos positivos de 99.9% y de falsos negativos 3.33% (Miranda, Rodriguez, Llanes, & Borges, 2014), fue desarrollado para la detección de rostros, pero es posible utilizarlo para el entrenamiento y la clasificación con imágenes de personas (Detección de caras, 2015).

- **Patrones Binarios Locales (LBP)**

Un algoritmo para extraer características para detección de rostros, es el de Zhang en (Zhang, Chu, Xiang, & Liao, 2007), en donde se compara la intensidad de cada píxel de la imagen con píxeles cercanos. Los LBP analizan píxel a píxel por lo que su coste computacional es más alto a comparación con las características de Haar. En algunas aplicaciones tiene mejor respuesta y detección que las características de Haar.

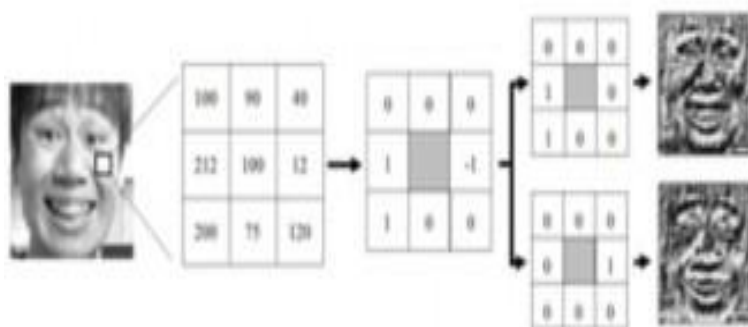


Figura 4 Cálculo de LBP.

Fuente: (Merchán, Galeano, & Poveda, 2014)

- **Histograma de Gradientes Orientados (HOG)**

Este método fue exhibido por Dalal (Dalal & Triggs, 2010), mediante el método de aprendizaje de detección de máquinas de soporte vectorial (SVM),

en cada esquema se calculan celdas agrupadas en bloques y un descriptor es formado por un conjunto de descriptores concatenados.

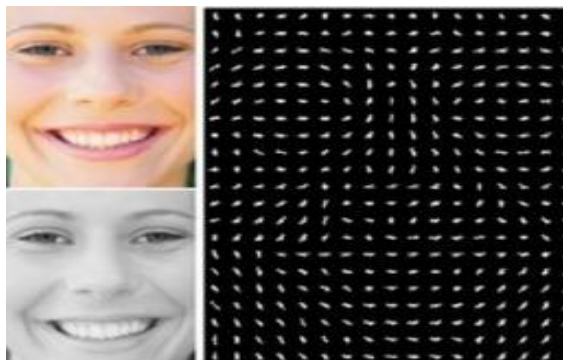


Figura 5 Cálculo de HOG.

Fuente: (Merchán, Galeano, & Poveda, 2014)

AdaBoost.

Es un algoritmo de aprendizaje artificial, que a través de cascadas utiliza la clasificación de características y patrones. Para cada etapa se prepara un conjunto de imágenes positivas (personas) y negativas (no personas), mientras más etapas tenga la cascada, mejor es el entrenamiento. El conjunto de clasificadores débiles de características tipo (HAAR, LBP, HOG), forman un clasificador robusto o fuerte. Al crear un clasificador robusto se asegura que la tasa de detección de la persona sea más alta (Merchán, Galeano, & Poveda, 2014).

1.6.7. Detección

Aísla las regiones de interés (ROI) e identifica el objeto según una base de datos adquirida en el aprendizaje. Se debe realizar previamente operaciones de conversión y mejora de las imágenes mediante la conversión a escala de gris, además de la normalización del histograma (aproximación de valores cercanos).

1.6.8. Seguimiento

Esta etapa del procesamiento digital de imágenes impide que se pierda la referencia de la persona detecta. Esta etapa es válida únicamente cuando exista una ROI en la etapa de detección. Existen algunos seguidores en OpenCV citados a CONTINÚAción.

- **Dense Optical flow:** Estiman el vector de movimiento de cada píxel.
- **Sparse optical flow:** Rastrear la ubicación de algunos puntos característicos en una imagen. Ejemplo LK (Lucas Kanade).
- **Filtro de Kalman:** Predicen la ubicación de un objeto en movimiento con los datos previos obtenidos al movimiento, es un método predictivo.
- **Meanshift and Camshift:** Localizan la máxima densidad del objeto.
- **OpenCV 3 API trackers:** Contienen algoritmos de seguimiento de objetos individuales basados en progresiones lineales. (Mallick, 2016)

1.6.9. Software a utilizar en el desarrollo

El software para el procesamiento de imágenes digitales utilizando la visión artificial es desarrollado con las librerías de OpenCV mediante la interfaz de Qt utilizando el lenguaje de C++.

1.6.10. OpenCV

OpenCV es una librería, liberada bajo la licencia BSD, que ayuda las personas a realizar aplicaciones de visión artificial que soporta interfaces C++, C, además posee compatibilidad con sistemas operativos como Android, Linux, Windows, IOS, una de sus ventajas es trabajar en tiempo real para aprovechar la aceleración del hardware, lo que lo hace ideal para aplicaciones robóticas, móviles, seguridad y defensa, reconocimiento, seguimiento de personas y realidad aumentada (Bradski & Kaehler, 2014).

Módulos de OpenCV

- **Core:** Tiene las funciones básicas para el procesamiento de imágenes.
- **Highui:** Permite la captura de videos e imágenes.
- **Imgproc:** Preprocesamiento, procesamiento, filtrado, corrección y transformación de imágenes.
- **Video:** Análisis de video, seguimiento de objetos, personas, coches.
- **Objdetect:** Reconocimiento, búsqueda de objetos (Bazaga, 2015).

Qt (Quasar Toolkit)

Qt (Quasar Toolkit) es un software libre, multi plataforma, para el desarrollo de softwares en entornos gráficos, que utiliza librerías de OpenCV para procesamiento de imágenes (Archive, 2007).

Versiones

- GUI FRAMEWORK: Para redes sociales y base de datos
- FULL FRAMEWORK: Edición comercial
- OPEN SOURCE: Edición completa

1.7. Hardware a utilizar en el desarrollo

1.7.1. Motores

Son actuadores que ejecutan acciones produciendo un movimiento lineal o circular, existen varios tipos de motores, según su alimentación son de corriente directa o CONTINÚA DC y alterna AC, dentro de la clasificación de los motores de DC existen los servomotores que son controlados desde un microcontrolador.

1.7.2. Servomotores

Un servomotor es un motor de corriente CONTINÚA con circuito de control interno, que mediante una señal o pulso es controlado en posiciones que por lo general van de 0 a 180°, un servo está conformado de 4 partes:

Motor de corriente CONTINÚA.

Es un motor común y normal que gira en cierto sentido dependiendo de la polarización, los motores de DC cuentan con dos cables de alimentación que al ser aplicado un voltaje giran CONTINÚAMENTE.

Controlador.

Es una placa electrónica de control cerrado, encargada de obtener el valor de sensor de desplazamiento menos la posición deseada conocido como error.

Sensor de desplazamiento.

Son potenciómetros ubicados en la flecha de salida o final para obtener la posición del motor.

Engranajes.

Son elementos mecánicos encargados de aumentar el torque y también permiten reducir la velocidad de giro del motor de corriente CONTINÚA (Herías & Ramón, 2009)



Figura 6 a) Carcaza b) Sensor c) engranajes d) controlador e) motor DC.

Fuente: (Carletti, 2009)

Funcionamiento

Los servomotores disponen de 3 cables, dos de alimentación generalmente van desde los 4.8-7.4v, además de un cable de control o de señal pwm. Los pwm son utilizados para controlar la posición del servo. Los pulsos varían entre 0.5 y 25ms para un rango de 180°. Para mantener fija la posición del servo se tiene que enviar CONTINÚAMENTE el mismo pulso.



Figura 7 Pines de un servomotor.

Fuente: (Pompa, 2016)

Para la selección de un servomotor es necesario obtener los siguientes datos:

- Potencia.
- Velocidad.
- Inercia de carga.
- Torque.
- Voltaje.
- Tamaño. (Cobo, s.f.)

1.7.3. Sistemas embebidos

Generalidades

Los sistemas embebidos son mini computadoras y microcontroladores en un mismo producto. El uso de inteligencia artificial y algoritmos en los sistemas embebidos se encuentran en un microprocesador los mismos que usan diferentes plataformas como Linux, Windows, os/2, osek, qnx, lynxos, embedded debían, vxwork, freeBSD, Android, las cuales generalmente se programan en lenguaje ensamblador, C, C++, java.

Son utilizados para problemas específicos, es decir no requieren de una fuente de alimentación robusta como el de la computadora, tienen bajo costo y tamaño pequeño, estas características mejoran el alcance de los sistemas embebidos a ciertas aplicaciones, los cuales se encuentran en los aparatos que se utilizan en nuestra vida diaria ejemplo, cajeros automáticos, radio de coches, carros a control remoto, PlayStation, celulares, cocinas, microondas.

Entre las tarjetas de sistemas embebidos más representativas en el mercado están, Raspberry, arduino, avrs, microcontroladores. (Galeano , 2011, pp. 9-11). Están formados por un microprocesador en donde se realizará procesos del cálculo de las diferentes funciones mediante software. Todo tipo de sistema embebido requiere una memoria, esta puede estar como un elemento dentro del procesador o a la misma vez el usuario tiene la opción de adaptarla. Además, disponen de Comunicación RS-232, RS-485, USB, wifi, gsm, gprs, dsrc, módulos de entradas digitales, análogas, conectores de display, touch panel. (Linares, 2016).

1.7.4. RaspberryPi

Es una mini computadora para aplicaciones específicas, desarrollado por Raspberry Pi Foundation, utilizadas para resolución de diferentes problemas, proyectos de tesis, maestrías, investigación, con precios bajos en comparación a una computadora (Raspberrypi, 2016).



Figura 8 Tarjeta RaspberryPi

Fuente: (droidecomunidad, 2016)

1.7.5. Lattepanda

Mini computadora para aplicaciones específicas, capaz de funcionar como un simple ordenador, utilizado para realizar aplicaciones robóticas, sistemas de seguridad, diseños en 3D, análisis estadísticos de datos (Velasco, 2016).

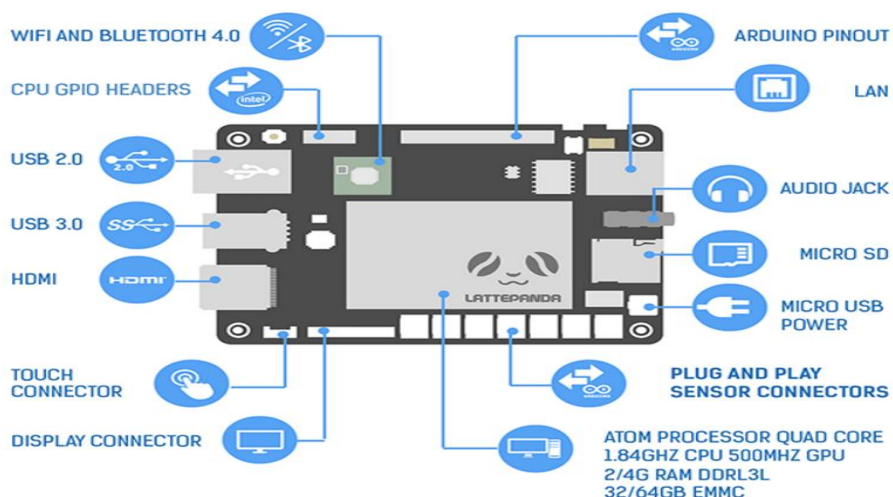


Figura 9 Entradas y salidas Tarjeta Lattepanda (4GB/64GB).

Fuente: (Lattepanda, 2016)



Figura 10 Tarjeta LattePanda (4GB/64GB).

Fuente: (DFROBOT, 2016)

1.7.6. Arduino

Es una plataforma electrónica de hardware y software libre, con código abierto que utiliza lenguaje C++, utilizados para realizar el control de diferentes proyectos electrónicos, (Maker Community, 2014)

Entre sus principales características:

- **Barato:** A comparación de otras plataformas de microcontroladores en el mercado es relativamente barato su precio oscila entre los 25 a 100 dólares
- **Multiplataforma:** El software que utiliza Arduino tiene compatibilidad con Windows, Macintosh OSX y GNS/Linux. (Arduino).

1.7.7. Marcadoras de paintball

Una marcadora de paintball es un dispositivo utilizado en el deporte de paintball “bola de pintura”, las cuales utilizan CO₂ u aire comprimido para disparar bolas de pintura. Este es el sistema es necesario para la neutralización de personas. Existen 2 tipos de marcadoras: mecánicas y eléctricas.

- **Marcadoras mecánicas.** Son más pesadas que las marcadoras eléctricas, estas soportan golpes y caídas en el agua. Algunas versiones son semiautomáticas, es decir, que se recargan solas. El

desarmado es fácil y rápido, para poder realizar un mantenimiento sencillo, funcionan con CO2 o con aire comprimido.

- **Marcadoras eléctricas.** Son más ligeras en comparación con las mecánicas, su sistema de disparo es eléctrico, es decir utilizan baterías, no son resistentes al agua, y son delicadas a los golpes. (Espaintball, s.f.).



Figura 11 Marcadora paintball.

Fuente: (Tippmann, s.f.)

1.7.8. Cámaras

Una cámara es un dispositivo encargado de obtener y registrar imágenes que en su actualidad son almacenadas de forma digital o electrónicamente. Existen algunos tipos de cámaras en función de las aplicaciones, pero para el ámbito de la videovigilancia y la seguridad, las cámaras PTZ (PAN, TILT, ZOOM) son las mejores debido a su robustez y a sus capacidades para enfocar y seguir objetos o personas.

Cámaras interiores

Son las más sencillas dentro del mercado, comúnmente se utilizan en zonas que tienen iluminación y poco alcance.

Cámaras con infrarrojos

Su principal función es la vigilancia las 24 horas, graban durante el día, noche y con poca iluminación de manera automática.

Cámaras IP

Estas cámaras tienen la capacidad de conectarse al internet, que permiten mostrar el suceso o video en tiempo real de varios lugares en donde se encuentran ubicadas, sin necesidad equipos adicionales como un DVR (videovigilancia).

1.7.9. Cámaras PTZ

Las cámaras PTZ (PAN, TILT, ZOOM) realizan movimientos con giros posibles de 360 grados para la observación de escenas a largas distancias, objetos arriba y debajo de la cámara, estas cámaras son utilizadas en aplicaciones de video vigilancia donde se pueden controlar desde un lugar remoto para rastrear ciertas acciones principalmente de individuos. Las cámaras PTZ son situadas en lugares fijos de gran altitud, como por ejemplo postes de electricidad, con la finalidad de poder observar todo un entorno. Tienen la habilidad de poder girar, en su mayoría los 360 grados o trayectoria circular, inclinación en diferentes ángulos hacia arriba y abajo, y ampliar la imagen, para visualizar objetos a distancias que son imposible de observar por la persona.

Las cámaras PTZ pueden realizar automáticamente y manualmente desde un sistema remoto. El control manual permite controlar este tipo de cámaras mediante un teclado o una interfaz desarrollada por el constructor de la cámara. La forma física de este tipo de cámaras es esférica y de burbuja esférica, esto es necesario para que pueda girar fácilmente y pueda tomar una vista panorámica.



Figura 12 PTZ de burbuja y esférica

Fuente: (Camaras ptz, 2016)

Este tipo de cámaras tiene características únicas en comparación a cámaras de uso común como, por ejemplo:

- Alta definición.
- Protección para ambientes exteriores.
- Gran capacidad para poder ampliar imágenes a grandes distancias.
- Leds infrarrojos IR para visión nocturna.

Las cámaras PTZ pueden ser controladas desde grandes distancias, al ser cámaras exteriores cuenta con protecciones a ambientes de lluvia, polvo o a temperaturas bajas y altas. No necesitan de mantenimiento, a excepción que no funcionen correctamente. Los usos más comunes de las cámaras PTZ son principalmente para la video vigilancia, seguridad de empresas privadas, y la seguridad ciudadana en las empresas públicas, también pueden ser utilizadas en aplicaciones militares donde se requiere rastrear un objeto no autorizado dentro de un área restringida. (Lacoma, s.f.)

1.7.10. ZOOM óptico

El ZOOM óptico es un mecanismo que cambia la posición del lente a través de motores, por ende, aumenta o disminuye al objetivo. Mientras más lejos esté el lente, más grande es el acercamiento tendrá hacia él objetivo y el ángulo de visión es más pequeño. El alejamiento o acercamiento de un objeto o persona depende de la distancia del lente y del sensor de la cámara, la imagen final será más amplia o más pequeña. La distancia entre el lente y el sensor se denomina distancia focal. (Dzoom).



Figura 13 Distancia focal.

Fuente: (Dzoom)

1.7.11. ZOOM digital

El ZOOM digital aplica algoritmos y programas para ampliar y recortar una zona en la imagen. La imagen sigue siendo lo mismo, ya que únicamente cambia su escala, pero esto conlleva a que se pierda calidad y resolución de imagen en comparación del ZOOM óptico.

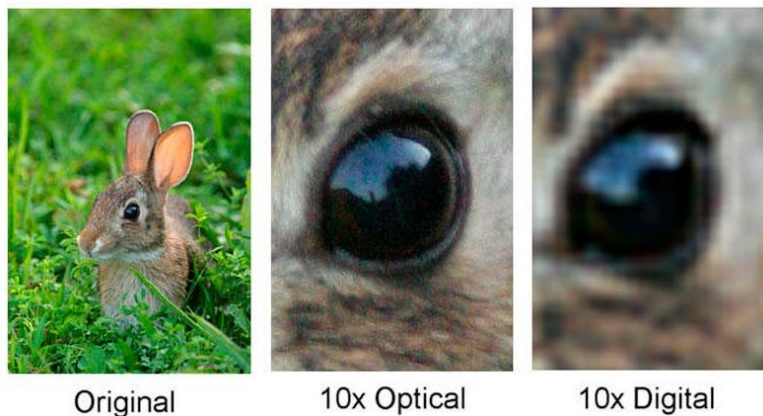


Figura 14 zoom óptico 10x zoom digital 10x

Fuente: (Omicrono, 2016)

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1. Selección del hardware

Este capítulo trata acerca de la selección de los componentes de acuerdo a las alternativas que se presentan, con el fin de tener un mejor criterio de selección se utiliza la escala de ponderación planteada por (Izurieta, 1997) y expuesta en la Tabla 1, para elegir la opción más acorde a los criterios establecidos.

Tabla 1

Escala de ponderación.

Calificación	% del óptimo	Significado
0	<35	Insatisfactorio
1	35-50	Satisfactorio
2	51-75	Bueno
3	76-89	Muy bueno
4	90-100	Óptimo

Fuente: (Izurieta, 1997)

2.2. Ordenador.

El objetivo principal del ordenador es la ejecución óptima del software y el procesamiento digital de las imágenes, los mismos que dependen de su memoria RAM, ROM, además de capacidad de almacenamiento, esto debido a que el algoritmo de detección y seguimiento requiere de un costo computacional medio alto.

El proyecto necesita el total de la capacidad de procesamiento del ordenador para la ejecución del software y el procesamiento digital de

imágenes por lo tanto para comunicar el algoritmo con los diferentes actuadores del prototipo se utiliza un microcontrolador que se seleccionará posteriormente.

2.2.1. Alternativa 1. Raspberry Pi3 Modelo B Element I4



Figura 15 Raspberry Pi3 Modelo B Element I4

Fuente: (Raspberrypi)

Características

- A 1,2 GHz 64-bit de cuatro núcleos ARMv8 CPU
- 802.11n Wireless LAN, 1 GB de RAM
- 4 puertos USB ,40 pines GPIO, Puerto Ethernet
- conector de audio de 3,5 mm combinado y vídeo compuesto

2.2.2. Alternativa 2. Lattepanda (4GB/64GB)



Figura 16 Tarjeta Lattepanda.

Fuente: (droidecomunidad, 2016)

Características:

- Procesador 1.8 GHz Intel Cereza Trail Z8300 Quad Core
- Sistema operativo Windows 10
- Capacidad RAM: 4 GB DDR3
- Almacenamiento: 64GB
- USB: USB 3.0 X 1 y USB 2.0 X 2
- Wifi y bluetooth 4.0. Coprocesador: AT mega32u4
- GPIO: 2 GPIO chips de Intel párrafo 20 GPIO para arduino
- Peso: 100g. (DFROBOT, 2016)

2.2.3. Alternativa 3. Portátil HP 2000-2d22DX



Figura 17 Portátil HP 2000-2d22DX

Fuente: (Cnet, s.f.)

Características

- CPU: Intel Core i3 (3rd Gen) 3120M / 2.5 GHz
- Memoria cache 3MB, RAM 4GB
- Protocol inalámbrico: 802.11b/g/n
- Procesador Core i3
- Interfaces: 3 x USB 2.0. HDMI, Headphone output, Microphone input, LAN, VGA.

2.2.4. Criterios de selección del ordenador.

Contando con la escala de ponderación (ver tabla 1), se selecciona la mejor opción del ordenador en base a los siguientes parámetros.

- Capacidad de almacenamiento.
- Memoria RAM.
- Salida de video.
- Soporte de video.
- Sistema operativo.
- Capacidades gráficas.
- Procesador.
- Puertos GPIO.
- Precio.

2.2.5. Selección de la mejor alternativa para el ordenador

Tabla 2.

Valoración de las alternativas de ordenador

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Memoria RAM	1	3	4
Salida de video	3	3	4
Soporte de video	2	3	4
Sistema operativo	1	3	4
Capacidades gráficas	2	3	4
procesador	1	2	4
Puertos GPIO	3	3	1
precio	4	3	2
Suma	17	23	27

De acuerdo a la valoración de alternativas para la selección del ordenador (ver tabla 2), la que más se adapta con los parámetros establecidos es la alternativa 3 por lo cual se utiliza una Portátil HP 2000-2d22DX debido su memoria RAM, soporte de video y sistema operativo, como características más relevantes y mejores que la alternativa 1 y alternativa 2.

2.3. Microcontrolador

El objetivo principal del microcontrolador es la comunicación del ordenador con las señales análogas y digitales de entrada y salida del mecanismo, entre los actuadores y el algoritmo de seguimiento.

2.3.1. Alternativa 1. Arduino uno



Figura 18 Arduino uno.

Fuente: (Inventables, n.d.)

Características

- Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje de funcionamiento: 5 V.
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM).
- Pines de entradas análogas: 6.
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA.
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA.
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader.

- SRAM: 2 KB (ATmega328).
- EEPROM: 1 KB (ATmega328).
- Velocidad de reloj: 16 MHz. (Maker Community, 2014)

2.3.2. Alternativa 2. Arduino Leonardo

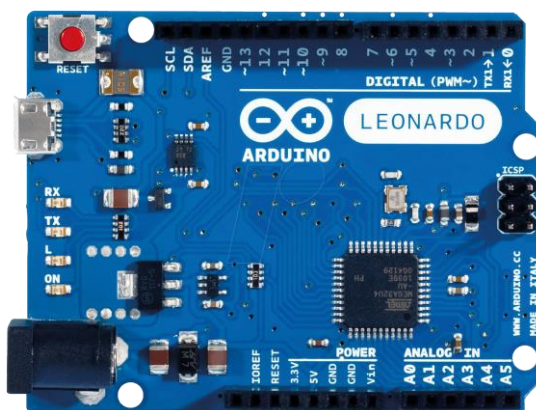


Figura 19 Arduino Leonardo.

Fuente: (Arduino, 2017)

Características

- Microcontrolador: ATmega32u4.
- Voltaje: 5 V.
- Pines I/O digitales: 20.
- Canales PWM: 7.
- entradas análogas:12.
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA.
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA.
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4).
- SRAM: 2 KB.
- EEPROM: 1 KB.
- Velocidad de reloj: 16 MHz. (Maker Community, 2014)

2.3.3. Alternativa 3. Arduino micro

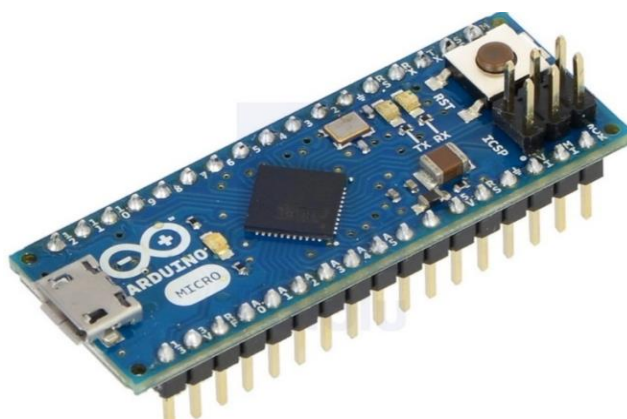


Figura 20 Arduino micro.

Fuente: (Pololu, n.d.)

Características

- Microcontrolador: ATmega32u4.
- Voltaje: 5 V.
- Pines I/O digitales: 20.
- Canales PWM: 7.
- Pines de entradas análogas: 12.
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA.
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA.
- Memoria Flash: 32 KB.
- SRAM: 2.5 KB.
- EEPROM: 1 KB.
- Velocidad de reloj: 16 MHz. (Maker Community, 2014)

2.3.4. Criterios de selección del microcontrolador

Contando con la escala de ponderación (ver tabla 1), se selecciona la mejor opción del microcontrolador en base a los siguientes parámetros.

- Memoria SRAM (1KB a 3KB)

- Memoria EEPROM (1KB a 2KB)
- Pines análogos:(mínimo 10- máximo 20)
- Pines digitales: (mínimo 10- máximo 20)

2.3.5. Selección de la mejor alternativa para el microcontrolador

Tabla 3

Valoración de las alternativas del microcontrolador.

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Memoria SRAM	2	3	4
Memoria EEPROM	3	3	3
Pines análogos	3	4	4
Pines digitales	3	4	4
Suma	11	14	15

De acuerdo a la valoración de alternativas para la selección del microcontrolador (ver tabla 3), la que más se adapta con los parámetros establecidos es la alternativa 3, por lo cual se utiliza un Arduino micro debido que su memoria SRAM, tamaño, pines digitales y análogos, como características más relevantes y mejores que la alternativa 1 y alternativa 2.

2.4. Cámara

Capta las imágenes del medio o del área restringida, las procesa dentro del sistema de control propio de la cámara a través de los diferentes programas, brindando una adecuada calidad de imagen en el día como en la noche, además de poseer mecanismos de un alcance óptimo para el seguimiento del objeto.

2.4.1. Alternativa 2: Hikvision PTZ DS-2DE4120I-D IP 1.3Mp HD 960P



Figura 21 DS-2DE4120I-D I.

Fuente: (Recursos Tecnológicos, 2016)

Características

- Resolución IP 1.3MP.
- 1/3" CMOS de barrido progresivo.
- Iluminación: 0.05Lux@1.4 Color / 0.01Lux@F1.4 B/N.
- Dual Stream, Slot SD.
- L: 4.7 a 94.0mm, 20X (x16 digital).
- D-DWR / BLC / 3D DNR.
- Rango IR de hasta 100 metros.
- Alimentación 12 VDC consumo 20W.
- Dim: 164.5 (mm) x 295(mm) Peso: 2Kg (4.41 lbs). (Recursos Tecnológicos, 2016).

2.4.2. Alternativa 2: Cámara Domo IR DS-2AE4123TI-D 720P D-WDR



Figura 22 DS-2AE4123TI-D

Fuente: (Recursos Tecnológicos, 2016)

Características

- Resolución 720P (1280 x 720).
- 1/2.8" CMOS de escaneo progresivo.
- Iluminación: 0.05Lux@F1.6, B/W, 0.005Lux@F1.6,0LuxIR On.
- Lente: 4-92mm, x23 (x16 digital).
- Alcance IR hasta 100m.
- AGC, BLC, WDR, ICR, 8 máscaras de privacidad prog.
- Alimentación: 12VDC; 18 Watts.
- Dim: 164.5 (mm) x 295 (mm).
- IP66. (Recursos Tecnológicos, 2016)

2.4.3. Criterios de selección de la cámara

Contando con la escala de ponderación (ver tabla 1), se selecciona la mejor opción de la cámara en base a los siguientes parámetros.

- rango IR mínimo 70 metros (visión nocturna).
- comunicación IP.
- protección contra ambientes hostiles.
- Resolución y ZOOM óptico.
- Precio.

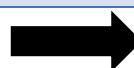
2.4.4. Selección de la mejor alternativa para la cámara

Tabla 4.

Valoración de las alternativas de la cámara

Parámetros.	Alternativa 1	Alternativa 2
Precio.	3	2
Rango IR (visión nocturna).	0	4
Protección contra ambientes hostiles.	1	4

CONTINÚA



Comunicación IP.	0	4
Resolución.	4	2
ZOOM óptico.	0	4
Suma.	9	22

De acuerdo a la valoración de alternativas para la selección de la cámara (ver tabla 4), la que más se adapta con los parámetros establecidos es la alternativa 2, la cámara Hikvision modelo Domo PTZ DS-2DE4120I-D IP 1.3Mp HD 960P, debido a su rango de visión nocturna, ZOOM óptico, protección contra ambientes hostiles como características más relevantes y mejores que la alternativa 1.

2.5. Motores

Contando con la escala de ponderación (ver tabla 1), se selecciona la mejor opción de los motores en base a los siguientes parámetros.

- Peso: Menor a 200 gramos por motor.
- Voltaje. 3-9v
Movimiento rotación no CONTINÚA.
- Resolución menor a 1 grado para el centrado de la persona.
- Torque min 3-7 N.m.

2.5.1. Alternativa 1: Servomotores.

Es un dispositivo electromecánico que dispone de un motor eléctrico, varios engranes y un controlador que pueden moverse en rotación circular generalmente de 0 a 180 grados. (Ingmecafenix, s.f.).

- Peso. 164 gramos.
- Voltaje 5-7.4V.
- Movimiento: rotación 0 a 180 grados.
- Resolución 1 grado/paso.
- Torque: desde 1.5kgcm



Figura 23 Servomotor.

Fuente: (Ingmecafenix, s.f.)

2.5.2. Alternativa 2: Motor de pasos

Son motores eléctricos sin sistema de conmutación (es decir sin controlador propio). Un motor de pasos puede ser manejado externamente por un controlador que genere pulsos en cada bobina por cierto tiempo para que pueda ser mantenido en una posición o rotar en uno u otro sentido. (Mec, s.f.).

- Peso mayor a 300 gramos.
- Voltaje de 5-12V.
- Movimiento rotación CONTINÚA (depende del controlador adicional).
- Resolución 1.8grados/paso.
- Torque desde 1kgcm.



Figura 24 Motor de pasos.

Fuente: (Mec, s.f.)

2.5.3. Selección de la mejor alternativa del motor.

Tabla 5

Valoración de los motores.

Parámetros.	Alternativa 1	Alternativa 2
Peso.	4	3
Voltaje.	4	4
Movimiento.	4	4
Resolución.	4	3
Torque.	3	3
Suma.	19	17

En la Tabla 5 se observa que la alternativa 1 es la que mejor se adapta a los criterios de selección antes establecidos, para la selección del motor, por lo cual se utilizará servomotores, debido a que tienen mejores características, que la alternativa 2.

2.6. Marcadora

Es el sistema que conjuntamente con el mecanismo de movimiento a través del algoritmo de visión artificial se encarga de neutralizar a las personas no autorizadas en áreas restringidas hasta un rango determinado.

2.6.1. Alternativa 1: Tippmann 98 Custom (paintball)



Figura 25 Tippmann 98 Custom

Fuente: (Tippmann, s.f.)

Características

- Tipo de disparo: semi automático.
- mecanismo de disparo: mecánico.
- Propelente: CO2.
- Tipo de Balas: bolas de pintura calibre 68 (Tippmann, s.f.)
- Longitud: 46 cm.
- Alcance: 30 metros

2.6.2. Alternativa 2: Fusil Rifle Airsoft Ak 47 (airsoft)



Figura 26 Fusil Rifle Airsoft Ak 47

Fuente: (Tippmann, s.f.)

Características

- Tipo de disparo: automático.
- Mecanismo de disparo: mecánico.
- Sistema propelente: eléctrico.
- Tipo de Balas: bolas polímero de alta resistencia.
- Longitud de la marcadora: 87 cm.

2.6.3. Alternativa 3: marcadora elite hyperfire (nerf)



Figura 27 marcadora elite hyperfire (nerf)

Fuente: (Nerf)

Características

- Tipo de disparo: automático. Mecanismo de disparo: mecánico.
- Sistema Propelente: sistema eléctrico.
- Tipo de Balas: dardos de polímero. Longitud de la marcadora: 50 cm.

2.6.4. Criterios de selección de la marcadora

Contando con el criterio de ponderación expuesto anteriormente se tomarán en cuenta los siguientes parámetros a fin de seleccionar la mejor opción para el desarrollo del proyecto.

- Tipo de disparo de la marcadora (*mínimo* semi-automático *máximo* automático).
- Mecanismo de disparo de la marcadora (*mínimo* mecánico *máximo* eléctrico). Sistema Propelente.
- Tipo de Balas: material suave que al contacto con el cuerpo no lo dañe.
- Longitud de la marcadora: (máximo 100cm).

2.6.5. Selección de la mejor alternativa para la cámara

Tabla 6

Valoración de alternativas de la marcadora.

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de disparo	3	4	4
Mecanismo de disparo	2	2	2
Sistema Propelente	4	2	2
Tipo de Balas	4	3	4
Longitud de la marcadora	4	2	3
Suma	17	13	15

En la Tabla 6 se observa que la alternativa 1 es la mejor se adapta a los criterios antes establecidos para la marcadora, por lo cual se utiliza una Tippmann 98 Custom (paintball) debido al sistema propelente, tipo de balas y longitud de la marcadora como características más relevantes y mejores que la alternativa 2 y 3.

2.7. Fuente de voltaje

La fuente de voltaje debe suministrar el voltaje y amperaje necesario para los 3 servos motores.

2.7.1. Cálculo del amperaje

Los motores son alimentados por igual (6v) por lo que se tiene una conexión en paralelo, el amperaje a seleccionar de la fuente de alimentación es la suma del amperaje de cada uno de los motores

Características servo motor1 (movimiento PAN)

Voltaje alimentación (VA1): 6V

Amperaje(A1): 2 A

Características servo motor2 (movimiento TILT)

Voltaje alimentación (VA2): 6V

Amperaje(A2): 2 A

Características servo motor3 (accionamiento de gatillo de disparo)

Voltaje alimentación(VA3): 4.8 V a 6V

Amperaje(A3): 180 mA

$$Amperaje\ mínimo\ necesario(AMN) = A1 + A2 + A3$$

$$AMN = VA1 + VA2 + VA3$$

$$AMN = 2 A + 2 A + 180 mA \quad \mathbf{AMN = 4.18 A}$$

2.7.2. Cálculo de voltaje

Debido a que todos los motores funcionan a 6V y se encuentran conectados en paralelo, el voltaje de la fuente es de 6V.

$$\text{Voltaje de la fuente} = 6 \text{ V}$$

Tabla 7.

Especificaciones fuente

Especificaciones fuente	
Voltaje	6 V
Amperaje	4.18 A

Tomando en cuenta las especificaciones de la Tabla 7 se utilizará una fuente modelo S-60-6 con las siguientes características:

- Modelo: S-60W-6V
- Entrada: 100-260VAC, 50/60Hz
- Potencia nominal: 60 W
- Tensión de Salida: 6.1-6.2 V
- Corriente nominal de salida: 10 A. (Aliexpress, n.d.)

2.8. Diseño mecánico

Para analizar el esfuerzo de diseño, se debe asegurar que la máquina soporte todas las cargas a las que está expuesta. Se debe conocer el esfuerzo de diseño admisible mediante la resistencia del material (resistencia a la fluencia S_y), considerando un material dúctil para este tipo de aplicación. *Todos los aceros forjados y aleaciones de aluminio son dúctiles.* (Mott, Resistencia de materiales, 2009).

En el análisis de esfuerzos se debe considerar el factor de seguridad FS, como medida de seguridad de las fuerzas o pesos a soportar. Según (Mott, Diseño de elementos de máquinas., 2006) para que el diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza en todos los datos se




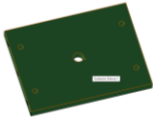
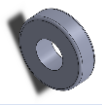
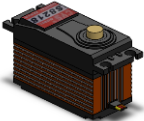
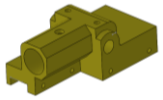
tiene $F_s = 2$ a 2.5. A CONTINÚACIÓN se realiza la selección y diseño de los componentes mecánicos del sistema PAN TILT. En el ANEXO B se encuentran todas las dimensiones de las piezas.

2.9. Cálculos de torque para la selección de motores.

Para la selección del motor PAN y TILT es necesario obtener los pesos de cada uno de elementos a mover.


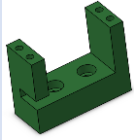

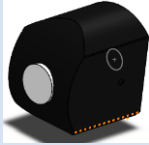
Tabla 8

Elementos que mueve el sistema PAN y TILT.

	Figura	Peso kg
Brazos		1,20
Marcadora		3
Eje y TILT		0.20
Base brazos		0.40
Rodamientos		0.02
Motor y		0,32
Acople Arma		0,43

CONTINÚA



Eje gatillo		0,1
Acople servo gatillo		0,07
Acoples y engranes		0,13
Cámara		1,7

Para obtener el torque del sistema PAN es necesario obtener el total del peso de todos los elementos que intervienen.

$$\begin{aligned} \sum \text{Masas} = & M_{\text{brazos}} + M_{\text{marcadora}} + M_{\text{ejey}} + M_{\text{basebrazos}} \\ & + M_{\text{rodamientos}} + M_{\text{motory}} + M_{\text{acoplearma}} + M_{\text{ejegatillo}} \\ & + M_{\text{acopleservogatillo}} + M_{\text{acoplesyengranes}} + M_{\text{camara}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Masas} = & 1.20 + 3 + 0.20 + 0.4 + 0.02 + 0.32 + 0.43 + 0.1 + 0.07 + 0.13 \\ & + 1.7 \quad \therefore \quad M_T = 7.37 \approx 7.5Kg \end{aligned}$$

Para obtener el torque del motor se utiliza la ecuación

$$T = Fxr$$

Donde:

- T= Torque.
- F= fuerza a ejercer o peso de todo el sistema.
- r= radio de giro del sistema.



Figura 28 Diagrama de torque en los brazos.

El peso M_T es considerado como la fuerza a ejercer. r es el radio de giro según la base de los brazos (ANEXO B). Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$T_{pan} = 7.5Kg(7cm) = 52.5Kgcm$$

Para que el sistema pueda mover una masa de 7.5Kg se debe seleccionar un servo motor que tenga un torque mayor a 52.5Kgcm.

Se ha seleccionado un servomotor dc CYS S8218 para los dos movimientos con torque de 36kgcm con una relación de 1:2 lo que aumenta su torque en 72.4kgcm para asegurar que el dispositivo pueda mover todo el sistema. Igualmente se selecciona el mismo motor para el movimiento en el sistema TILT, ya que debe mover menos peso, la relación es de 1:4 con lo que se obtiene un torque de 144kgcm.

Tabla 9

Características del servomotor.

1. Condiciones de funcionamiento:	3. Especificaciones mecánicas:
1-2 Rango de temperatura en operación: $-10^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$	3-1 Dimensiones: 59.5*29. *55.2
1-3 Rango de voltaje: 6V~7.4V	3-2 Ángulos de funcionamiento: $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$
2. Especificaciones eléctricas	3-3 Peso: 164 ± 1 g
2-1 Velocidad de operación: 0.2 sec/60°(6V) 0.18 sec/60°(7.4V)	4. Especificaciones de control:
2-2 Corriente de funcionamiento (sin carga): 700 mA(6V) 900 mA(7.4V)	4-1 Sistema de control: Ancho de pulsos.
2-3 Torque (con carga): 36kg-cm(6V) 38kg-cm(7.4V)	4-2 Tipo de amplificador: Control digital.
2-4 Corriente de funcionamiento (con carga): 7.5A(6V) 8.6A(7.4V)	4-3 Operación: 90° (Between 1000→2000 μ sec)
	4-4 Posición neutral: 1500 μ sec

2.10. Análisis de engranajes y movimientos.

Los servomotores tienen la capacidad de moverse de 0 a 180 grados con una resolución de 1°/paso, pero es conlleva a un problema ya que es imposible realizar el centrado de la persona a distancias mayores a 40m, esto debido a que la cámara al realizar el ZOOM requiere de movimientos más cortos y de baja velocidad, es decir, cuanto más lejos esté el lente, el ángulo de visión es cerrado (Muñoz de Frutos, 2017).



Figura 29 Ángulo de visión con ZOOM óptico.

Fuente: (Panasonic, s.f.)

Como se puede observar en la Figura 29 el ángulo de visión cuando la cámara está en ZOOM 1x es amplio mientras que el ángulo de visión en 16x es corto. Para que el sistema pueda centrar el rostro de la persona (16x) en la Figura 29, el mecanismo debe moverse lentamente y a pasos cortos, ya que en realidad el lente de la cámara está fijo, ubicado en su posición real (1x). Es decir, el movimiento (PAN-TILT) está relacionado con su posición inicial (1x) para centrar el objetivo(16x). Por lo que es necesario utilizar una relación de engranes para que reduzca el movimiento PAN, TILT y permita mejorar el control para el centrado de la persona.

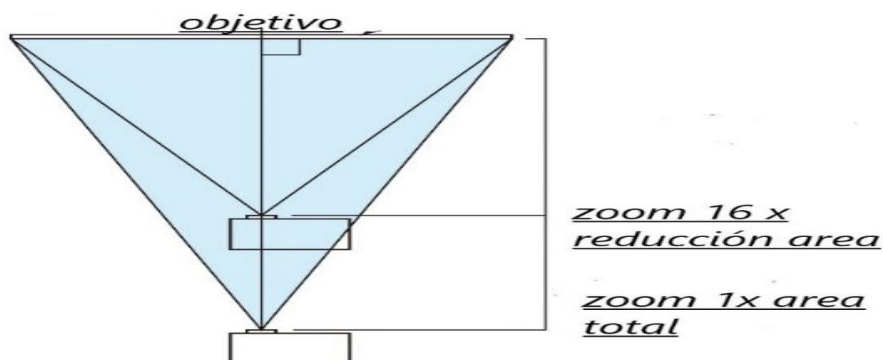


Figura 30 Disminución de área (acercamiento ZOOM).

Fuente: (Casio, s.f.)

Tabla 10**Relación de movimientos.**

	Precisión inicial	Relación	Precisión final	Movimiento angular total
PAN	1°/paso	2:1	0.5°/ paso	90°
TILT	1°/paso	4:1	0.25°/paso	45°

Es imposible centrar la imagen de una persona a una distancia mayor a 40 metros con servomotores de un grado de resolución por paso, por ende, para llegar a los 70 metros de seguimiento efectivo se realiza un cambio de relación de transmisión en los motores a través de engranajes de dientes rectos, tales como se muestran en la Tabla 10.

2.10.1. Selección de engranajes movimiento PAN

Para una relación de 2:1 de la página de servocity se selecciona el piñón 615254 (Servocity, 2017) y corona 615194 (Robotzone, 2017), debido a que estos engranajes son utilizados para sistemas PAN TILT de cámaras y sistemas de automatización para servomotores.

Tabla 11**Características del piñón y corona del movimiento PAN**

	Número de dientes(z)	Diámetro exterior (d) mm	Diámetro primitivo (d_p) mm	Módulo (m) mm	Ángulo presión (α)	Relación de transmisión (i)
piñón	32	27	25.4	0.8	20°	1/2
corona	64	52.4	50.8	0.8	20°	

Fuente: (Servocity, 2017)

2.10.2. Selección de engranajes movimiento TILT

Para una relación de 4:1 de la página de servocity se selecciona el piñón 615242 (Servocity, 2017) y corona 615194 (Robotzone, 2017)

Tabla 12

Características del piñón y corona del movimiento TILT

	Número de dientes(z)	Diámetro exterior (de) mm	Diámetro primitivo (d_p) mm	Módulo (m) mm	Ángulo presión (α)	Relación de transmisión (i)
piñón	16	14.3	12.7	0.8	20°	1/4
corona	64	52.4	50.8	0.8	20°	

Fuente: (Servocity, 2017)

2.10.3. Análisis de fuerzas en los engranajes

En los engranes rectos existen 2 fuerzas que serán transmitidas a los ejes, W_t fuerza tangencial y W_r fuerza radial. Para los 2 casos existe la misma corona, por ende, las fuerzas W_t y W_r son iguales para el movimiento PAN y TILT.

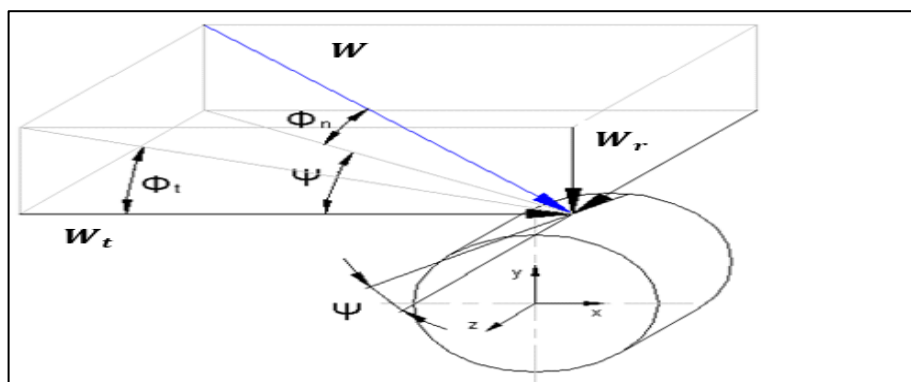


Figura 31 Diagrama de fuerzas en engranajes rectos.

Fuente: (Monografias, s.f.)

Para el cálculo de las fuerzas en el engranaje se utiliza la siguiente ecuación propuesta por (Diseño e Ingeniería mecánica de Shigley, 2012)

W_t fuerza tangencial

$$W_t = \frac{60000H}{\pi d_p n}$$

Donde:

W_t carga transmitida en KN.

H potencia KW.

d_p diámetro de paso del engrane mm.

 W_r fuerza radial

$$W_r = W_t \tan \alpha$$

Donde:

W_t =fuerza tangencial.

α = ángulo de presión.

Para el diseño de los ejes es necesario realizar el análisis de los engranes, para obtener las reacciones que generan sobre el eje. Tanto para el sistema PAN y TILT, el diámetro primitivo $d_p=50.8\text{mm}$ y el torque de entrada es el mismo por ende las reacciones que se generan son iguales. Para obtener la fuerzas tangencial y radial es necesario obtener los datos del servomotor.

- n velocidad del servo motor en rpm.

$$n = 50\text{rpm} \approx 5.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- Torque del servo.

$$T = 36\text{kgcm} \approx 3.52\text{Nm}$$

- H Potencia del motor en KW.

$$P = T \cdot n$$

$$P = (3.52\text{Nm}) \left(\frac{5.23\text{rad}}{\text{seg}} \right) = 18.40\text{W} \approx 0.0184\text{KW}$$

$$W_t = \frac{60000(0.0184\text{KW})}{\pi(50.8\text{mm})(50\text{rpm})} = 138.352\text{N}$$

$$W_r = (138.352\text{N})(\tan 20^\circ) = 50.35\text{N}$$

2.11. Diseño de ejes

DATOS

- Peso de la cámara: $W_c = 9.8 \frac{m}{s^2} (1.7kg) = (16,66N)$
- Peso de la marcadora: $W_m = 9.8 \frac{m}{s^2} (3.6kg) = (35.28N)$
- Fuerza tangencial engranaje: $W_t = 138.352\text{N}$
- Fuerza radial engranaje: $W_r = 50.35\text{N}$

2.11.1. Diseño del eje de movimiento TILT

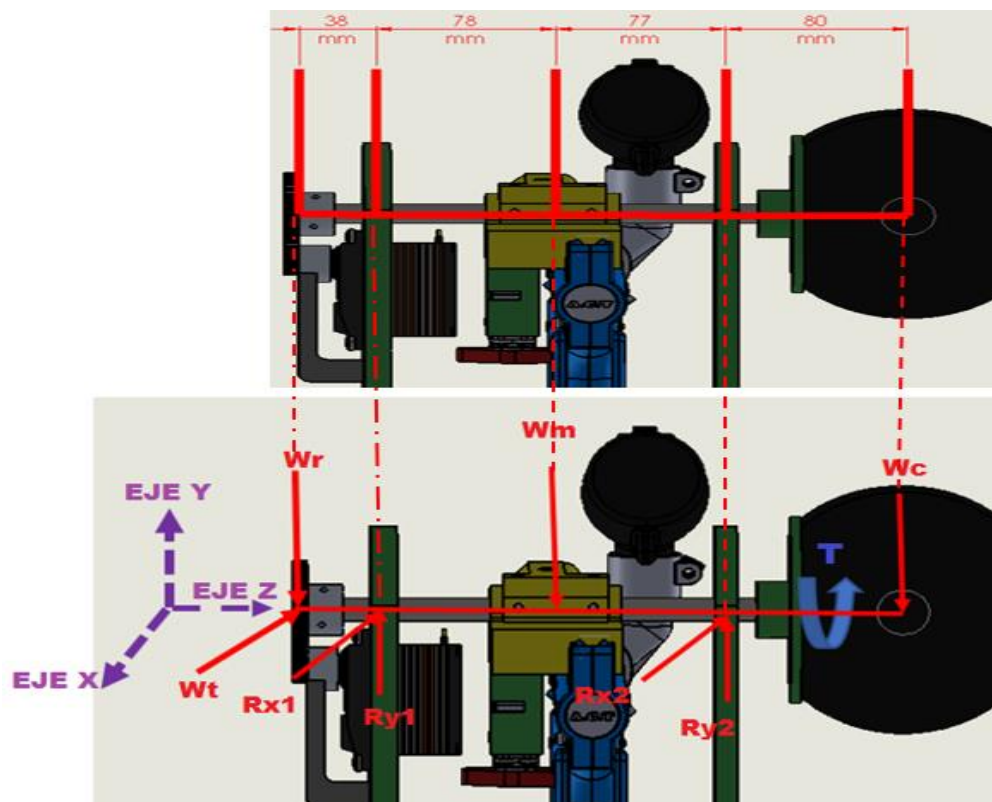


Figura 32 Componentes de fuerzas en el plano X-Y Z-Y

Sumatoria de fuerzas y momentos en el plano Y-Z

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_r + R_{y1} - W_m + R_{y2} - W_c = 0$$

$$R_{y1} + R_{y2} - 50.35N - 16.67N - 35.28N = 0$$

$$R_{y1} + R_{y2} - 101.42N = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-0.038m(50.35N) + 0.078m(35.28N) - 0.155mR_{y2} + 0.235m(16.67N) = 0$$

$$R_{y2} = 30.68N$$

$$R_{y1} = 71.62N$$

Diagramas de fuerzas y momentos flectores en el plano Y-Z

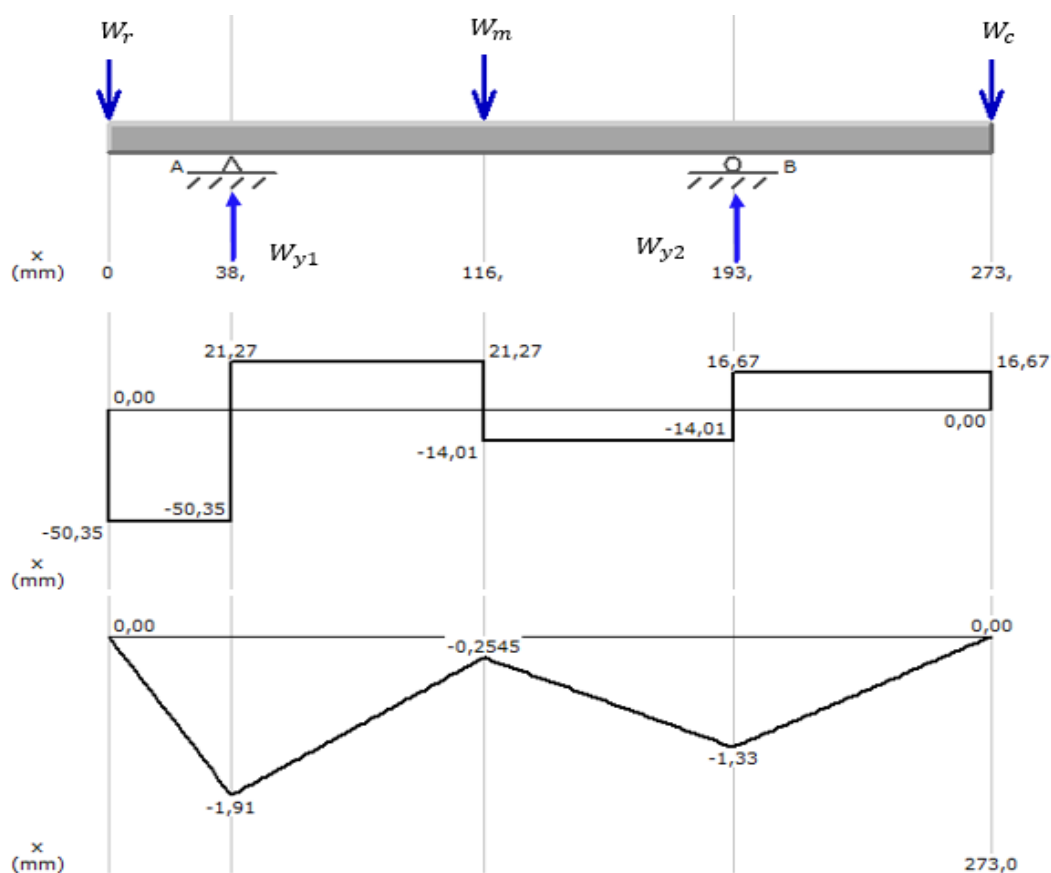


Figura 33 Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano Y-Z

Sumatoria de fuerzas y momentos en el plano X-Z

$$\sum F_X = 0$$

$$-W_t + R_{x1} + R_{x2} = 0$$

$$R_{x1} + R_{x2} - 138.35N = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-0.038m(138.35N) + 0.155mR_{y2} = 0$$

$$R_{x2} = 33.91N \quad R_{x1} = 104.44N$$

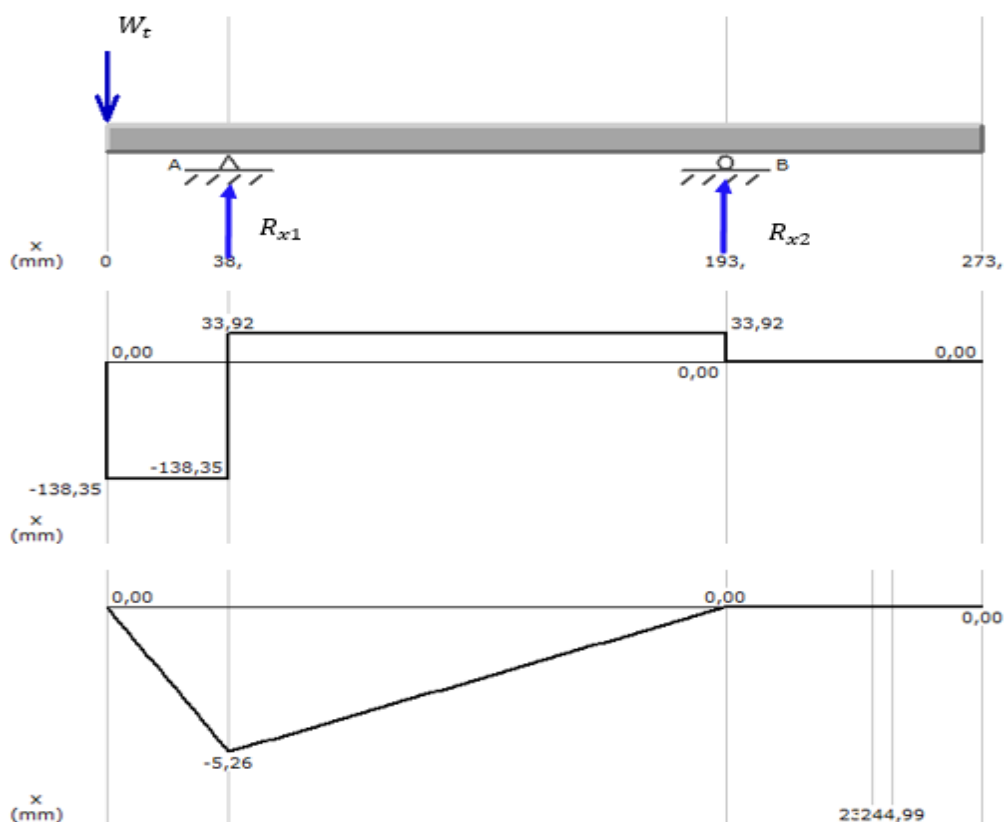


Figura 34 Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Z.

2.11.2. Cálculo del diámetro para el eje del movimiento TILT

Como se puede apreciar en los diagramas de momento flexionante, en los planos X-Z y Y-Z, el mayor momento es el punto A:

$$M_{yz} = 5.26 \text{ Nm} \quad M_{xz} = 1.91 \text{ Nm}$$

Por lo tanto, el momento máximo es:

$$M_t = \sqrt{M_{yz}^2 + M_{xz}^2} \quad M_t = \sqrt{1.91^2 + 5.26^2} = 5.29 \text{ Nm}$$

Para el cálculo del diámetro se utiliza la fórmula citada en (Budynas & Nisbett, 2011) de esfuerzos principales:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + Txy^2}$$

Los esfuerzos normales debido a la flexión para un eje circular están dados por:

$$\sigma_x = \frac{32M_t}{\pi D^3}$$

Los esfuerzos torsionales para un eje circular están dados por:

$$Txy = \frac{16T}{\pi D^3}$$

Donde T es el torque transmitido por el motor con la relación de 4:1

$$i = \frac{1}{4} = 0.25 \quad \therefore \quad i = \frac{T_{entrada}}{T_{final}}$$

$$T_{final} = \frac{3.52 \text{ Nm}}{0.25} \approx \approx 14.08 \text{ Nm}$$

Se reemplaza en la ecuación de esfuerzos principales y se deja en función del diámetro:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\frac{32(5.29 \text{ Nm})}{\pi D^3}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\frac{32(5.29 \text{ Nm})}{\pi D^3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{16(14.08 \text{ Nm})}{\pi D^3}\right)^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\frac{56.93}{D^3}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\frac{56.93}{D^3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{71.70}{D^3}\right)^2}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_2\sigma_1} \quad \therefore \quad \sigma_t = \frac{136.61}{D^3}$$

Se ha seleccionado el acero AISI 1018 (acero de transmisión) para el diseño de los ejes con un $S_y=235\text{MPa}$ (ANEXO C). Reemplazando el σ_t en la fórmula del esfuerzo del diseño y despejando el diámetro se tiene:

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} \quad \sigma_D = \sigma_t$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{235\text{MPa}}{136.61\text{Nm}/\Phi^3}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{FS * \sigma_t}{S_y}} \quad D = \sqrt[3]{\frac{2.5 * 136.61\text{Nm}}{235\text{MPa}}}$$

$$D = 0.0113\text{m}$$

El diámetro necesario para que el sistema sea seguro con un factor de seguridad 2.5, debe ser mayor o igual a 0.0113m, en el mercado no existe esta dimensión, por lo que se selecciona un diámetro estándar de $\frac{1}{2}$ " que equivale 0.0127 m el cual es mayor al calculado.

2.11.3. Diseño del eje de movimiento PAN

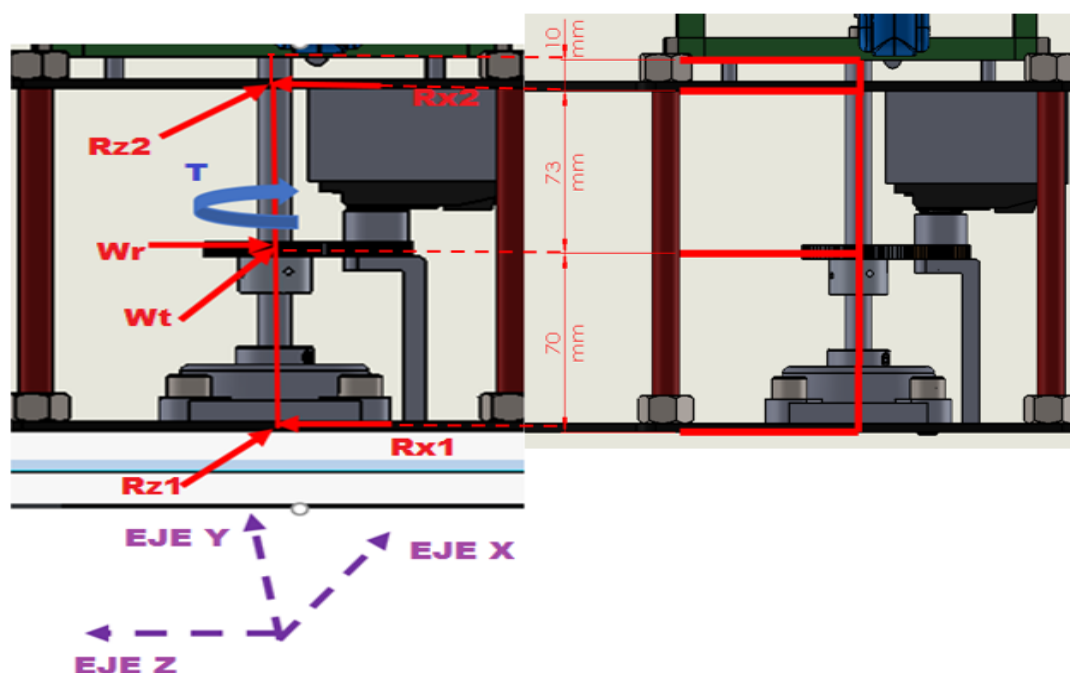


Figura 35 Componentes de fuerzas en los planos X-Y Z-Y

Sumatoria de fuerzas y momentos en el plano X-Y

$$\sum F_X = 0$$

$$-W_t + R_{x1} + R_{x2} = 0$$

$$R_{x1} + R_{x2} - 138.35N = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-0.038m(138.35N) + 0.155mR_{y2} = 0$$

$$R_{y2} = 33.91N$$

$$R_{y1} = 104.44N$$

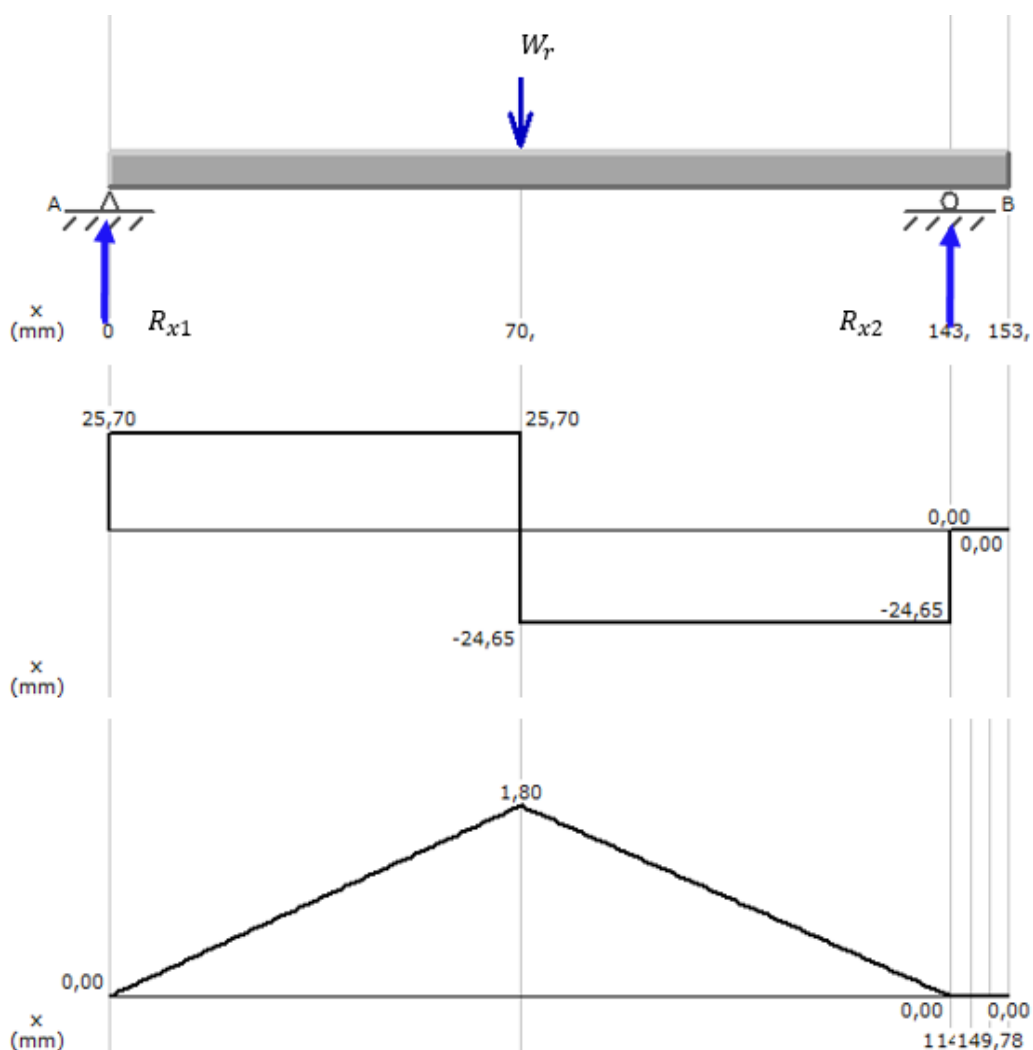


Figura 36 Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Y

Sumatoria de fuerzas y momentos en el plano Z-Y

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{x1} - W_r + R_{x2} = 0$$

$$R_{x1} + R_{x2} - 50.35N = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-0.070m(50.35N) + 0.143mR_{x2} = 0$$

$$R_{x2} = 24.64N$$

$$R_{x1} = 25.70N$$

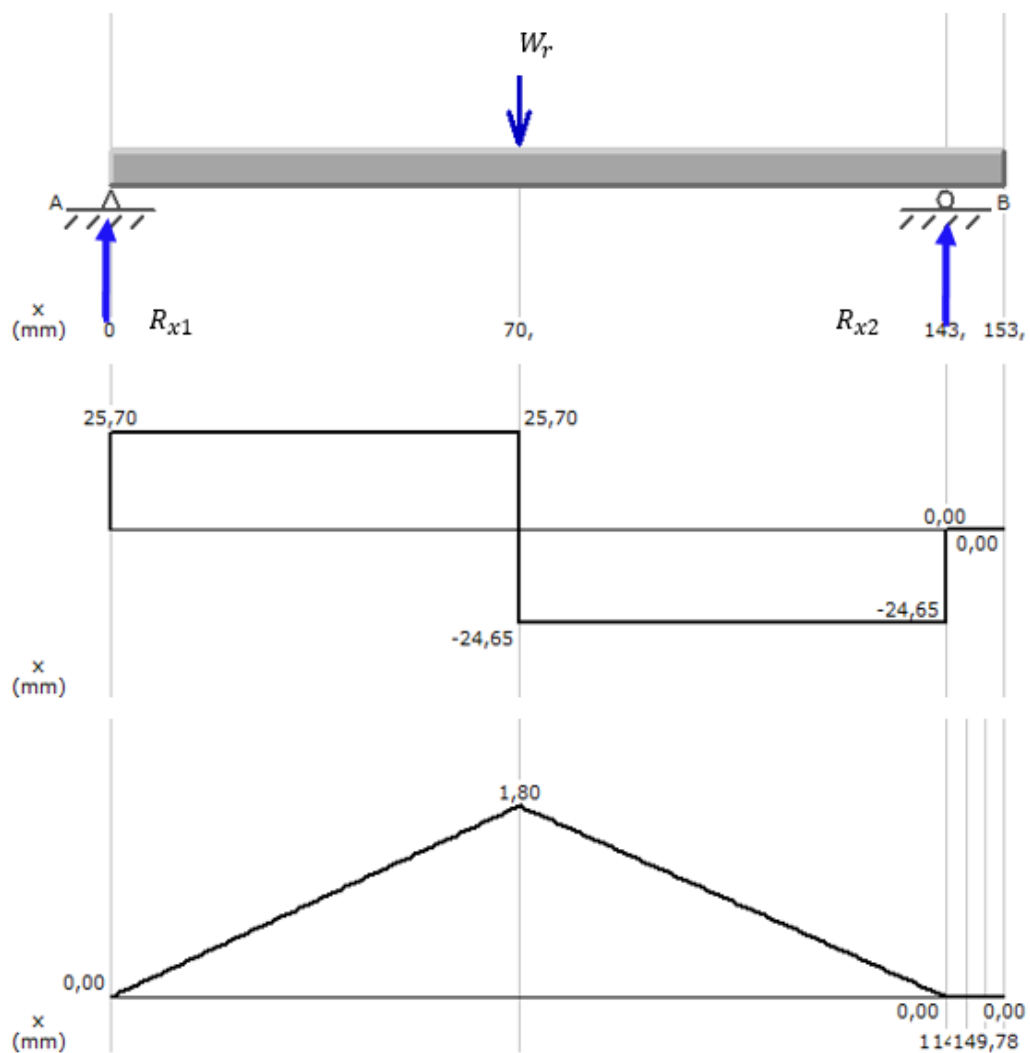


Figura 37 Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano X-Y

Sumatoria de fuerzas y momentos en plano Z-Y

$$\sum F_Z = 0$$

$$R_{z1} - W_r + R_{z2} = 0$$

$$R_{z1} + R_{z2} - 50.35N = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-0.070m(50.35N) + 0.143mR_{x2} = 0$$

$$R_{x2} = 67.72N$$

$$R_{x1} = 70.63N$$

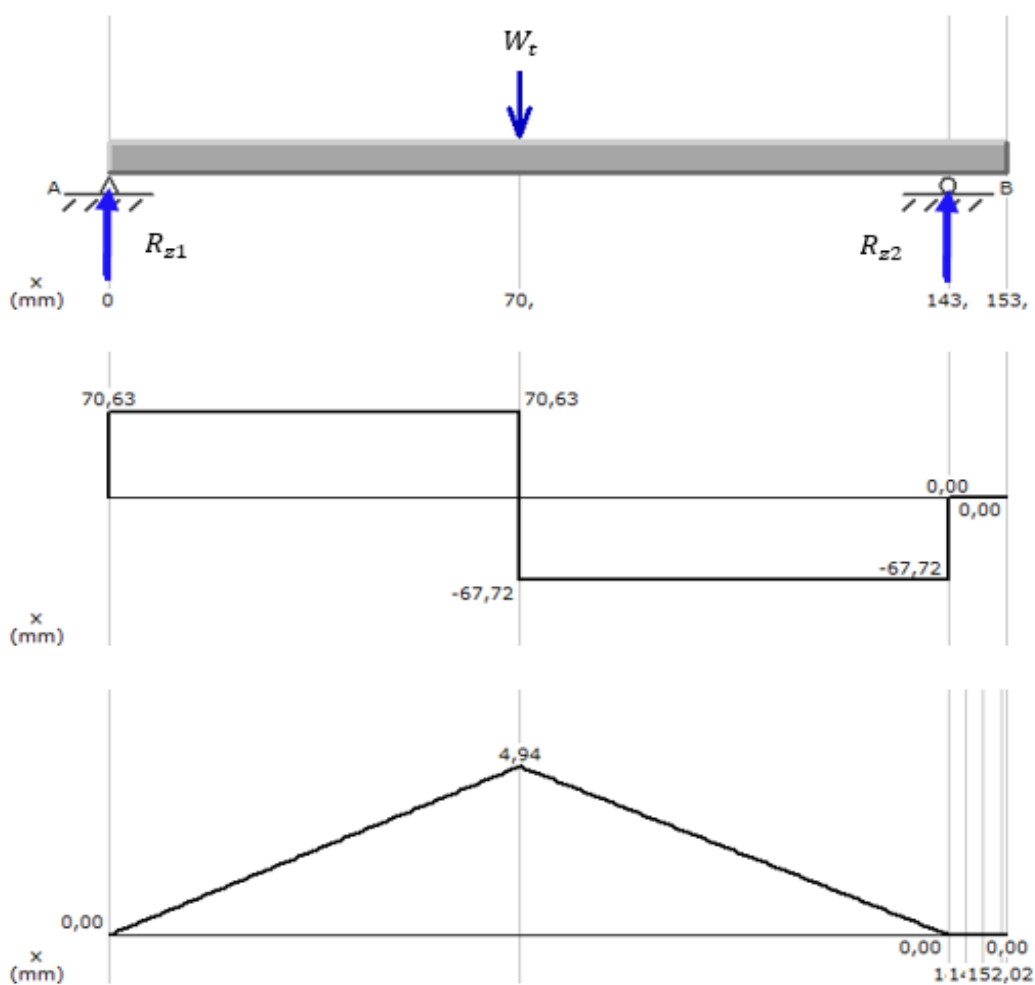


Figura 38 Diagrama de Fuerzas y momentos flectores en el plano Z-Y

2.11.4. Cálculo del diámetro para el eje del movimiento PAN

Como se puede apreciar en los diagramas de momento flexionante en los planos Z-Y y X-Y el mayor momento es:

$$M_{zy} = 4.94 Nm$$

$$M_{xy} = 1.8 Nm$$

$$M_t = \sqrt{M_{zy}^2 + M_{xy}^2} \quad \therefore \quad M_t = \sqrt{4.94^2 + 1.8^2} = 5.25 Nm$$

El sistema está expuesto a esfuerzos normales de compresión y flexión por lo que el esfuerzo total es:

$$\sigma_{t1} = \sigma_{\text{compresión}} + \sigma_{\text{flexión}}$$

Sabiendo que el esfuerzo de compresión es:

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{F}{A}$$

Donde:

F= fuerza

A= área contacto con la fuerza

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{F}{A} = \frac{F * 4}{\pi \Phi^2}$$

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{74.18 N * 4}{\pi \Phi^2}$$

El Esfuerzo de flexión está dado por:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{32 M_t}{\pi \Phi^3}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{32(5.25 Nm)}{\pi \Phi^3}$$

Donde:

M_t = momento flexionante máximo

ϕ =diámetro

Los esfuerzos torsionales para un eje circular están dados por:

$$T_{xy} = \frac{16Tf}{\pi D^3}$$

Donde T es el torque transmitido por el motor con la relación de 2:1

$$i = \frac{1}{2} = 0.5 \quad i = \frac{T_{entrada}}{T_{final}}$$

$$T_{final} = \frac{3.52Nm}{0.5} \approx \approx 7.04Nm$$

Si reemplazamos un diámetro cualquiera en el esfuerzo de compresión y esfuerzo de flexión podemos ver cómo cambia el esfuerzo total como en la Tabla 13.

Tabla 13

Comparación de esfuerzos total y compresión

Diámetro (m)	$\sigma_{compresión} (Pa)$	$\sigma_{flexión} (Pa)$	σ_{t1}	$\% \frac{\sigma_{compresión}}{\sigma_{t1}}$
0.0127	0.585M	26.106M	26.691	2.19
0.02	0.2361M	6.68M	6.9161	3.41
0.03	0.104M	1.98M	2.084	4.99

Como se observa en la tabla 13. el valor de $\sigma_{compresión}$ es mínimo para este caso no afecta considerablemente a la ecuación σ_{t1} , por lo que para calcular el diámetro aproximado para un diseño seguro se anula el $\sigma_{compresión}$ en la fórmula de σ_{t1} . Luego de tener el cálculo del diámetro aproximado este se estandarizará, con el cual se procederá a calcular un nuevo factor de diseño, que debe ser mayor al factor de diseño seleccionado para que el sistema sea seguro.

$$\sigma_{t1} = \sigma_{compresión} + \sigma_{flexión}$$

$$\sigma_{t1} = \sigma_{\text{compresión}} + 0$$

$$\sigma_x = \sigma_{t1}$$

Para el cálculo del diámetro se utiliza la fórmula citada en (Budynas & Nisbett, 2011) de esfuerzos principales:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + Txy^2}$$

Se reemplaza en las ecuaciones y se deja en función del diámetro:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\frac{32(5.25Nm)}{\pi\Phi^3}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\frac{32(5.25Nm)}{\pi\Phi^3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{16(7.04Nm)}{\pi\Phi^3}\right)^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{53.47/\Phi^3}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{53.47/\Phi^3}{2}\right)^2 + \left(\frac{71.70}{\Phi^3}\right)^2}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_2\sigma_1}$$

$$\sigma_t = 132.97Nm/\Phi^3$$

Reemplazando el σ_t en la fórmula del esfuerzo del diseño y despejando el diámetro se tiene:

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_t} = \frac{235MPa}{132.97Nm/\Phi^3}$$

$$\Phi = \sqrt[3]{\frac{FS * \sigma_t}{Sy}}$$

$$\Phi = \sqrt[3]{\frac{2.5 * 132.22Nm}{235MPa}}$$

$$\Phi = 0.01120m$$

El diámetro necesario para que el sistema sea seguro con un factor de seguridad 2.5, es mayor 0.01120mm, en el mercado no existe esta dimensión

por lo que se selecciona un diámetro estándar de $\frac{1}{2}$ " que equivale 0.0127 m el cual es mayor al calculado.

Teniendo como dato el nuevo diámetro de 0.0127m el nuevo factor de seguridad es:

$$\sigma_{t1} = \sigma_{\text{compresión}} + \sigma_{\text{flexión}}$$

Esfuerzo de compresión

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{F}{A} = \frac{F * 4}{\pi \Phi^2}$$

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{74.18N * 4}{\pi 0.0127m^2} = 0.585MPa$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{32M_t}{\pi \Phi^3}$$

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{32(5.25Nm)}{\pi 0.0127m^3} = 26.106MPa$$

Esfuerzo total

$$\sigma_{t1} = 0.585MPa + 26.1064MPa = 26.69MPa$$

Esfuerzos torsionales

$$T_{xy} = \frac{16T}{\pi \Phi^3} \quad \therefore \quad T_{xy} = \frac{16 * 7.04Nm}{\pi 0.0127^3} = 17.50MPa$$

Esfuerzos principales

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + T_{xy}^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{26.69MPa}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{26.69MPa}{2}\right)^2 + 17.50MPa^2}$$

$$\sigma_1 = -24.91MPa \quad \sigma_2 = 51.59MPa$$

$$\sigma_t = \sqrt{24.91MPa^2 + 51.59^2} = 51.59MPa$$

$$\sigma_t = 67.58MPa$$

Factor de diseño

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_t}$$

$$FS = \frac{235Mpa}{67.58MPa} = 3.47$$

El FS de 3.47 es mayor al de 2.5 por lo que el sistema tiene un diseño seguro.

2.12. Análisis estructural de partes en SolidWorks.

En esta sección se muestra el análisis estático de los elementos críticos del sistema PAN-TILT como también de los ejes previamente calculados. Se realiza la comparación utilizando SolidWorks y la fórmula del esfuerzo de diseño.

Para el análisis estructural se consideran 2 criterios, la tensión máxima de Von Mises y el factor de seguridad.

2.12.1. Tensión máxima de Von Mises

La teoría dice que un material dúctil comienza a ceder en una posición cuando la tensión de Von Mises es mayor o igual al límite de tensión. En algunos casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. (Solidworks)

$$\sigma \geq Sy$$

2.12.2. Factor de seguridad

El factor de seguridad es utilizado en el diseño de piezas con la finalidad de considerar los casos que pueden ocurrir cuando las fuerzas reales actúan sobre una pieza. (Fullmecanica, 2014)

2.12.3. Eje del sistema PAN

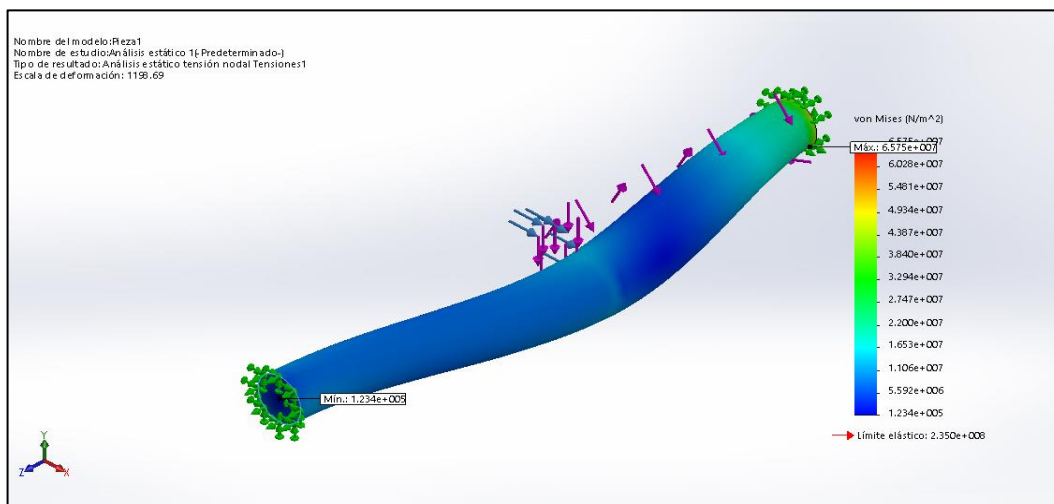


Figura 39 Von Mises eje PAN.

La mayor tensión de Von Mises se encuentra donde recibe todo el peso de la estructura superior con valor de 65.75MPa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material es de 235MPa (AISI 1018 acero de transmisión), por lo que se considera un diseño seguro, al cumplirse la siguiente relación:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$65.75MPa < 235MPa$$

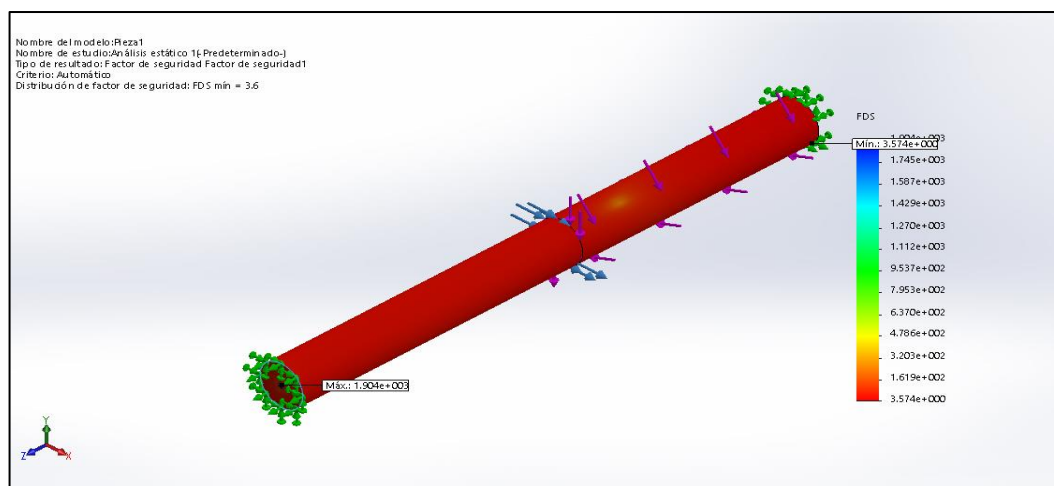


Figura 40 Factor de seguridad eje PAN.

El valor mínimo del factor de seguridad calculado tiene un valor de 3.6, valor que es mayor a 2.5 el cual es considerado para el diseño de las piezas.

2.12.4. Eje del sistema TILT

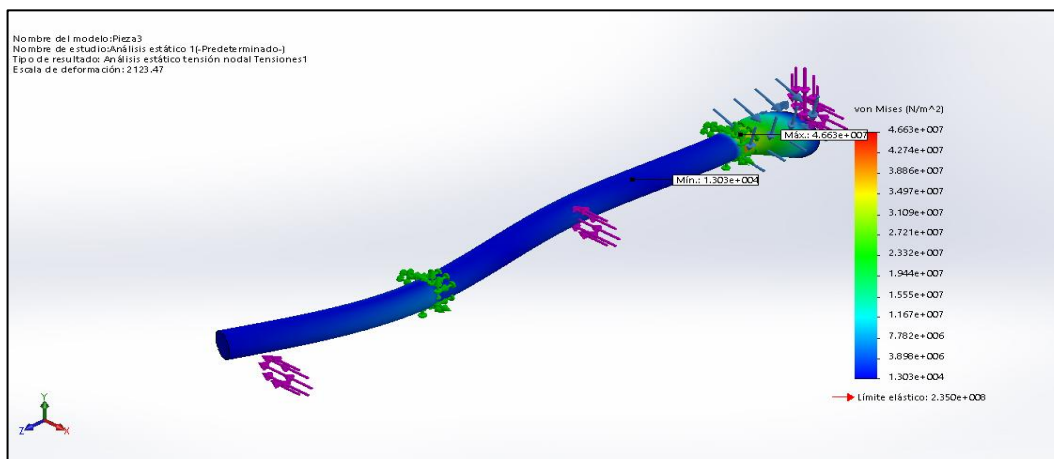


Figura 41 Von Mises eje TILT.

La mayor tensión de Von Mises tiene un valor de 46.63MPa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material es de 235MPa (AISI 1018 acero de transmisión), por lo que se considera un diseño seguro, al cumplirse la siguiente relación:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$46.63MPa < 235MPa$$

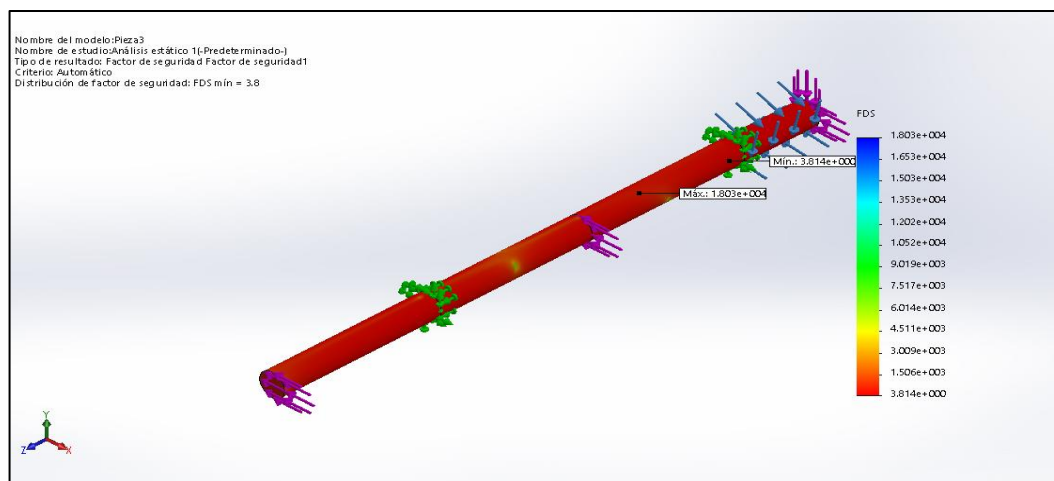


Figura 42 Factor de seguridad eje TILT.

El valor mínimo del factor de seguridad calculado tiene un valor de 3.6, valor que es mayor a 2.5 el cual es considerado para el diseño de las piezas.

2.12.5. Análisis de brazos

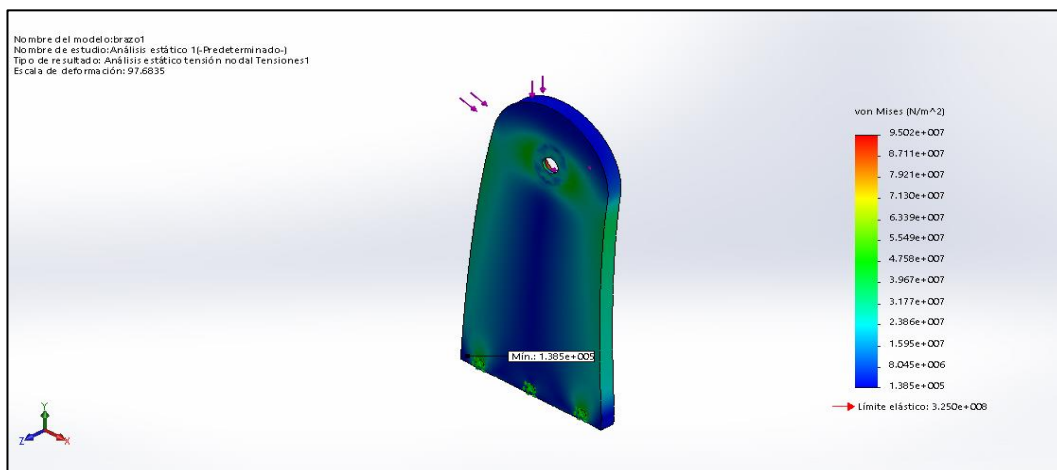


Figura 43 Von Mises de los brazos.

La mayor tensión de Von Mises tiene un valor de 95.02MPa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material es de 325MPa (duraluminio 7021, las propiedades del material se observan en el ANEXO D, por lo que se considera un diseño seguro, al cumplirse la siguiente relación:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$95.02MPa < 325MPa$$

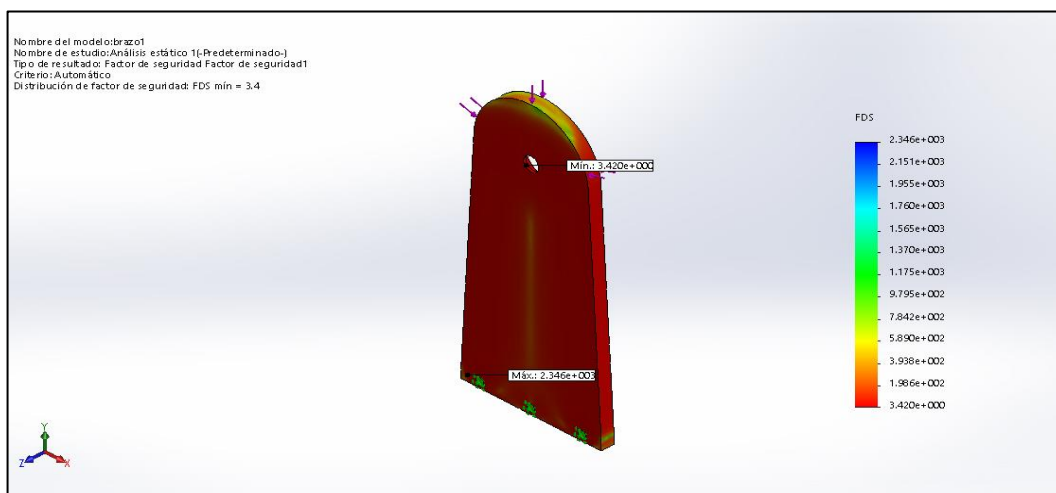


Figura 44 Factor de seguridad de brazos.

El valor mínimo del factor de seguridad calculado tiene un valor de 3.4, valor que es mayor a 2.5 el cual es considerado para el diseño de las piezas.

2.12.6. Bases hexagonales.

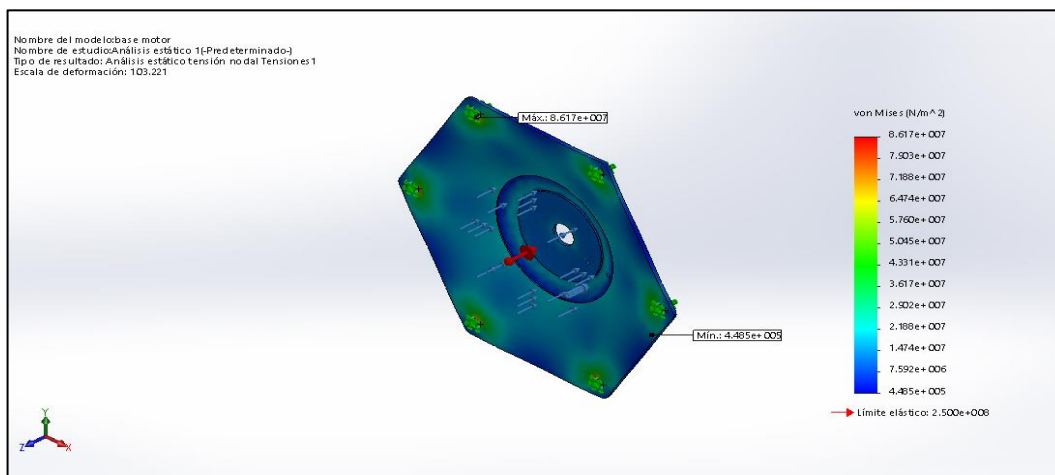


Figura 45 Von Mises de base hexagonal.

La mayor tensión de Von Mises se encuentra donde recibe todo el peso de la estructura con valor de 86.17MPa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material es de 250MPa, por lo que se considera un diseño seguro, al cumplirse la siguiente relación:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$86.17MPa < 250MPa$$

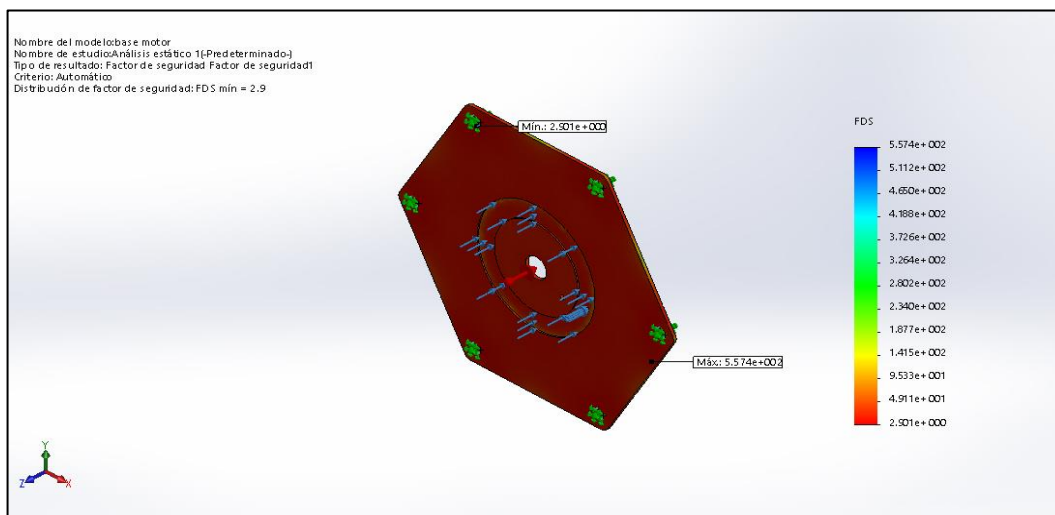


Figura 46 Factor de seguridad base hexagonal.

El valor mínimo del factor de seguridad calculado tiene un valor de 2.9, valor que es mayor a 2.5 el cual es considerado para el diseño de las piezas.

2.12.7. Soportes de bases hexagonales

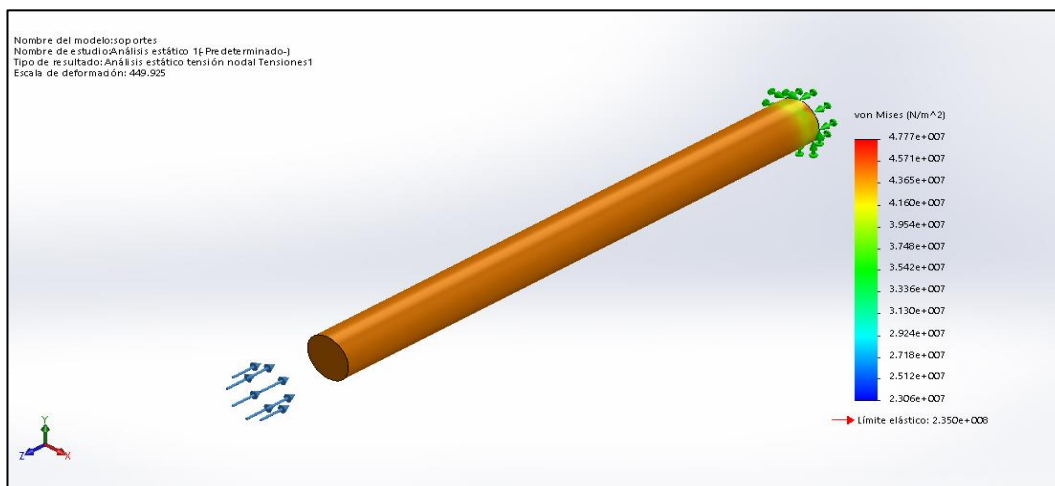


Figura 47 Von Mises soportes hexagonales.

La mayor tensión de Von Mises se encuentra donde recibe todo el peso de la estructura de la base hexagonal con valor de 47.77Mpa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material es de 235Mpa (AISI 1018 acero de transmisión), por lo que se considera un diseño seguro, al cumplirse la siguiente relación:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$47.77MPa < 235MPa$$

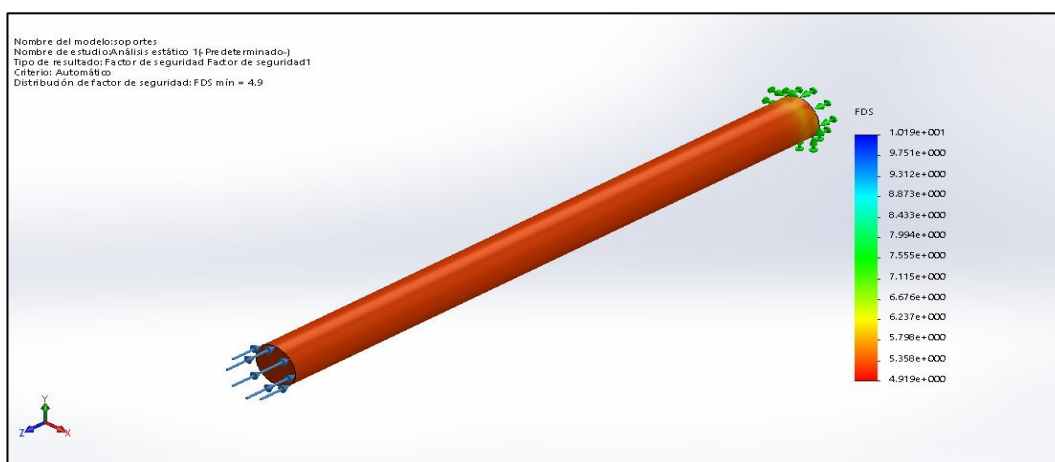


Figura 48 Factor de seguridad de soportes hexagonales.

El valor mínimo del factor de seguridad calculado tiene un valor de 4.9, valor que es mayor a 2.5 el cual es considerado para el diseño de las piezas.

En el ANEXO B se muestran todas las acotaciones de las piezas del sistema PAN TILT.

2.13. Diseño de la placa electrónica.

El diseño de la placa electrónica fue realizado por el software libre en línea EASYEDA, la placa electrónica tiene una lista de componentes eléctricos para el control de los motores y para la activación de componentes eléctricos.

- *Arduino micro*. Necesaria para el control de los motores y dispositivos adicionales
- *Bornera para Fuente 6V*. Alimentación entre la placa y la fuente.
- *3 borneras para control de los 3 servomotores*. Alimentación y control de los servomotores
- *1 relé* para la activación del láser.
- *Diodo* para protección contra corrientes negativas.
- *Resistencias*. Para obtener señales binarias 1 y 0 utilizando el Switch
- *Switch de seguridad* para la activación de la marcadora.

La señal de servomotor para el movimiento PAN está conectado en el pin 9 (S1), para el movimiento TILT el servomotor está conectado en el pin 10 (S2) y para el movimiento del gatillo en el pin 11 (S3), la señal que activa el láser es enviada por el pin A1(S8) que es conducida por un transistor 2N3904, la cual aumenta la corriente para activar el relé que activa o desactiva el láser que apunta a la persona. El pin A0 (S5) permite activar el disparo de la marcadora, la cual es activada cuando el Switch está en estado alto, en el estado bajo está desactivado. Todo el circuito es alimentado por VCC y referenciado por GND.

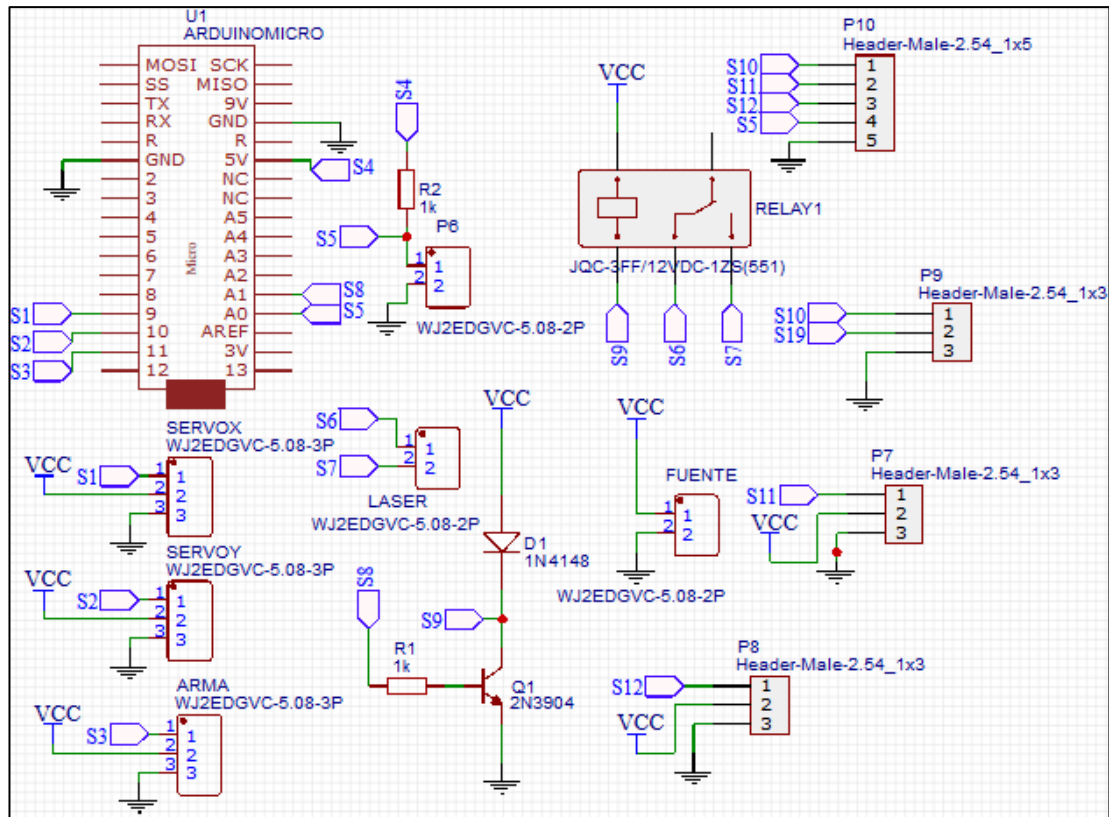


Figura 49 Circuito de control.

Para el diseño del PCB es necesario considerar el consumo de todos los elementos que es 6A. Para obtener el ancho de la pista crítica (alimentación de los servomotores), y asegurar que el diseño de la placa electrónica es necesario utilizar la siguiente fórmula, basados en el estándar de circuitos impresos ANSI-IPC1221. (Cuningan, s.f.)

$$\text{Ancho} = \left\{ \left[I / (k1 * \Delta T^{k2}) \right]^{\frac{1}{k3}} \right\} / (L * 1,378)$$

Donde:

- *Ancho* se obtiene en la unidad mils que es la milésima parte de una pulgada.
- *I* simboliza la corriente máxima.
- *K1* es una constante definida para una placa interna (más de dos capas) 0.015 y para una placa externa (una sola capa) 0.0647, para este caso es una sola capa (externa).

- $K2$ es una constante definida para una placa interna 0.5453 y para una placa externa 0.428
- $K3$ es una constante definida para una placa interna 0.7349 y para una placa externa 0.6732
- L representa el grosor de la pista. $\frac{1\text{onz}}{\pi e^2}$
- ΔT incremento de temperatura. A soportar en la placa para este caso se supone un incremento de 10°C .

Reemplazando en la fórmula se obtiene:

$$\text{Ancho} = \left\{ \left[\frac{6A}{(0.0647 * 10^\circ\text{C}^{0.428})} \right]^{\frac{1}{0.6732}} \right\} / (1 * 1,378)$$

$$\text{Ancho} = 140\text{mils.}$$

EL PCB de la placa debe tener un mínimo de 140 mils para que las pistas puedan soportar las corrientes de alimentación de los servomotores.

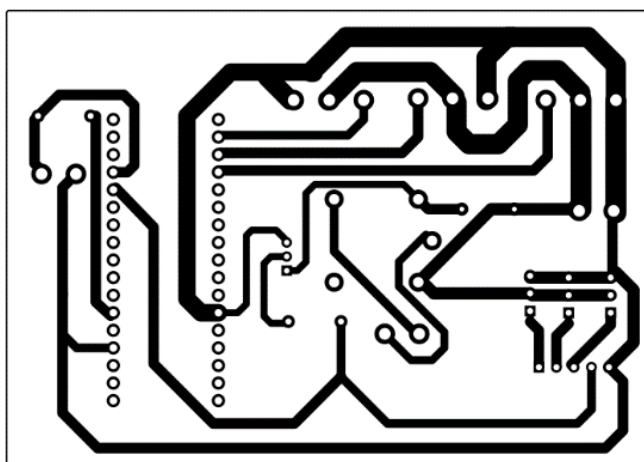


Figura 50 PCB del circuito de control.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL ALGORITMO

En el desarrollo del algoritmo de visión artificial para la detección y seguimiento de personas es necesario utilizar las librerías de OpenCV 3, ya que es una versión que contiene más características de seguimiento de objetos en comparación en su segunda versión.

El algoritmo en su fase detección y búsqueda utilizada clasificadores en cascada con el descriptor LBP, ya entrenados por terceros. Posteriormente utiliza un algoritmo de seguimiento de la persona detectada a través de filtros de correlación kernelizados KCF (Kernelized Correlation Filters) la cual permite que no pierda el objeto al realizar varias posiciones y movimientos.

El algoritmo tiene la capacidad de controlar una cámara IP de videovigilancia a través del ZOOM óptico para el seguimiento de la persona a distancias menores a los 70 metros a diferentes horas de día en ambientes externos controlada con comandos CGI (Common Gateway Interface), Interfaz de entrada común, las cuales permiten controlar las configuraciones, recibir datos y características propias de la cámara. El algoritmo controla también el movimiento del mecanismo realizado por señales pwm que controlan a 3 servomotores (PAN, TILT, gatillo). Para la visualización del proceso se utiliza una interfaz gráfica desarrollada en Qt mediante la utilización de una cámara IP de videovigilancia, la cual puede ser utilizada en diferentes condiciones ambientales (día, tarde y noche).

En sí el algoritmo está dividido en 4 etapas: Detección de personas, seguimiento de personas, control y neutralización de personas. Estas etapas son mostradas en el diagrama de flujo de la Figura 51.

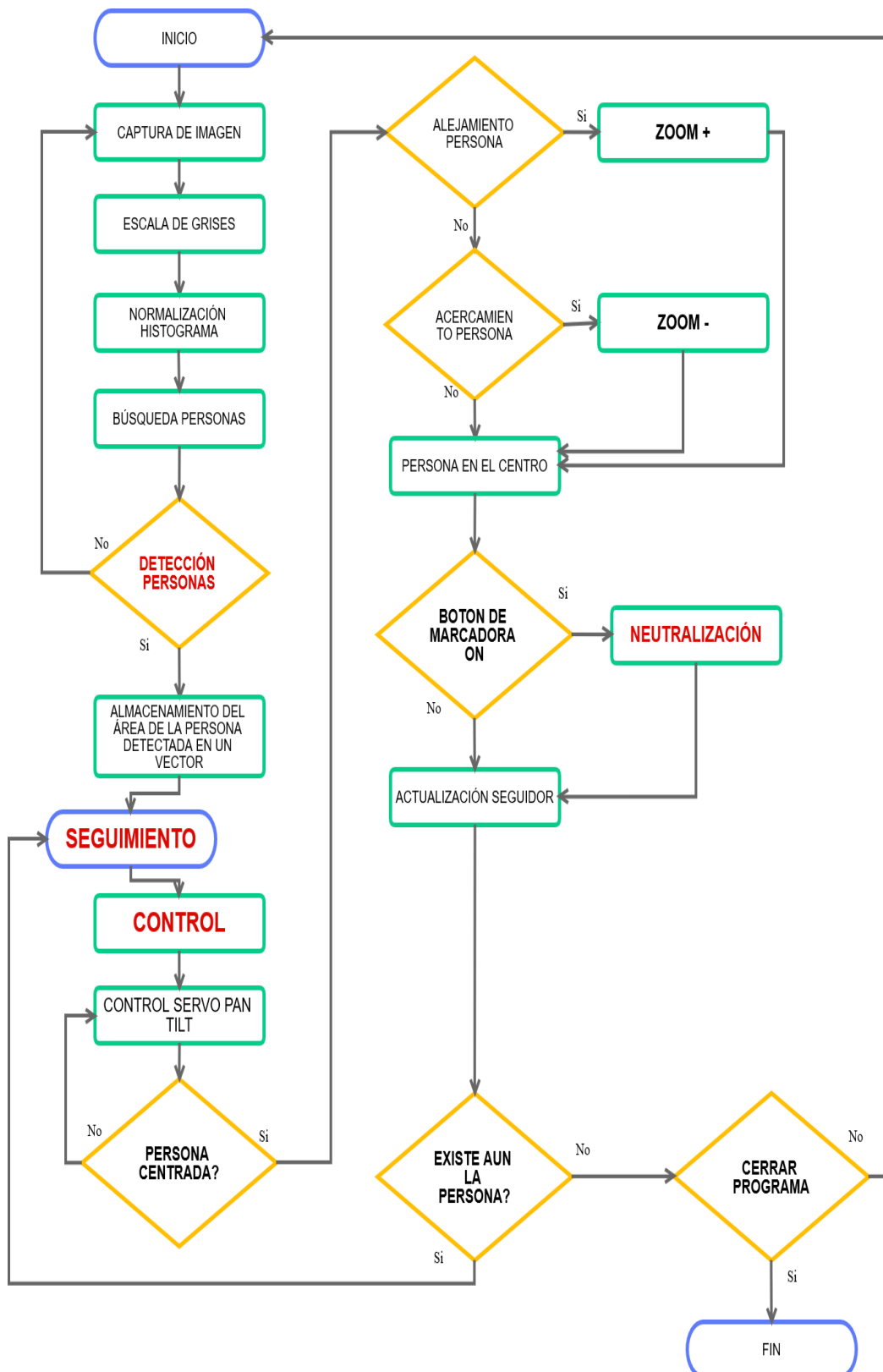


Figura 51 Diagrama de flujo del algoritmo.

3.1. Algoritmos de detección de personas

3.1.1. Introducción

La detección de objetos en la actualidad ha tomado gran importancia en el ámbito de la seguridad utilizando cámaras de videovigilancia. Estas funcionan automáticamente cuando detectan la presencia de un objeto o persona, pero sin saber de qué se trata ese objeto. Para que un sistema sea autónomo y robusto, es necesario discriminar ciertos objetos que en su totalidad son detectados debido al movimiento o ruido en un ambiente. Para esto se utiliza la visión artificial. Si se requiere utilizar un programa para la detección de las personas es necesario contar con una base de datos, para que el ordenador pueda reconocer si es persona o no. La detección de personas requiere de las siguientes características:

- **Robusto.** La detección de personas debe superar las diferentes condiciones ambientales y de luz, con una tasa de detección alta positiva.
- **Tiempo real.** Detección de personas en vivo. Es decir, a la misma hora y al mismo tiempo que se visualiza el video
- **Detección de personas.** Diferenciación dentro de una imagen cuando es un ser humano o persona
- Ya que la cámara IP tiene diferentes parámetros a controlar se requiere un costo computacional muy elevado.

Existen bases de datos creados por OpenCV y terceros para la detección de personas que para su entrenamiento utilizan AdaBoost.

3.1.2. AdaBoost y clasificador en cascada.

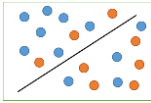


AdaBoost

Para la creación de una cascada de clasificadores, se requiere de un método de entrenamiento artificial supervisado utilizando el algoritmo llamado AdaBoost (Adaptative Boosting).

El Boosting consiste en crear un clasificador robusto tomados de una serie de clasificadores sencillos o débiles, fue desarrollado por Freund y Schapire 1996 [Freund and Schapire E., 1996]. AdaBoost propone entrenar los clasificadores sencillos de manera iterativa, de modo que el nuevo clasificador se encamine en los datos erróneos obtenidos por su predecesor, de tal forma que el algoritmo se adapta y mejora los resultados. Para que el clasificador sea robusto, se debe entrenar varios clasificadores débiles, es decir se debe realizar un reentrenamiento de varias iteraciones. (Parra Barrero, 2015)

Tabla 14

Representación visual del proceso AdaBoost.

CLASIFICADOR DEBIL 1		La línea negra representa el clasificador débil
CLASIFICADOR DEBIL 2		En la segunda iteración se puede observar que los pesos aumentan
CLASIFICADOR DEBIL 3		Un clasificador final es la unión de los clasificadores débiles.

Clasificador en cascada

Mediante una cascada atencional se puede construir clasificadores pequeños y eficientes que eliminen objetos negativos (formas de las que no se debe buscar) únicamente manteniendo los objetos positivos.

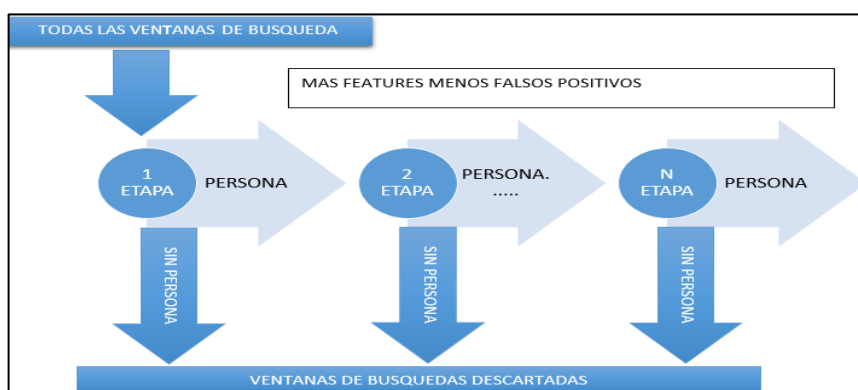


Figura 52 Descripción de una casca atencional.

Para la detección de personas se ha decidido comprobar y utilizar la efectividad y funcionamiento de manera rápida, las bases de entrenamiento de los métodos de aprendizaje (HAAR, LBP (Patrones locales Binarios), HOG) realizadas por OpenCV y por terceros realizados por Vision-ary. (Vision-ary, 2015). Las pruebas fueron realizadas en las mismas condiciones de luz y de tiempo, con la finalidad de saber cuál de los métodos es más preciso en la detección de personas. Cuando una persona o ser humano es detectado, es considerado como una detección positiva (+), cuando una persona no es detectada o un objeto que no es persona es detectado como persona es considerada como detección falsa o negativa (-).

Tabla 15

Datos pruebas detección de personas.

	LBP visionary.net pedestrian_cascade	HOG (OpenCV) hogcascade_pedestrians	HAAR (OpenCV) haarcascade_fullbody
(+)	93	83	85
(-)	7	17	15
Total	100	100	100

Como se puede observar en la Figura 53, la base de datos de Vision-ary utilizan el método de LBP, el cual presenta menos detecciones negativas con realización a las bases de entrenamiento de HOG y HAAR incluidos en OpenCV. Debido a que HOG(fullbody) y HAAR (pedestrian), presentan más detecciones falsas, cuando la cámara es enfocada hacia postes eléctricos, árboles o ciertos animales grandes como por ejemplo ganado vacuno. El LBP (pedestrian cascade) no presenta estos fallos, pero si se reduce su detección cuando la cámara está de frente al sol, o a su vez está enfocada a la luz de un poste o faros de luz. También discrimina a los animales como también a los automotores.

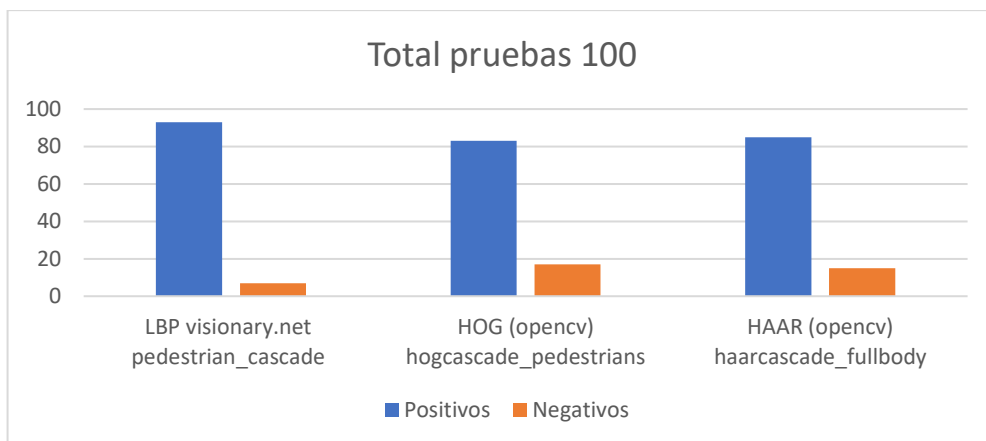


Figura 53 Comparativa de métodos de detección de personas.

Según el autor de Vision-Ary la base de datos tiene las siguientes características:

- Muestras positivas 47,000 aprox.
- Muestras negativas (subregiones que contienen muestras exteriores e interiores).
- Tamaños de imagen de entrenamiento ancho=26 alto=74.
- Tiempo de entrenamiento: ~4 días. (Vision-ary, 2015).

Para la detección de personas de este proyecto se utiliza la base de datos de Vision-Ary utilizando LBP (Vision-ary, 2015) ya que posee mejores detecciones en relación a los otros dos detectores de OpenCV (HAAR y HOG), esta base de datos está entrenada en ambientes interiores y exteriores lo cual es necesario para la detección de las personas en diferentes ambientes y condiciones de luz.

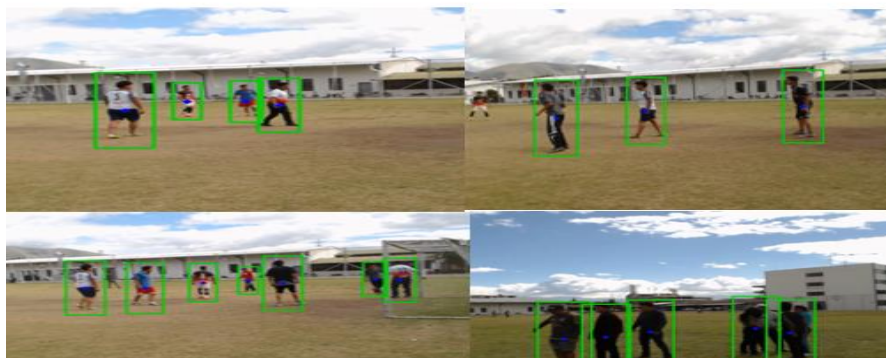


Figura 54 Detección de personas usando LBP.



Figura 55 Detección de personas usando LBP (nocturna).

3.1.3. LBP (Patrones locales Binarios)

Los LBP (Local Binary Patterns) son descriptores de textura, estos se construyen comparando cada píxel con su vecindad de píxeles. Para construir un LBP es necesario cambiar la imagen a escala de grises, a CONTINÚACIÓN, se selecciona la vecindad de un tamaño definido que rodea a cada píxel central, posteriormente se calcula el valor LBP para el píxel central y se almacena en la matriz central 2D con las mismas dimensiones de la imagen original. (Hanzra, 2015).

Construcción de un LBP

Para construir un LBP es necesario tomar un vecindario de 8 píxeles, que rodean el píxel central con la finalidad de establecer el umbral y construir un conjunto de 8 dígitos binarios. (Rosebrock, 2015)

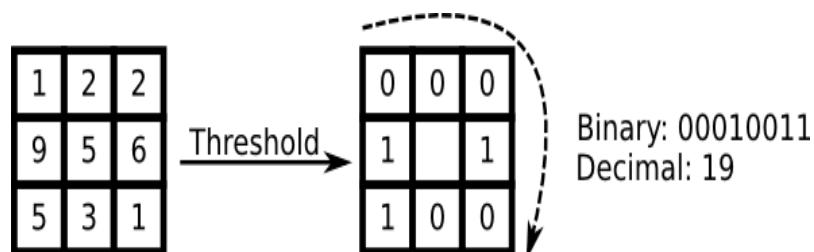


Figura 56 Vecindario de un píxel central (5).

Fuente: (OpenCV, s.f.)

Como se puede observar en la Figura 56 el píxel central es el número 5 los valores que sean menores a 5 tendrán un valor binario de 0 mientras que los valores mayores o iguales a 5 tienen un valor binario de 1, con esto se puede obtener el número binario de todas las posiciones de la matriz y formar el valor de LBP decimal. La umbralización puede empezar desde cualquier píxel contiguo al píxel central y puede ser generado en sentido horario y anti horario. (Hanzra, 2015).

La descripción matemática del LBP puede estar expresado como:

$$LBP(X_c, Y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} 2^p s(i_p - i_c)$$

Con (X_c, Y_c) como píxel central i_c y i_p , siendo la intensidad del píxel vecino, p es total de número píxeles de la matriz (en la Figura 56 se muestra una matriz de 3x3 por lo tanto $p = 9$) (OpenCV, s.f.), s es la función definida como:

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{else } x < 0 \end{cases}$$

Cuando el valor LBP es encontrado este es remplazado en la matriz LBP de la imagen de salida en la misma posición del valor de píxel y con la misma dimensión que la imagen de entrada u original, como se muestra en la Figura 57. Este proceso se realiza con cada uno de los píxeles de la imagen.

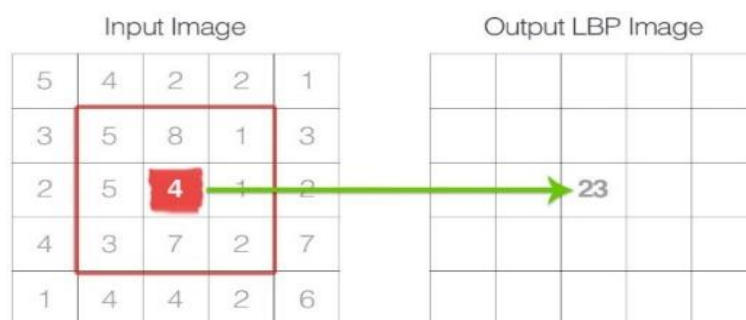


Figura 57 Imagen inicial e imagen Final LBP.

Fuente: (Rosebrock, 2015).

El vector de características está representado en el histograma de la matriz de salida. Como la vecindad tiene $2^8 = 256$ patrones, la matriz LBP tiene

un valor mínimo de 0 y un máximo de 255, lo que nos permite construir un histograma de 256 bits de códigos LBP.

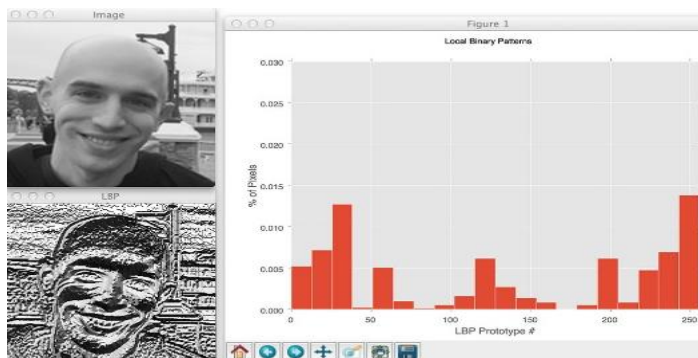


Figura 58 Vector de características LBP.

Fuente: (Rosebrock, 2015)

En el caso anterior se puede observar que su vecindario es constante (3x3), se puede trabajar con vecindarios variables para vecindarios de otro tipo de escala, para esto se utiliza vecindarios circulares.

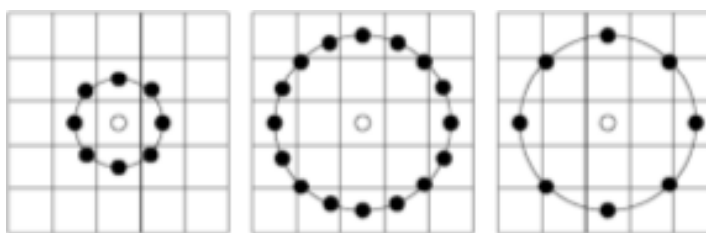


Figura 59 Vecindarios circulares.

Fuente: (Hanzra, 2015)

La representación matemática para obtener los valores LBP mediante vecindarios circulares para un punto dado (X_c, Y_c) de la posición del vecino (X_p, Y_p) , $p \in P$ puede ser calculado por:

$$x_p = x_c + R \cos\left(\frac{2\pi p}{P}\right)$$

$$y_p = y_c - R \sin\left(\frac{2\pi p}{P}\right)$$

Dónde R es el radio del círculo y P es el número de puntos de muestra. (OpenCV, s.f.).

El descriptor LBP es robusto frente a transformaciones de escalas de grises, en la Figura 60. se puede comprobar que la imagen LBP es casi la misma frente a diferentes imágenes de entrada en escala de grises.

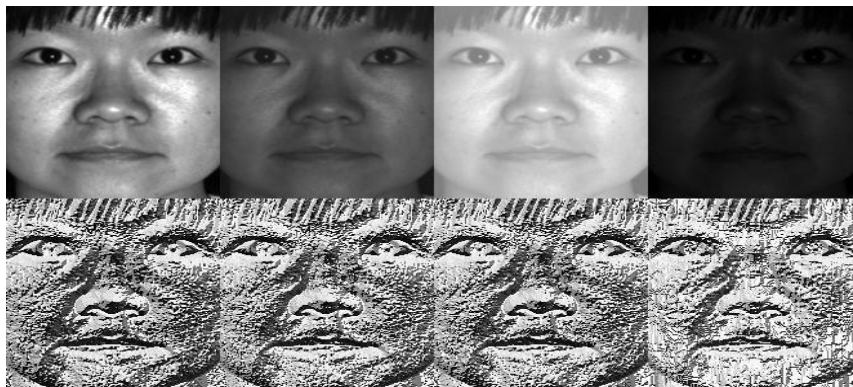


Figura 60 LBP frente a diferentes escalas de grises.

Fuente: (Hanzra, 2015)

3.1.4. Implementación del algoritmo de detección en Qt.

OpenCV incluye funciones para detectar objetos como también para entrenar una cascada a través del algoritmo de Viola Jones. El código se encuentra ubicado en `OpenCV\sources\modules\objdetect\src` según el lugar donde se haya descargado los ficheros de OpenCV. El código "cascadetect.cpp" tiene funciones de detección para cascadas de tipo HAAR, HOG y LBP.

Para realizar la detección de personas es necesario realizar un tratamiento digital de las imágenes:

- Transformar a escala de grises.
- Normalizar el histograma.
- Realizar una compensación de luz y enfoque controlados por la cámara IP automáticamente.

Las funciones de detección se complementan en la clase `CascadeClassifier` y la función para la detección de un objeto es `detectMultiScale`, cuyos parámetros son los siguientes:

C++: void CascadeClassifier: detectMultiScale (const Mat& **image**, vector<Rect>& **objects**, double **scaleFactor**=1.1, int **minNeighbors**=3, int **flags**=0, Size **minSize**=Size (), Size **maxSize**=Size ())

- **cascade** –se carga desde un fichero XML or YAML file utilizando Load().
- **image** – Matriz de tipo CV_8U contiene una imagen con objetos detectados.
- **objects** – vector de rectángulos donde cada rectángulo contiene al objeto detectado.
- **scaleFactor** – parámetro que especifica el tamaño de la imagen a reducir o ampliar.
- **minNeighbors** – parámetro que especifica cuantos vecinos debe tener cada rectángulo candidato para que sea aceptado.
- **flags** – selecciona algunos formatos para formatos de cascada antiguos
- **minSize** – tamaño mínimo posible
- **maxSize** –tamaño máximo posible

Cuando el algoritmo de detección ha encontrado una persona, guarda la información en un vector, que posteriormente es utilizado por el algoritmo de seguimiento. Cuando el algoritmo de seguimiento pierde la referencia de la persona, utiliza nuevamente el algoritmo de detección de la persona de manera cíclica.



Figura 61 Detección de personas en el día.



Figura 62 Detección de personas en la noche.

3.2. Algoritmos de Seguimiento de personas

El algoritmo de seguimiento capta la información de los detectores de tramas anteriores para crear un modelo de movimiento, que fundamentalmente es ubicación, velocidad y dirección, así se puede predecir la nueva ubicación del objeto.

El algoritmo de detección, divisa una forma u objeto, como por ejemplo una cara, persona, animal, etc. Dependiendo para lo que este configurada y la aplicación, en un programa en tiempo real se necesita un seguimiento que no realice acciones de detección de personas de manera cíclica, a excepción de que se pierda la referencia. El seguimiento tiene algunas ventajas frente a la detección:

- **Seguimiento es más rápido que la detección:** para realizar el seguimiento de un objeto se utiliza la información anterior del detector como la ubicación y dirección, esto utiliza el seguidor para predecir la ubicación del objeto, a diferencia del detector que siempre empieza desde cero.
- **Seguimiento puede ayudar cuando falla la detección:** dentro del proceso de detección de un objeto en un video, este objeto puede ser ocluido por otro objeto, el detector posiblemente fallará mientras que el algoritmo de seguimiento tiene la capacidad de adaptarse de mejor manera a la oclusión.

OpenCV 3 contiene la implementación de nuevos algoritmos de seguimiento: Boosting, mil, KCF, TLD, MEDIANFLOW o MILL. (Mallick, 2016)

El seguimiento para las personas en OpenCV se realiza a través del algoritmo KCF Kernelized Correlation Filters (Filtros de Correlación Kernalizados) ya que tiene mejores resultados en comparación con los otros seguidores de OpenCV 3. Con los datos de las coordenadas anteriores del detector se puede predecir el siguiente movimiento. KCF en un rango de pruebas de 50 analiza el número de muestras vs la precisión, en el cual supera a los seguidores de última generación como DCF Dual Correlation Filter (Filtro de correlación doble), Struck (Seguimiento de salida estructurado con núcleos), TLD Tracking-Learning-Detection, MOSSE (Seguimiento de objetos visuales utilizando filtros de correlación adaptativa), MILL, ORIA, CT Real-time Compressive Tracking (Seguimiento de Compresión en tiempo real) como se observa en la Figura 63. Su principal ventaja es mucho más rápida, por ende, se reducen considerablemente el coste computacional y permite una implementación más simple. (Henriques, 2015)

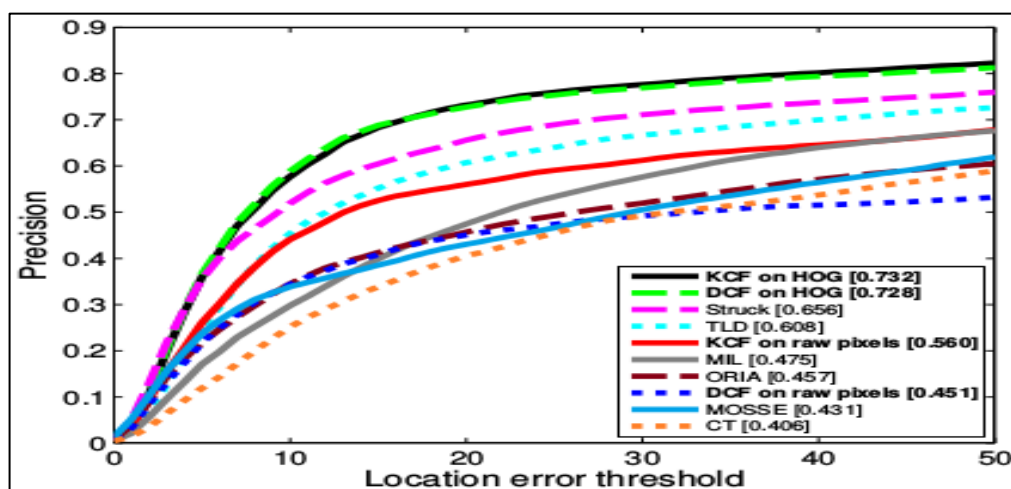


Figura 63 Pruebas del KCF con algoritmos de última generación.

Fuente: (Henriques, 2015)

3.2.1. KCF Kernelized Correlation Filters

Los filtros kernalizados de correlación KCF utilizan ecuaciones de regresión, es decir, son aquellas que conociendo el valor de la variable posición (x, y) podemos aproximar al siguiente valor de movimiento.

Las regresiones lineales tienen la capacidad de predecir el movimiento en una dirección, mientras que las regresiones no lineales tienen la capacidad de predecir el movimiento en varias direcciones, su principal desventaja es más difícil su análisis matemático y del algoritmo, por lo tanto, tiene mayor costo computacional.

El algoritmo de seguimiento KCF (Filtros de Correlación Kernelizados) utilizan una regresión de Kernel Contraída, la cual permite hacer un análisis de una regresión no lineal como una regresión lineal, por lo tanto, este método es el más efectivo al reducir el almacenamiento y costo computacional, con una implementación sencilla en su algoritmo.

3.2.2. Implementación del algoritmo de seguimiento en Qt

- Librería donde contiene el seguidor KCF (librería OpenCV3).

```
#include <opencv2/tracking.hpp>
```

- Declaración del seguidor.

```
Ptr<Tracker> tracker = Tracker::create("KCF")
```

- Inicialización del seguidor.

```
tracker->init(frame, bbox)
```

Donde:

Frame=la imagen que previamente capturada.

bbox=vector donde está guardado las coordenadas rectangulares del detector.

- Actualización del seguimiento

```
tracker->update (frame, bbox);
```

Donde:

Frame= imagen que previamente capturada

bbox= vector donde se guardan los datos de coordenadas del seguimiento.

3.3. Instalación y configuración de la cámara

3.3.1. Conexión de la cámara

Antes de conectar la cámara mediante el software Qt para procesar las imágenes, se debe conectar a una red de área local compuesta por el computador y cámara Domo PTZ DS-2DE4120I-D IP 1.3Mp HD 960P, a través de un cable cruzado de ethernet que sirve para tener una comunicación física entre los componentes principales (pc y cámara).

Procedimiento.

- Conectar la cámara al computador a través del puerto rj45 con cable cruzado.
- Energizar la cámara a través de un conector 110V.
- Configuración de la IP.
- Ingresar al panel de control → Estado y tareas de red → Modificar la configuración del adaptador → Seleccionar la red de ethernet (configuración de la dirección IP).

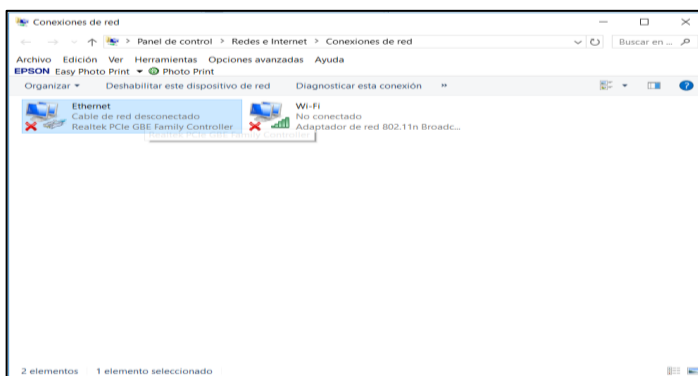


Figura 64 Conexiones de red

- En la red de ethernet → ingresar a propiedades → protocolo de internet versión 4(TCP/IPv4) → general.

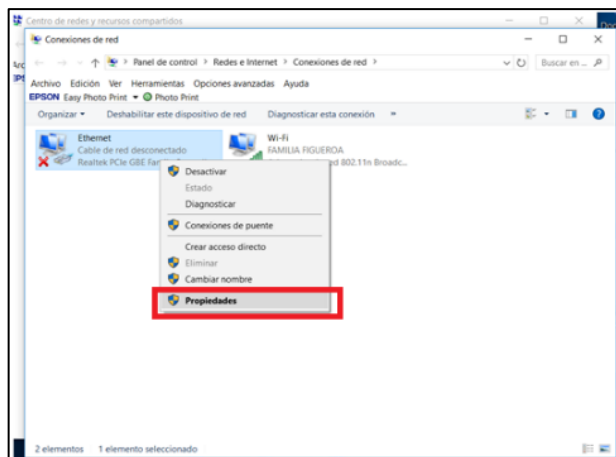


Figura 65 Propiedades red ethernet

- En la dirección IPv4 se puede ingresar las siguientes direcciones (192.168.1.1 hasta 192.168.1.254) con excepción de 192.168.1.64 (IP de fábrica de la cámara) y la máscara subred (255.255.255.0) y click en aceptar.

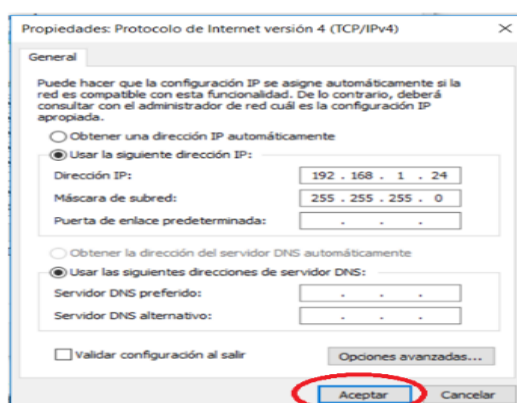


Figura 66 Protocolo de internet

3.3.2. Configuración programa iVMS-4200 Client

iVMS-4200 es un software propietario de la cámara, el cual controla y administra las funciones de la cámara, es decir puede configurar cualquier parámetro de la cámara mediante una interfaz gráfica, Además permite visualizar el video de manera simultánea por un canal principal, mientras que el procesamiento en OpenCV se realiza por el canal secundario, todo esto puede ocurrir al mismo tiempo por las características de la cámara. Para poder utilizar el iVMS-4200 es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Instalar e Ingresar al programa iVMS-4200 Client
- En la ventana control panel seleccionar device management

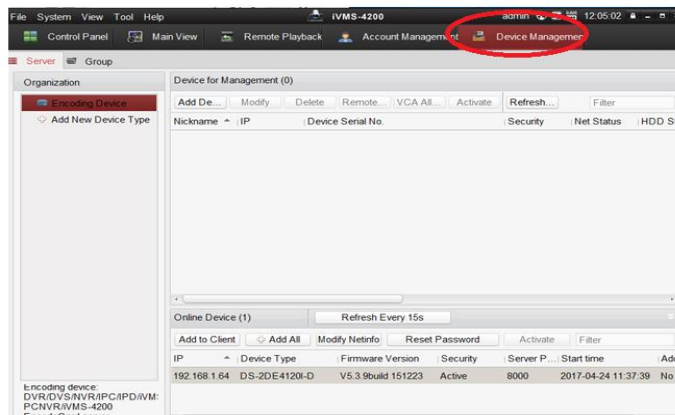


Figura 67 Device management

- Click derecho en el botón *Refresh Every 15s* después de unos segundos la cámara está conectada.

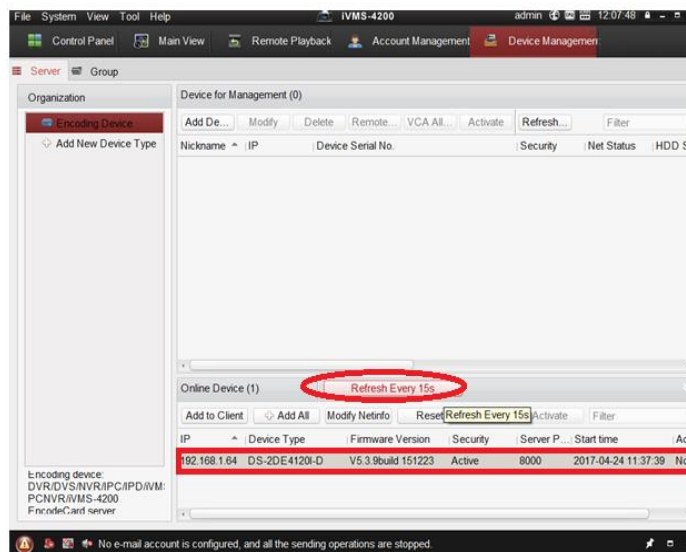


Figura 68 Conexiones la cámara

Para agregar la cámara al programa se debe ingresar a la opción *Add All* y configurar los siguientes puntos:

- *Nickname: cualquier nombre*
 - *User name: admin*
 - *Password: ABC12345*
- *Acepte todos los cambios (Add)*

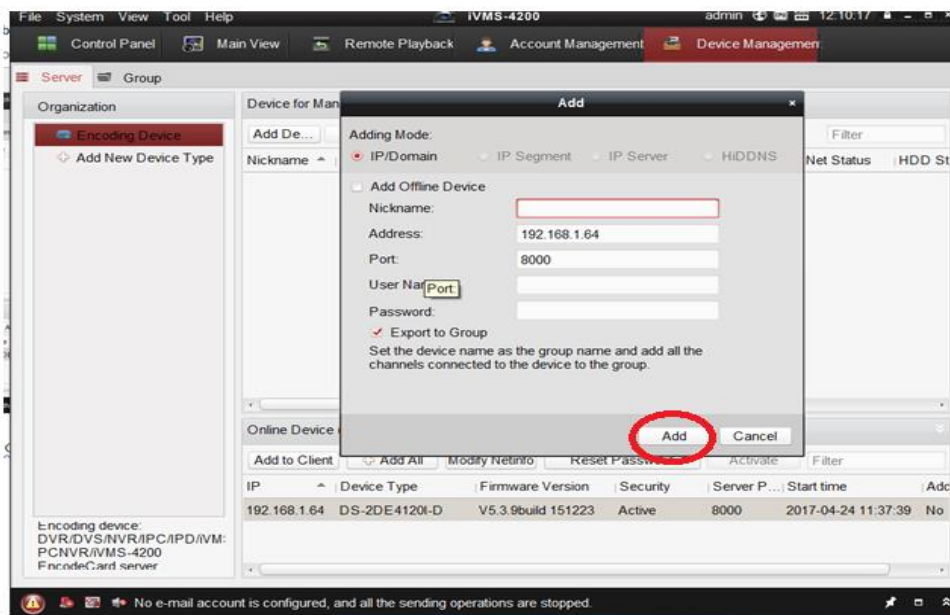


Figura 69 Configuración cámara dentro programa.

- La cámara se añade automáticamente al programa, para esto se debe observar en la ventana *Device Management* en la cual aparece ya conectada.

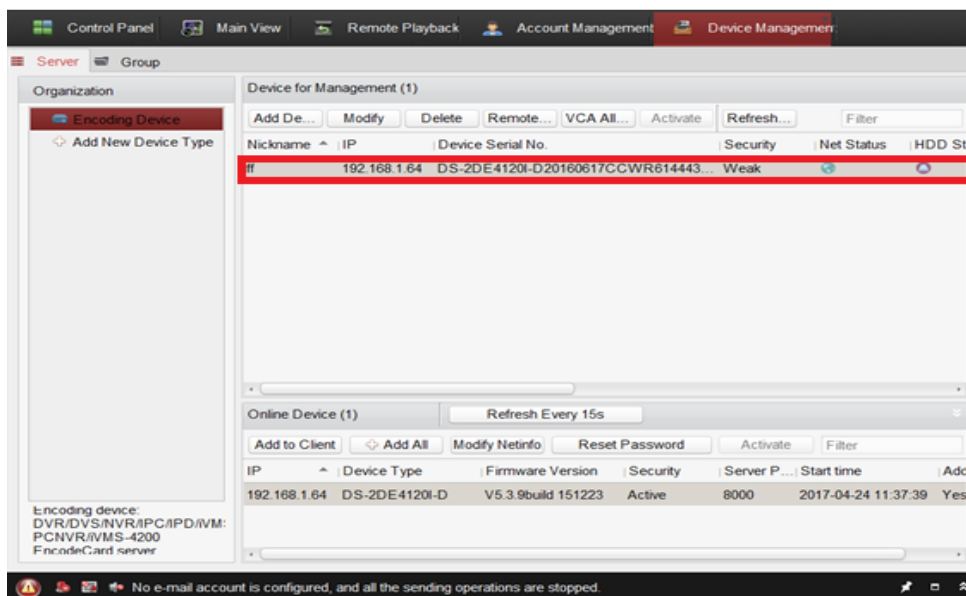


Figura 70 Conexión de la cámara

- Ingresar al menú principal control panel → *Main view* en donde se ve el funcionamiento de la cámara.

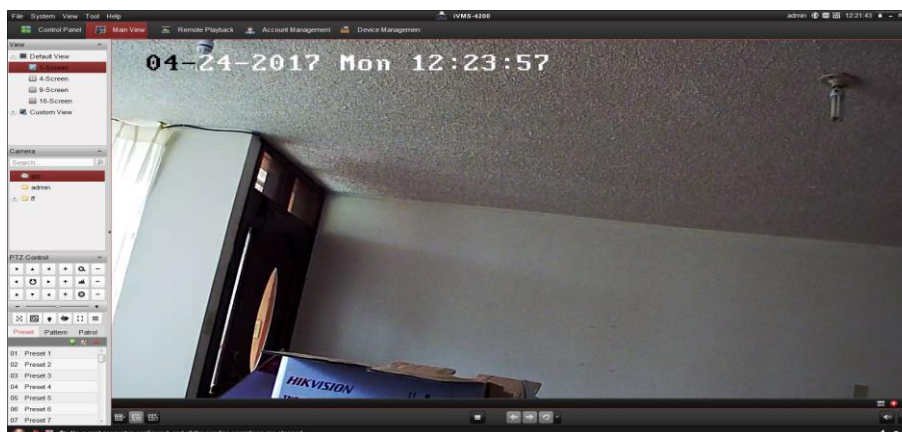


Figura 71 Funcionamiento de la cámara

3.4. Configuración de la cámara con OpenCV

3.4.1. Configuración del video en OpenCV y Qt.

El protocolo por el cual se puede visualizar el video de la cámara en OpenCV es mediante RTSP (protocolo de transmisión en tiempo real), El RTSP establece y controla los datos, mediante la utilización de los protocolos: TCP (Protocolo de Control de Transmisión) o UDP (Protocolo de datagramas de usuario) con el fin de obtener la transmisión de audio y video en tiempo real, por defecto se conecta por el puerto 554. (Apablaza, 2017)

Características del protocolo RSTP.

- Tiene similitud en sintaxis al HTTP (protocolo de transferencia de hipertexto).
- Debe tener un estado de conexión.
- El servidor y el cliente pueden hacer peticiones.

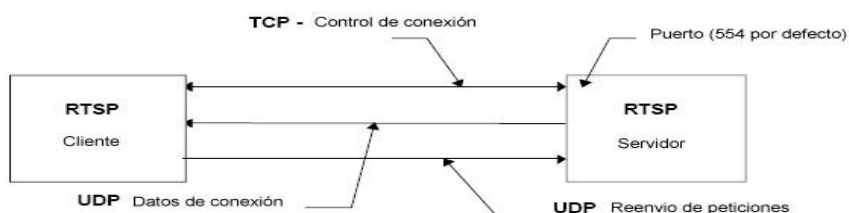


Figura 72 sistema de conexión, protocolo RTSP

Fuente: (Apablaza, 2017)

La trama para la comunicación con Qt y OpenCV es la siguiente:

*RTSP://usuario:clave@dirección_ip:número_puerto/códec/canal/
main_or_sub/av_stream*

Donde:

- **Usuario:** Nombre para acceder a la cámara (admin) defecto.
- **Clave:** Código para acceder la cámara(ABC12345) defecto.
- **Dirección IP:** IP de fábrica (192.168.1.64) defecto.
- **Número de puerto:** Puerto del protocolo RTSP: 554 por donde se va transmitir el video.
- **Códec:** Formato de compresión del video, en este tipo de cámara pueden ser (mpeg4 / h264).
- **Canal:** Transmisión del video (ch01/cha02). (Zendesk, 2017)
- **main_or_sub:** Son canales de corriente utilizados por una tecnología de flujo con una transmisión de video sin ningún tipo de inconveniente, *main* es el flujo principal o inicial que tiene las mejores resoluciones y el *sub* es el flujo secundario que ofrece bajas y pequeñas resoluciones. (Unifore, 2016)

De todo lo anterior un ejemplo para conectar y visualizar la cámara desde Qt y OpenCV es la siguiente línea de comando:

```
if(!cap.open("RTSP://admin:ABC12345@192.168.1.64:554/mpeg4/ch1/sub/av_stream"))
```

3.4.2. Control del ZOOM mediante CGI

Para el control del ZOOM y otras características de la cámara IP se debe utilizar comandos CGI, que son ejecutados por medio de mensajes http en función de la dirección IP, usuario y contraseña de la cámara.

3.4.3. CGI (Common Gateway interface)

La interfaz de entrada común solicita datos a un servidor desde un usuario, a través de la tecnología de world wide web (www). En una aplicación CGI el

servidor envía las solicitudes al cliente mediante un programa externo, generalmente son utilizados con scripts. (Lamarca Lapuente, s.f.)

Funcionamiento del CGI.

- El servidor recibe una petición, y comprueba si es un comando CGI.
- Se prepara el entorno para ejecutar la aplicación.
- Se ejecuta la aplicación.
- Se realiza la función.
- Se responde al cliente cuando ya ha sido ejecuta la función.

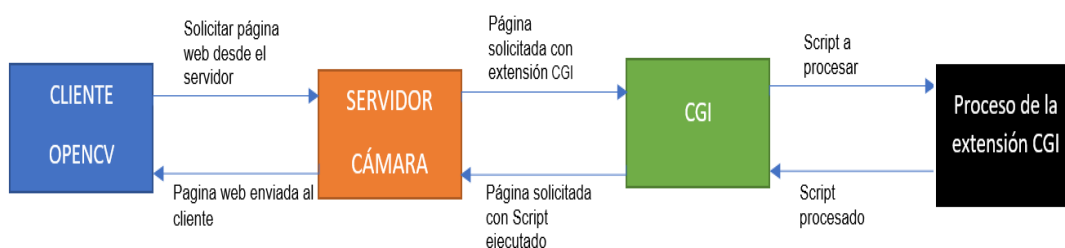


Figura 73 Funcionamiento de comandos CGI.

Como se puede observar en la Figura 73. El cliente (programa de OpenCV y Qt) realiza una petición al servidor (cámara IP), en un caso específico se puede obtener la posición absoluta del ZOOM, transforma esa petición en un comando CGI, busca esa petición, la realiza y envía una respuesta al cliente si realizó o no dicha petición. Existe una lista completa de comandos que se pueden realizar con la cámara IP Hikvision en el ANEXO A, pero para el control de profundidad (ZOOM) se utilizará dos funciones para la posición absoluta, y para el movimiento del ZOOM. Para que los comandos CGI puedan ser utilizados necesitan el protocolo de comunicación HTTP con sus métodos de petición GET y PUT.

3.4.4. HTTP Hypertext Transfer Protocol

(Protocolo de transferencia de hipertexto), es un método que permite el intercambio de datos de la world wide web entre un cliente y servidor, enviando una página web o recurso a un ordenador utilizando peticiones del cliente en un formato hacia un servidor. (Neo, s.f.).

Un ejemplo de HTTP para el control de la cámara IP es el siguiente enlace para saber el estado del PTZ de la cámara:

<http://admin:ABC12345@192.168.1.64/PTZCtrl/channels/1/status>

Para poder enviar este link a un servidor se requiere utilizar los *Métodos de petición HTTP*.

3.4.5. Métodos de petición de HTTP.

Son formas o recursos que permiten el envío de una acción a ejecutar.

GET. Pide información de un recurso específico, es decir no permiten la modificación de algún recurso o cambio de registro. En el caso de la cámara IP se puede obtener la posición relativa y absoluta del ZOOM. La posición absoluta en el dispositivo tiene un rango de valores de (10-200), 200 es la posición máxima del ZOOM óptico a 20x y 10 es la posición de 1x. Este valor es necesario para saber si una persona se aleja o se acerca.

PUT. Permite el cambio de una entidad y reemplaza a un recurso específico, causando efectos o estragos a un servidor. En el caso de la cámara IP permite realizar el movimiento de cámara, es decir con el comando PUT se puede ingresar un valor de la posición absoluta del ZOOM, para que se mueva a dicha posición.

3.4.6. Implementación del comando CGI en Qt

Estos comandos GET y PUT pueden ser controlados en Qt y OpenCV a través de *QNetwork*.

QNetwork

Proporciona un conjunto de aplicaciones de programación que utilizan TCP/IP para el envío de datos a través de HTTP mediante varias clases en lenguaje C++. (Qt, s.f.)

QNetworkAccessManager.

Permite enviar solicitudes de red y recibir respuestas.

QnetworkRequest.

Contiene los datos y encabezados de una solicitud enviada con QNetworkAccessManager, es decir contiene el usuario, contraseña, y trama enviada por el servidor.

La cabecera está definida para el control de la cámara por:

http://usuario:contraseña@DireccionIP/Función/canal/ID/subfunción

- **Usuario.** Nombre del usuario para ingreso de la cámara
- **Contraseña.** Contraseña del usuario.
- **Dirección_IP.** Dirección IP de la cámara.
- **Función.** Opciones de la cámara a las cuales se pueden modificar o pedir información: configuración de la cámara, control PTZ, eventos.
- **Canal.** Transmisión del video (ch01/cha02).
- **Subfunción.** Operaciones que se encuentran dentro de las funciones: encender infrarrojos, mover ZOOM grabar cierta fecha.

Para saber todas las funciones y subfunciones de la cámara, se debe dirigir al ANEXO A, para este caso solo se utiliza la función *PTZCtrl* la cual permite controlar las subfunciones *status* (posición del ZOOM) y *absolute* (mover al ZOOM en posición absoluta).

QnetworkReply.

Contiene una solicitud que se envía con QNetworkAccessManager. Requiere del método HTTP que puede ser GET para obtener la posición del ZOOM o PUT para el movimiento de la cámara.

EL cliente siempre recibe una respuesta, al ejecutar o al haber algún problema con los comandos CGI.

```

QNetworkRequest req( QUrl(QString("http://admin:ABC12345@192.168.1.64/PTZCtrl/channels/1/absolute") )
QByteArray data("<PTZData version='1.0' xmlns='http://www.hik"
                "|vision.com/ver10/XMLSchema'><AbsoluteHigh><absoluteZoom>");
QByteArray dat;
dat.setNum(pz1);
QByteArray data1("</absoluteZoom></AbsoluteHigh></PTZData>");
dat.append(data1);
data.append(dat);
mgr.put(req, data);
eventLoop.exec();

```

Figura 74 Programación de método PUT.

En la Figura 74 se puede observar códigos básicos para mover al ZOOM ingresando la posición absoluta (pz1). En primera instancia se debe colocar la cabecera (req), para que pueda ser entendida por el servidor, posteriormente a través del comando PUT se envía la posición (pz1), se realiza el movimiento, y posteriormente el servidor envía una respuesta al servidor, para finalmente cortar la comunicación en espera de una nueva petición. Igualmente se realiza el mismo proceso para obtener la posición, utilizando el comando GET, como se muestra en la Figura 75.

```

QNetworkRequest req1( QUrl( QString("http://admin:ABC"
                                   "12345@192.168.1.64/PTZCtrl/channels/1/status") ) );
QNetworkReply *reply = mgr.get(req1);
eventLoop.exec();
poszoom=reply->readAll();

```

Figura 75 Programación de método GET

3.5. Control del Sistema PTZ para el seguimiento de personas.

Para el movimiento de PAN (x) TILT (y) se debe considerar el tamaño de la imagen (320x240), al ser un área rectangular su coordenada central es la mitad de su dimensión (160,120) este indica el punto medio o la referencia que va a tener la personas para realizar el movimiento de los servomotores.

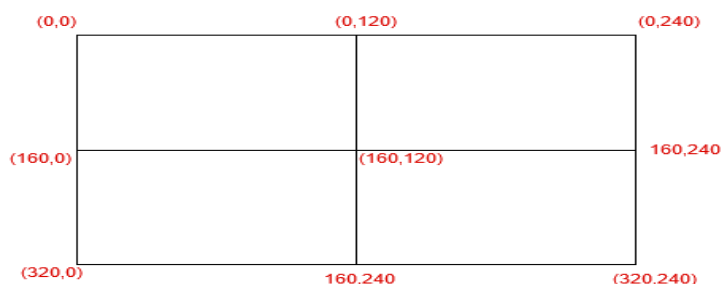


Figura 76 Dimensiones de la imagen.

La persona que es detectada, está ubicada dentro de las dimensiones de la imagen, tomando como punto de origen la coordenada (0,0), ubicado en la esquina izquierda superior. La persona puede ser situada en cualquier punto, dentro de la dimensión de la imagen.

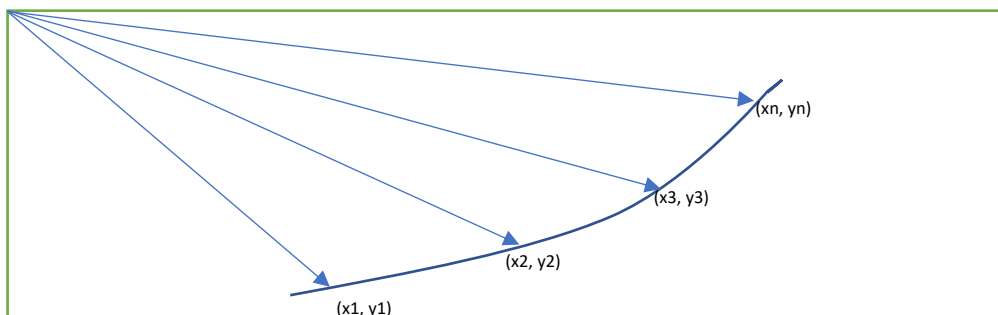


Figura 77 Movimiento de una persona enfocada en la imagen.

3.5.1. Cálculo de error de posicionamiento.

Para obtener el error se debe utilizar el punto central de la imagen, y el punto del central del objeto detectado en este caso, el punto medio del rectángulo de la persona.

El algoritmo de detección de personas guarda las esquinas del rectángulo de la persona de la esquina superior izquierda y esquina inferior derecha, para obtener el punto medio del rectángulo o de la persona, se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$P(Xm, Ym) = \left(\frac{rc.x + rc.width}{2}, \frac{rc.y + rc.height}{2} \right)$$

Donde:

- $P(Xm, Ym)$ es el punto medio del rectángulo de la persona.
- $rc.x$ y $rc.y$ son los puntos de la esquina superior izquierda.
- $rc.width$ y $rc.height$ son los puntos de la esquina inferior derecha.

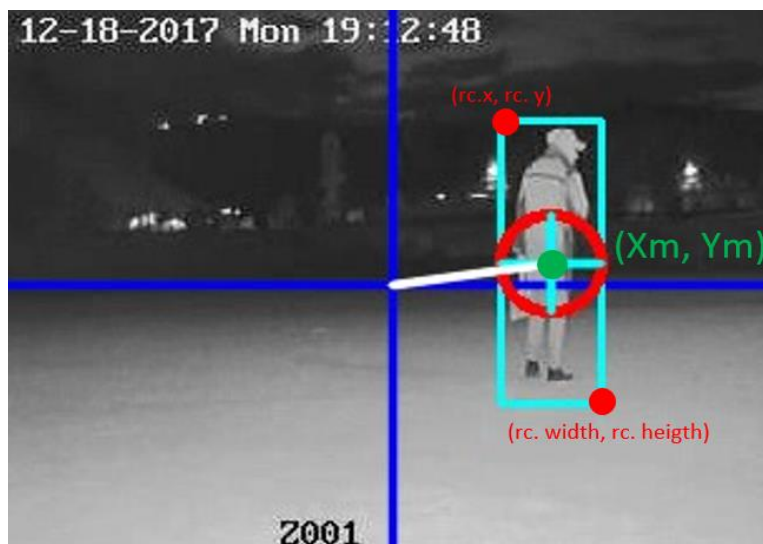


Figura 78 Centro de una persona y de la imagen.

Para obtener el error se debe calcular la diferencia del punto medio de la imagen menos el punto medio de la persona detectada.

$$P(ex, ey) = |P(Xm, Ym) - P(160, 120)|$$

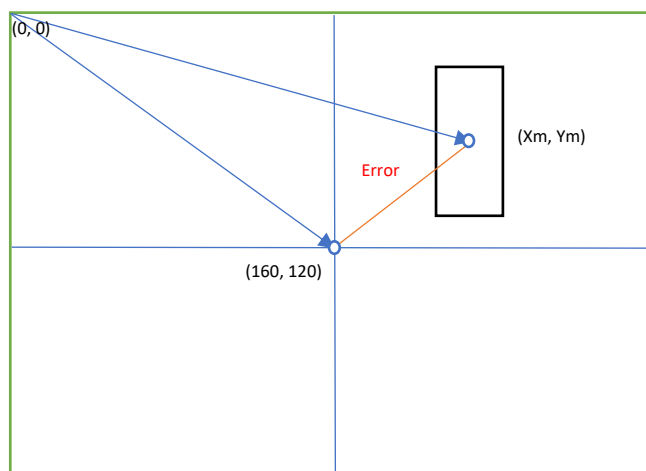


Figura 79 Cálculo del error.

3.5.2. Control de los servomotores

Los servomotores pueden ser controlados con señales pwm, que permiten el movimiento en forma de grados. Para realizar el control de movimiento de los servomotores. Se tiene que comprobar en qué cuadrante está el punto medio de la persona.

$$\begin{cases} [P(Xm) > 160] \wedge [P(Ym) < 120] \therefore \text{primer cuadrante} \\ [P(Xm) \leq 160] \wedge [P(Ym) < 120] \therefore \text{segundo cuadrante} \\ [P(Xm) \leq 160] \wedge [P(Ym) \geq 120] \therefore \text{tercer cuadrante} \\ [P(Xm) > 160] \wedge [P(Ym) \leq 120] \therefore \text{cuarto cuadrante} \end{cases}$$

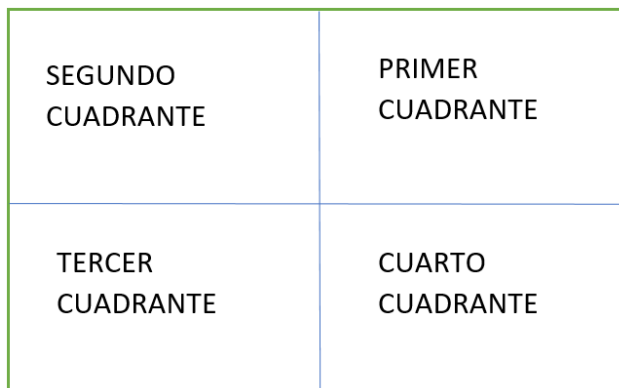


Figura 80 Cuadrantes de la imagen.

Se debe considerar la posición inicial de los servomotores para poder convertir los píxeles en movimientos.

$$Servox(Pan) = 90^\circ \wedge Servo(Tilt) = 90^\circ$$

La ubicación en 90° de los servomotores de PAN y TILT establece que el sistema se encuentra en la mitad de su posición total, esto permite que los servomotores puedan moverse de (0° a 90°) hacia la derecha y (90° a 180°) hacia la izquierda de la imagen, ya que el servomotor mediante software puede ser controlado de 0° a 180° , pero sin embargo el movimiento real de los servomotores es de 45° hacia la izquierda y 45° hacia la derecha, esto debido a la relación de engranes para mejorar la precisión del movimiento.

Según los cuadrantes de la Figura 80, el servo puede saber qué movimiento debe realizar para tratar de coincidir el centro de la persona con el centro de la imagen.

Con las condiciones de los cuadrantes, los servomotores pueden decidir si moverse a la izquierda o derecha (PAN), arriba o abajo (TILT).

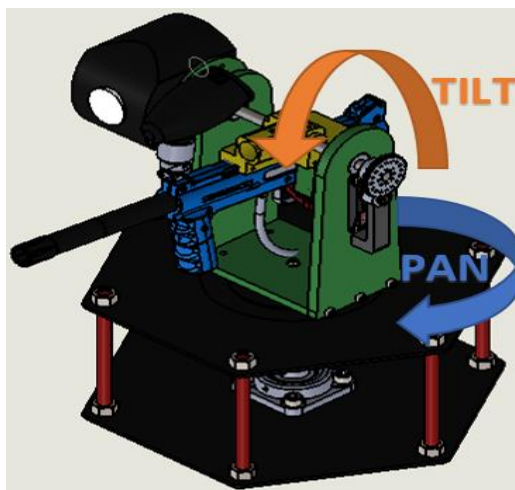


Figura 81 Sistema PAN TILT

Por ejemplo, si el centro de una persona se encuentra en el tercer cuadrante, el servomotor debería ejercer un movimiento hacia la derecha, y hacia arriba. Hasta tratar de coincidir con el punto centro de la imagen.

3.5.3. Control de profundidad (ZOOM)

El control de profundidad únicamente entra en funcionamiento cuando la persona se encuentra cerca del centro de la imagen, el área es detectada en función del mayor rectángulo que encierra a la persona detectada en el algoritmo.

Siendo $P(rc.x, rc.y)$ el punto inicial del rectángulo y $P(rc.width, rc.height)$ el punto final del rectángulo

$$Area = (rc.width - rc.x) * (rc.height - rc.y)$$

El área debe cumplir ciertas condiciones para el acercamiento o alejamiento de la persona detectada.

$$\begin{cases} Area > (Amin = 50) & \wedge zoom = alejamiento \\ Area < (Amax = 80) & \wedge zoom = acercamiento \end{cases}$$

$Amin$ y $Amax$ son valores fijos establecidos por pruebas obtenidas dentro del algoritmo los cuales definen si una persona se acerca o se aleja del lente de la cámara.

Cuando el área de la ROI oscila entre los valores de (50-80), la persona se encuentra dentro del cuadro de la imagen (a), para que no ocurra la pérdida de información de la ROI (b) y (c), es necesario utilizar los valores anteriormente establecidos de A_{min} y A_{max} , los cuales activan el ZOOM de la cámara para que no exista la pérdida de la ROI y la silueta de la persona pueda ser visualizada completamente.



Figura 82 a) Detección. b) No detección cerca. c) No detección lejos.

3.6. Neutralización de personas

Para la neutralización de personas se ha decidido utilizar una marcadora de paintball de gas CO₂. La neutralización de personas es activada mediante tres parámetros.

- Cuando el punto medio de la persona está cerca del punto medio de la imagen.
- Cuando la señal es enviada mediante un botón ubicado en la interfaz gráfica de Qt.
- Cuando es activado el pulsador físico del circuito electrónico.

Estos parámetros son establecidos como manera de seguridad y para asegurar el tiro de la marcadora hacia el sujeto de prueba. La marcadora tiene un mecanismo y un servomotor para pulsar el gatillo, debido a que no tiene

un accionamiento eléctrico. Se realiza un movimiento programados de 30° a 50° controlados por la señal pwm.



Figura 83 Botones para activar la marcadora.

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Construcción e implementación mecánica.

Para la construcción del mecanismo se dividió en las siguientes partes: base, mecanismo superior, acoples de los engranajes, implementación eléctrica y electrónica.

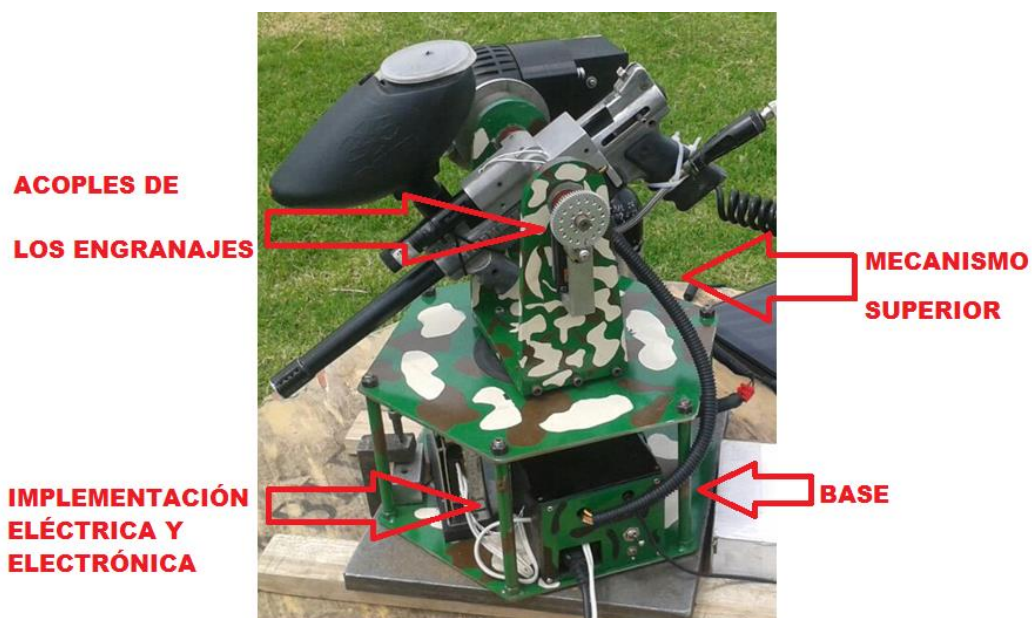


Figura 84 Partes de la construcción del mecanismo

4.1.1. Base inferior

La base está compuesta por dos planchas en forma hexagonal que facilita el posicionamiento y la visión de los diferentes elementos electrónicos y eléctricos: como la fuente y el tablero de control, que fueron cortadas utilizando una cortadora plasma cnc para mayor exactitud.



Figura 85 Base

4.1.2. Mecanismo superior

El mecanismo de la parte superior está formado por dos brazos de aluminio 7021 (duraluminio) y el sistema de engranajes. La forma de los brazos, se mecanizaron a través de un pantógrafo industrial tal como se observa en la Figura 86, igualmente para realizar los acoples de los motores a los engranes se utilizó un pantógrafo industrial ya que los mismos acoples deben ser lo más exactos posibles para que exista una unión ideal entre la corona y el piñón.

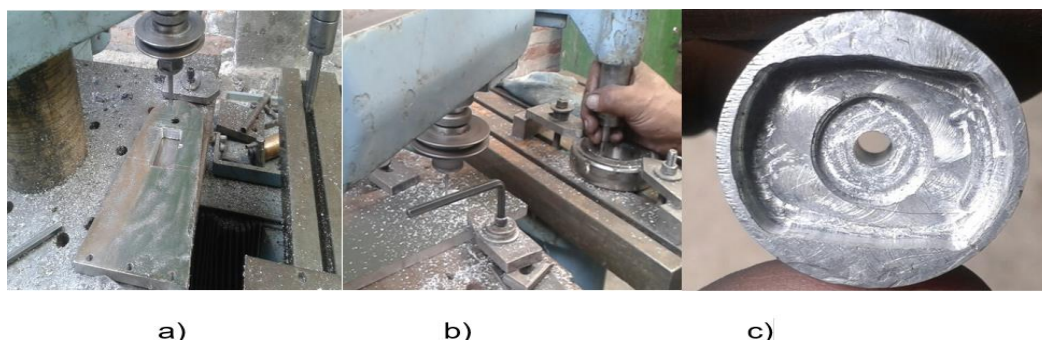


Figura 86 a) y b) Mecanizado de brazos c) acoples motores

Una vez mecanizado los elementos del mecanismo superior se proceden a las perforaciones y roscados para la unión de las piezas (ver figura 87).



Figura 87 Perforaciones y roscados

Al final se ensambla el motor, los engranajes, eje y la estructura como se observa en la Figura 88.



Figura 88 Ensamble superior.

Una vez terminado el mecanismo superior y la base, se procede a pintar de una paleta de colores militares dando como efecto camuflaje militar, por lo que el prototipo será utilizado para aplicaciones de seguridad y videovigilancia como se muestra en la Figura 89.



Figura 89 Camuflaje militar del prototipo

4.2. Implementación eléctrica y electrónica.

En la base se encuentra la fuente S-60-6, el tablero de control y el mecanismo de movimiento PAN, el tablero de control está conectado directamente a la fuente como se observa en la Figura 90, la cual se encarga del voltaje de alimentación de los motores tanto para el movimiento TILT, PAN y disparo del arma, se tiene una conexión directa del pin de control de los motores del movimiento PAN y disparo del arma hacia el tablero de control.

La polarización para la cámara y la fuente se toma de la red doméstica (110V), que va conectada directamente al tablero de control y de ahí se distribuye para su funcionamiento.



Figura 90 Fuente y tablero de control

En el mecanismo superior podemos observar la implementación de la cámara, láser y los mecanismos de movimiento TILT y de disparo como se observa en la Figura 91. El control de la cámara está conectado a la computadora, el control de láser, los motores de mecanismos de disparo y de movimiento TILT con sus respectivas polarizaciones están conectados directamente al tablero de control.



Figura 91 Implementación de la cámara, láser y mecanismo de disparo

4.3. Pruebas y resultados

Para comprobar el funcionamiento del sistema de videovigilancia es necesario considerar la superficie que puede seguir y detectar a la persona,

según el ángulo de giro del mecanismo, y el ángulo de visión de la cámara, a diferentes condiciones de luz.

4.4. Área de detección útil de la cámara

Para saber cuál es el área óptima de detección, se tomó como referencia los grados de libertad de mecanismo de movimiento, en los cuales se tiene movimientos: PAN= 90° , TILT= 45° como se observa en la Figura 92 y el ángulo de visión de la cámara detallado en la Tabla 16, que depende del ZOOM óptico. Así se puede decir que se tiene un ángulo de visión total mediante la suma del ángulo del mecanismo de movimiento y de la cámara.

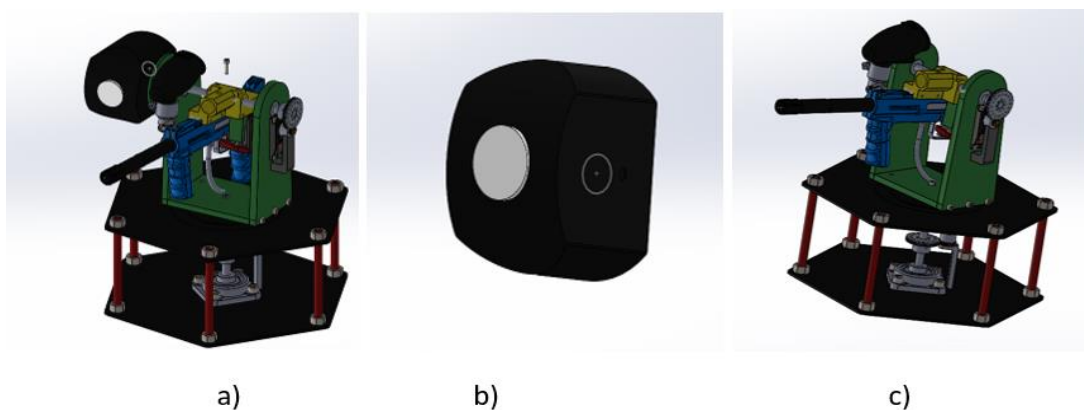


Figura 92 a) mecanismo total b) cámara c) mecanismo de movimiento

Mecanismo de movimiento: Es el encargado del movimiento PAN= 90° , TILT= 45° .

Cámara: Mecanismo de visión del sistema encargado de seguir al objetivo a una distancia de (10 hasta 70) metros a través de su zoom óptico.

Mecanismo total: El mecanismo total es el ensamblaje entre la cámara y el mecanismo de movimiento, en el que se tiene un ángulo de visión total mediante la suma del ángulo del mecanismo de movimiento y de la cámara.

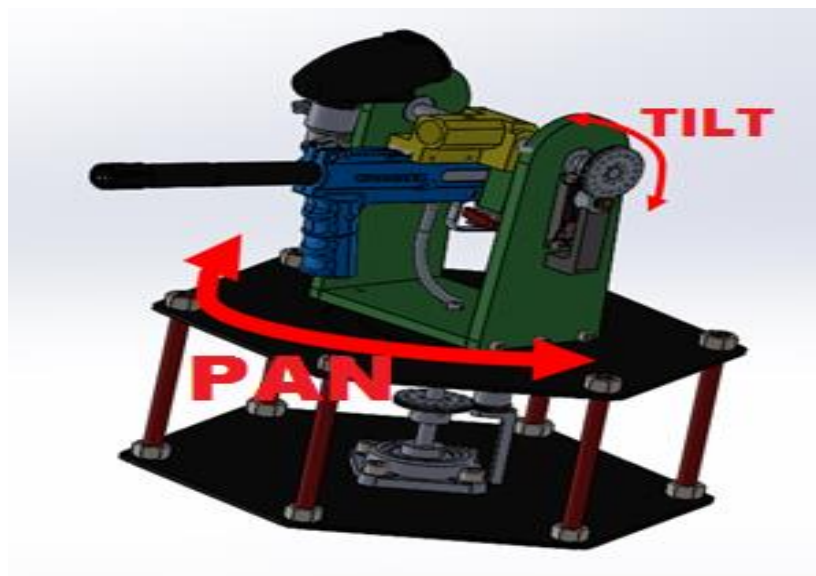


Figura 93 PAN y TILT del mecanismo de movimiento

Tabla 16

ZOOM óptico y ángulo de visión

ZOOM óptico	Ángulo de visión (grados)	Distancia de profundidad (m)
X1	53	0
X13	11.4°	70
X20	3.2°	100

Fuente: (zoom optico, 2015)

De la Tabla 16 se observa que el ZOOM es inversamente proporcional al ángulo de visión, conforme el ZOOM aumente el ángulo de visión disminuye, esto significa que el ángulo de visión del mecanismo total a 70 metros es menor que a 3.5 metros

Para obtener el área óptima de seguimiento del mecanismo de movimiento se realiza pruebas con el algoritmo en ejecución, para lo cual se obtuvo una distancia de profundidad máxima de 70 metros teniendo presente que las personas son detectables desde los 3.5 metros, obteniendo como resultado un área de 3838.83 m^2 , en forma de cono, calculado por el software SolidWorks, como se observada en la Figura 94.



Figura 94 Grados de libertad en el movimiento PAN del sistema

Ya que el mecanismo total está compuesto por una cámara IP, el ángulo de visión total se debe analizar conjuntamente entre el mecanismo de movimiento y la cámara. Para el seguimiento de las personas se tiene dos casos críticos.

4.4.1. Caso 1: seguimiento hasta los 10 metros

Para el seguimiento de personas en un rango de profundidad de (3.5 a 10)m, se tiene un grado de visión total de 143° , debido a que el mecanismo de movimiento tiene un ángulo de visión de 90° más 53° que es el ángulo de visión de la cámara como se observa en la Figura 95, ya que a partir de los 10m en adelante se aumenta el ZOOM óptico, por ende cambia el ángulo de visión total, así se obtiene una área de detección en forma de trapecio útil de 87.98 m^2 , como se observa en la Figura 96.

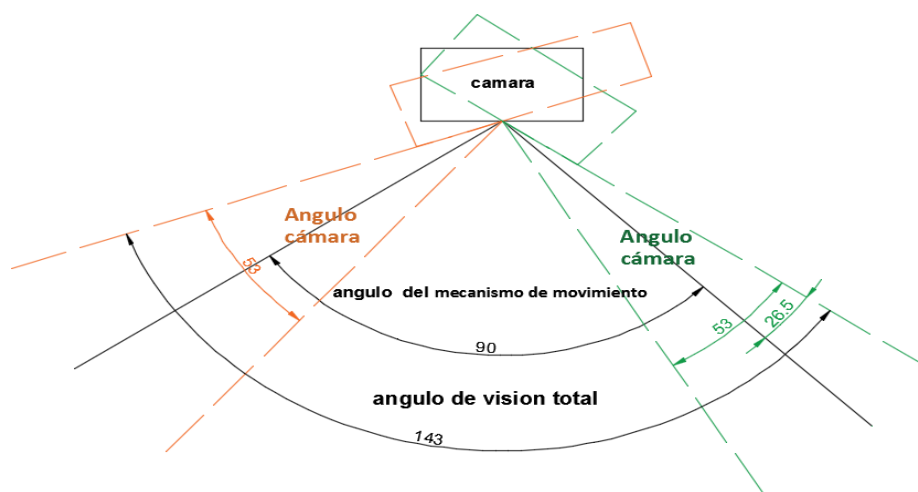


Figura 95 Ángulo de visión total en un rango de (3.5 a 10) m

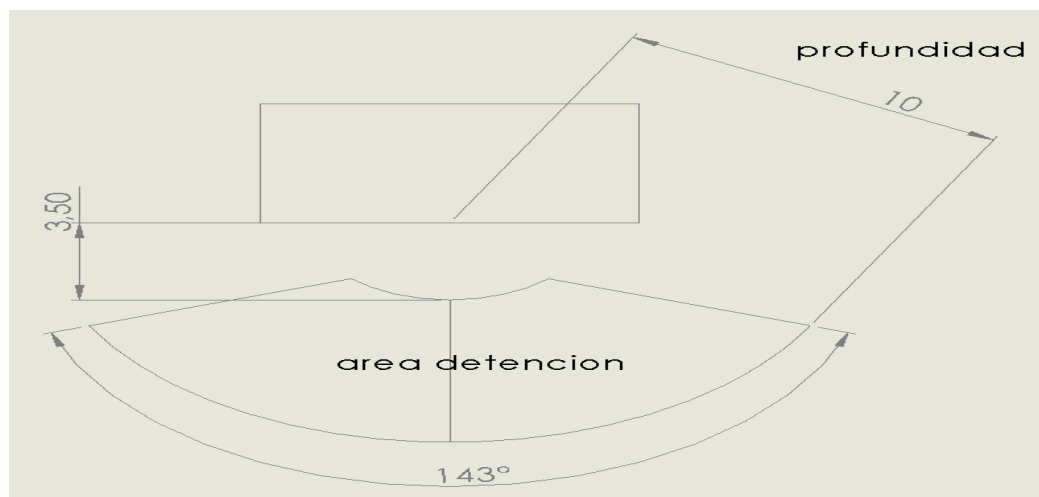


Figura 96 seguimiento hasta los 10 metros

4.4.2. Caso 2: seguimiento hasta los 70 metros

Para el seguimiento de personas en un rango de profundidad de 70 metros, se tiene un ángulo de visión total 101.4° debido a que el mecanismo de movimiento tiene un ángulo de visión de 90° mas 11.4° de la cámara como se observa en la Figura 97, obteniendo un área de seguimiento en forma de cono útil de 4325.08 m^2 , como se observa en la Figura 98.

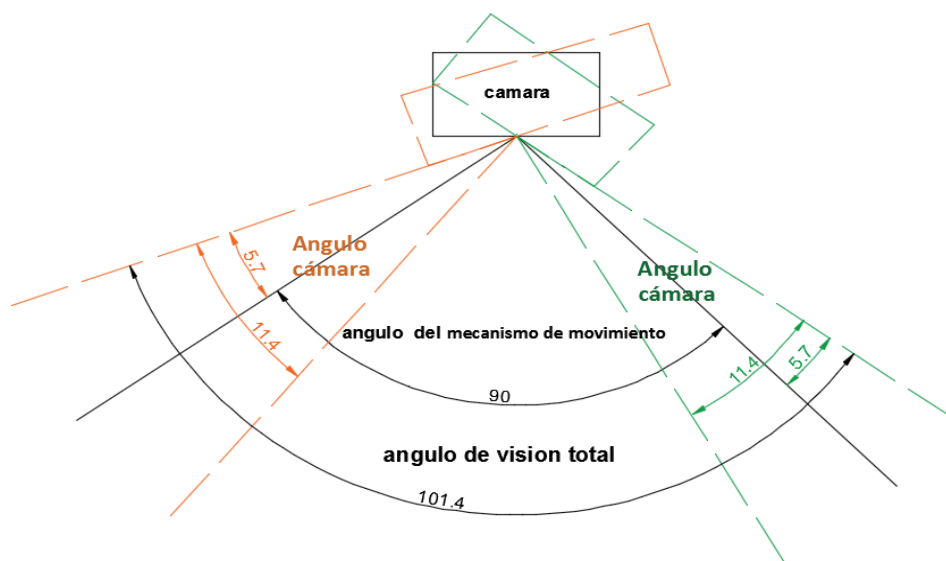


Figura 97 Ángulo de visión total a los 70 metros

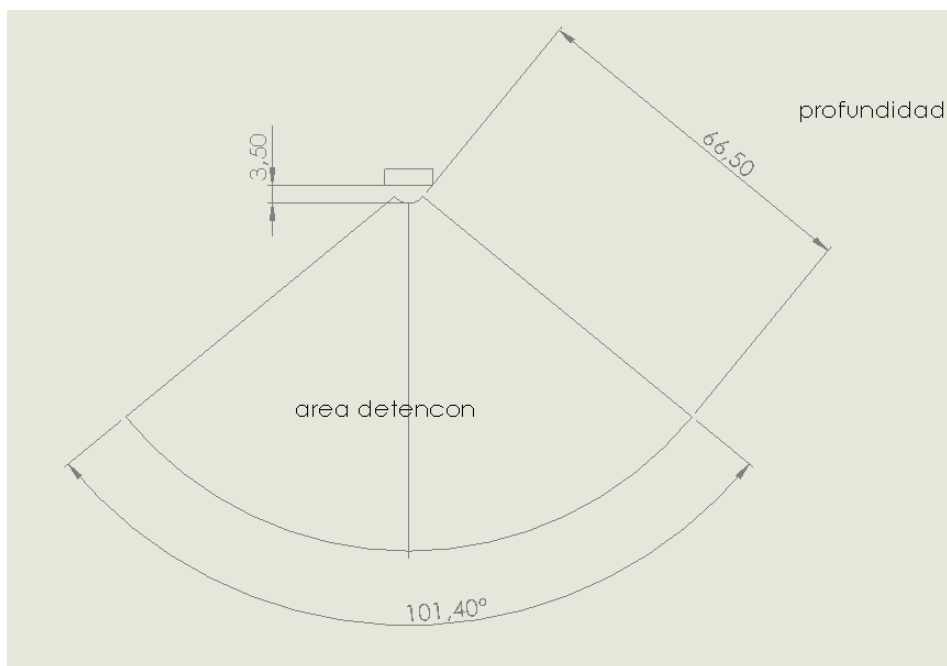


Figura 98 seguimiento hasta los 70 metros

Para la neutralización de las personas se tiene un ángulo de visión total de 90° en un rango profundidad de (3.5 a 70) m debido a que, para el accionamiento del mecanismo total, tanto la cámara como el mecanismo de movimiento deben estar en el centro del objeto de seguimiento, obteniendo un área de neutralización en forma de cono útil de 3838.83 m^2 , como se observa en la Figura 99.

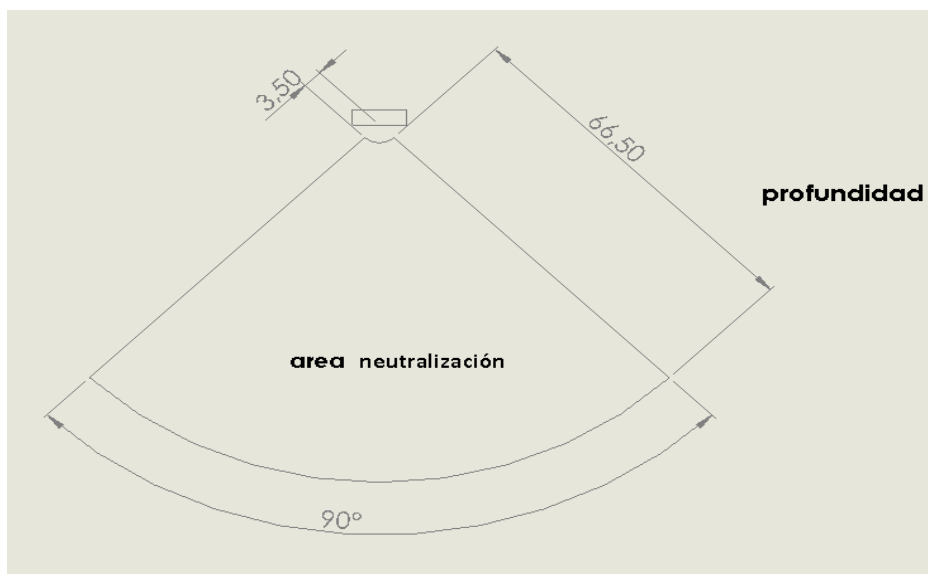


Figura 99 área de neutralización

4.5. Evaluación del algoritmo de detección con la cámara

En la Tabla 17. se observa las diferentes distancias en las que se evalúa el algoritmo de detección de personas, tanto en el día como en la noche, teniendo los siguientes criterios para su evaluación:

+ = si detecta a las personas.

- = si no detecta las personas.

* = referenciando no existen personas en este rango.

En la Figura 100 se observa imágenes de las pruebas para la detección de personas a diferentes distancias y horas (día y noche).

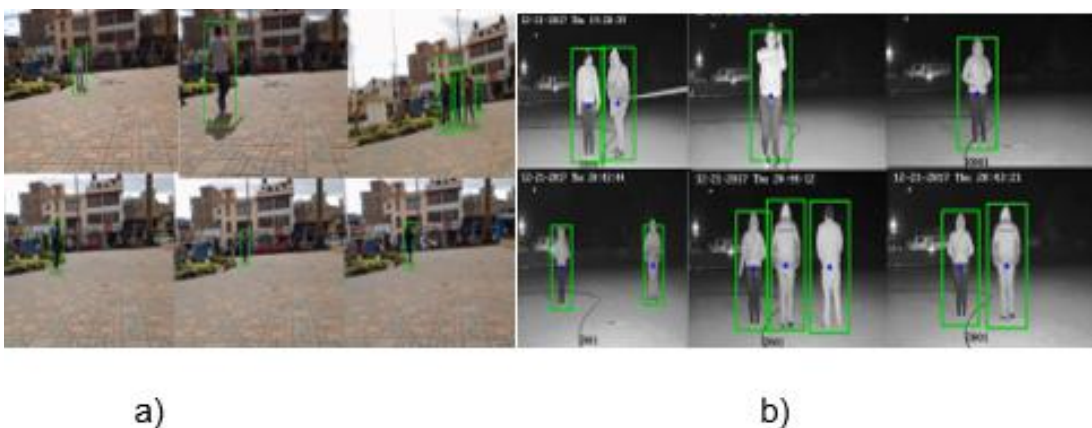


Figura 100 a) detección en el día b) detección en la noche

Tabla 17

Detección de personas en el día y noche.

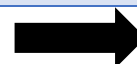
N de pruebas	Rango de detección de personas en profundidad en el día (metros)				Rango de detección de personas en profundidad en la noche (metros)			
	=3.5	3.5 a 5	5 a 7.5	7.5 a 10	=3.5	3.5 a 5	5 a 7.5	7.5 a 10
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+
3	-	+	+	+	-	+	+	+
4	-	+	+	+	-	+	+	-
5	+	+	+	+	+	+	+	+

CONTINÚA



6	+	+	+	+	+	+	-	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+	-	+	+	+	-
9	+	+	+	-	+	+	+	-
10	-	+	+	-	-	+	+	-
11	-	+	+	-	-	+	+	-
12	+	+	+	-	+	+	+	-
13	+	+	+	-	+	+	+	-
14	+	+	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+
16	-	+	+	+	+	+	+	+
17	-	-	+	+	+	+	+	+
18	+	+	+	+	+	+	+	+
19	+	+	+	-	+	+	+	-
20	+	+	+	+	+	+	+	+
21	+	+	+	+	+	+	+	+
22	+	+	+	+	+	+	+	+
23	+	+	+	+	+	+	+	+
24	+	+	+	+	+	+	+	+
25	+	-	+	+	+	+	+	+
26	+	+	+	+	+	+	+	+
27	-	+	+	-	-	+	+	-
28	-	-	+	+	-	-	+	+
29	+	+	-	+	+	+	-	+
30	-	+	-	+	-	+	-	+
31	+	-	+	+	+	-	+	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+
33	+	+	+	+	+	+	+	+
34	+	+	+	+	+	+	+	+
35	+	+	+	+	+	+	+	+

CONTINÚA



36	+	+	+	+	+	+	+	+
37	+	+	+	+	+	+	+	+
38	-	+	-	+	-	+	+	+
39	-	+	-	+	-	+	-	+
40	-	+	+	+	-	+	+	+
41	-	+	+	-	-	+	+	+
42	-	-	+	+	-	-	+	+
43	-	-	+	+	+	-	+	+
44	+	+	+	+	+	-	+	+
45	+	+	+	+	+	+	+	+
46	+	+	+	+	-	+	+	+
47	+	+	+	+	-	+	+	+
48	+	+	+	+	+	+	+	+
49	+	+	+	+	+	+	+	+
50	+	+	+	+	+	+	+	+
T positivos	35	44	46	40	36	45	46	41
T negativos	15	6	4	10	14	5	4	9
Porcentaje	70%	88%	92%	80%	76%	90%	92%	82%

En la Tabla 17 se puede observar que a la distancia de 3.5 metros se obtiene una efectividad del 70% en el día y 76% en la noche, esto se debe a que muchas veces la distancia entre el cuerpo de una persona y la cámara debe ser mayor a 3.5m para que el algoritmo detecte correctamente, en la distancia de 5 metros se tiene un efectividad del 88% en el día y 90 % en la noche debido a que se observa mejor las cualidades de la silueta de la persona, a los 7.5 metros la efectividad es del 92% en el día y la noche por lo tanto es la mejor distancia con respecto a la cámara estática para que el algoritmo funcione correctamente, y a un rango mayor de 7.5 m hasta 10 metros se observa el 80% en el día y 82 % en la noche debido a que la silueta de la persona se aleja más del lente de la cámara.

En la Tabla 18 se observa la cantidad de personas detectadas teniendo en cuenta los siguientes criterios: Detección positivas, detención negativa y falsos positivos tanto en el día como en la noche

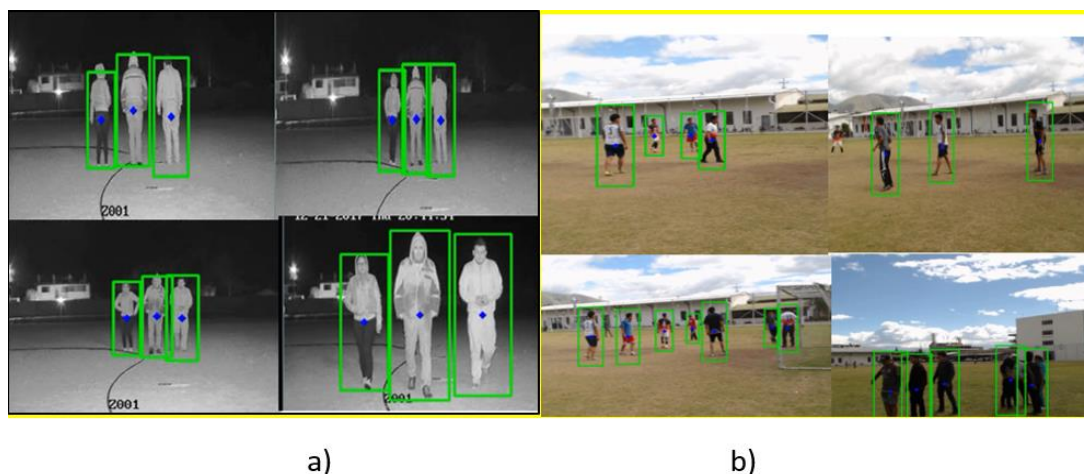


Figura 101 a) Personas en el día b) Personas en la noche.

Tabla 18

Cantidad de personas detectadas.

N pruebas	Día					Noche				
	N Personas	Personas detectadas	Personas no detectadas	Falsos positivos	Porcentaje (%)	N Personas	Personas detectadas	Personas no detectadas	Falsos positivos	Porcentaje (%)
1	5	5	0	0	100	5	5	0	1	100
2	11	9	2	0	81.82	2	2	0	0	100
3	10	9	1	1	90	3	3	0	0	100
4	3	3	0	1	100	4	4	0	0	100
5	4	3	1	1	75	2	2	0	0	100
6	10	8	2	2	80	2	2	0	0	100
7	12	10	2	2	83.33	4	4	0	1	100
8	8	5	3	1	62.5	5	4	1	2	80
9	7	6	1	0	85.71	6	4	2	0	66.67
10	4	4	0	0	100	7	6	1	0	85.71
11	3	3	0	0	100	9	6	3	0	66.67
12	5	4	1	0	80	2	2	0	0	100
13	6	4	2	1	66.66	3	3	0	1	100

CONTINÚA



14	9	8	1	0	88.89	4	4	0	0	100
15	4	4	0	0	100	5	4	1	1	80
16	3	2	1	0	66.67	7	5	2	0	71.43
17	8	7	1	0	87.5	8	7	1	2	87,5
18	9	7	2	0	77.78	3	3	0	0	100
19	10	9	1	2	90	2	2	0	0	100
20	5	5	0	0	100	4	4	0	0	100
21	6	6	0	0	100	3	3	0	0	100
22	4	4	0	0	100	5	5	0	1	100
23	6	4	2	1	66.67	4	4	0	0	100
24	2	2	0	2	100	6	5	1	2	83.33
25	3	3	0	2	100	7	4	3	0	57.14
26	6	5	1	1	83.3	8	5	3	1	62,5
27	5	5	0	0	100	9	8	1	0	88.89
28	2	2	0	0	100	10	8	2	0	80
29	8	6	2	2	75	3	3	0	0	100
30	9	8	1	3	88.89	4	4	0	0	100
31	4	4	0	0	100	3	3	0	0	100
32	9	8	1	1	88.89	2	2	0	1	100
33	5	5	0	0	100	5	5	0	1	100
34	7	6	1	0	85.71	4	4	0	1	100
35	9	8	1	1	88.89	5	5	0	0	100
36	10	9	1	3	90	3	3	0	0	100
37	6	6	0	1	100	2	2	0	0	100
38	4	4	0	0	100	3	2	1	0	66.67
39	3	3	0	1	100	4	3	1	0	75
40	4	4	0	0	100	3	3	0	0	100
41	3	3	0	1	100	5	5	0	0	100
42	2	2	0	0	100	6	4	2	1	66.67
43	5	4	1	0	80	2	2	0	0	100
44	6	4	2	1	66.67	3	3	0	0	100
45	4	4	0	0	100	2	2	0	0	100
46	5	4	1	0	80	3	3	0	0	100
47	2	2	0	1	100	4	4	0	1	100
48	7	6	1	0	85.71	8	7	1	2	87,5

CONTINÚA



49	9	8	1	1	88.89	4	3	1	0	75
50	5	5	0	2	100	2	2	0	0	100
total	296	259	37	35	89.67	219	192	27	19	91.61

En la Tabla 18 se observa que el porcentaje de efectividad es de 89.67% en el día y 91.61% en la noche, ya que en la noche debido a la oscuridad se activa el sistema de infrarrojos de la cámara para recompensar la ausencia de luz.

4.6. Pruebas de seguimiento

Para validar el algoritmo de seguimiento se procedió a probar el mecanismo hasta una distancia 70 metros, la cual será marcada en intervalos de 10 metros, iniciando las pruebas en un rango de 10 metros. Debido que el mecanismo tiene un láser como método de seguimiento y el mismo interfiere en la noche, se procede a hacer las pruebas en 3 casos diferentes: día con láser, noche sin el láser y noche con láser

4.6.1. Seguimiento de personas con láser en el día

Donde se considera:

- Positivo (+) = Si el láser se refleja en el cuerpo de la persona en seguimiento.
- Negativo (-) = Si el láser no se refleja en el cuerpo de la persona en seguimiento.

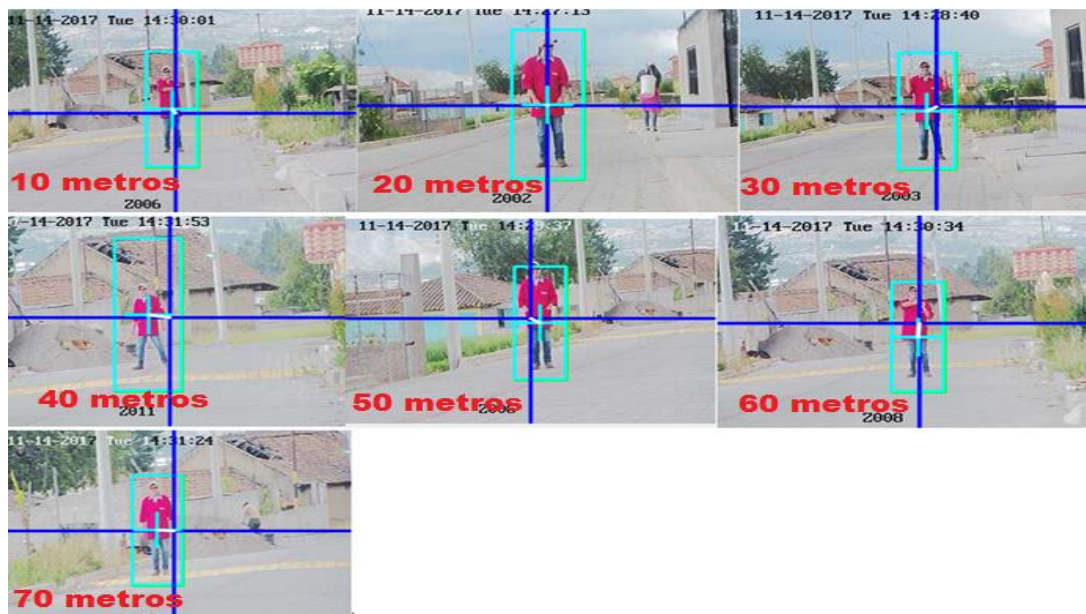


Figura 102 seguimiento con láser en el día según la profundidad

Tabla 19

Seguimiento según la profundidad con láser en el día

N pruebas	Rango de seguimiento de personas en metros						
	10	20	30	40	50	60	70
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	-	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	-	+	+
5	+	+	+	+	+	+	-
6	+	+	-	+	+	-	+
7	+	+	+	-	+	+	-
8	+	-	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	-
10	-	+	+	+	+	-	+
11	+	+	+	+	+	+	+
12	+	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	-	+	+
14	+	+	+	+	+	-	+
15	+	+	+	+	+	+	+
16	+	+	+	+	-	+	-

CONTINÚA



17	+	+	+	+	+	+	+
18	+	+	+	+	+	+	+
19	+	+	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+	+	+
21	+	+	+	+	+	+	+
22	+	+	+	+	+	+	+
23	+	-	+	+	+	+	+
24	+	+	+	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+	+	+
26	+	+	-	+	+	+	+
27	+	+	+	+	-	+	+
28	+	+	+	+	+	-	+
29	+	+	+	-	+	+	+
30	+	+	+	+	+	+	+
31	+	+	+	+	+	+	+
32	+	+	+	+	-	+	+
33	+	-	-	+	+	+	-
34	+	-	+	+	+	-	-
35	-	+	+	+	+	+	-
36	+	+	+	+	+	+	-
37	+	+	+	+	+	+	+
38	+	+	+	+	+	+	+
39	+	+	+	+	+	+	+
40	+	+	+	+	+	-	+
41	+	+	+	+	+	+	-
42	+	+	+	+	+	+	+
43	+	+	+	+	+	+	+
44	+	+	+	+	+	-	+
45	+	+	+	+	+	+	+
46	+	+	+	+	+	+	-
47	+	+	+	+	+	-	-
48	+	+	+	+	+	+	+
49	+	+	+	+	+	+	+
50	+	-	+	+	+	+	+
T. Positivos	50	47	47	47	45	42	39

CONTINÚA



T. negativos	0	3	3	3	5	8	11
Porcentaje (%)	100	94	94	94	90	84	78

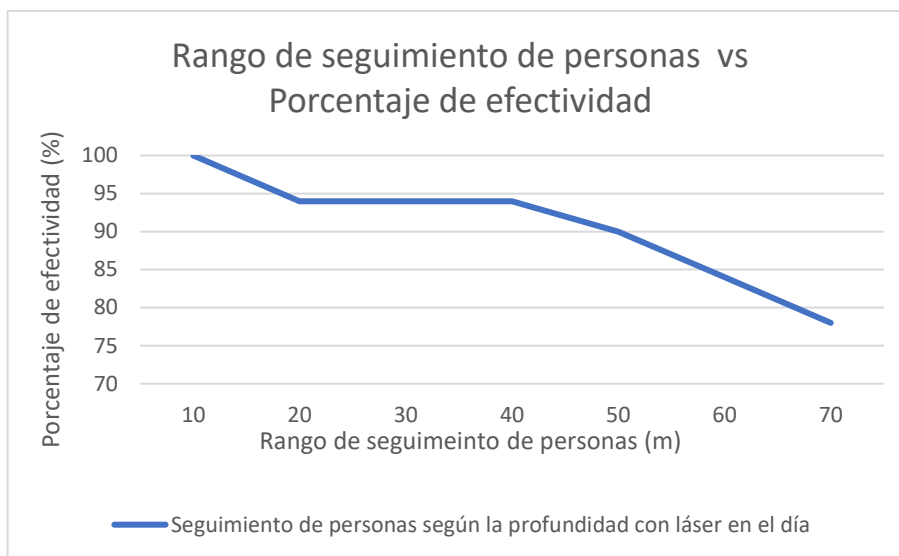


Figura 103 Seguimiento vs efectividad con el láser en el día

4.6.2. Seguimiento de personas en la noche sin el láser

Donde se considera:

- positivo (+) = si el punto centro de la imagen está dentro del cuadrado de seguimiento.
- negativo (-) = si el punto centro de la imagen no está dentro del cuadrado de seguimiento

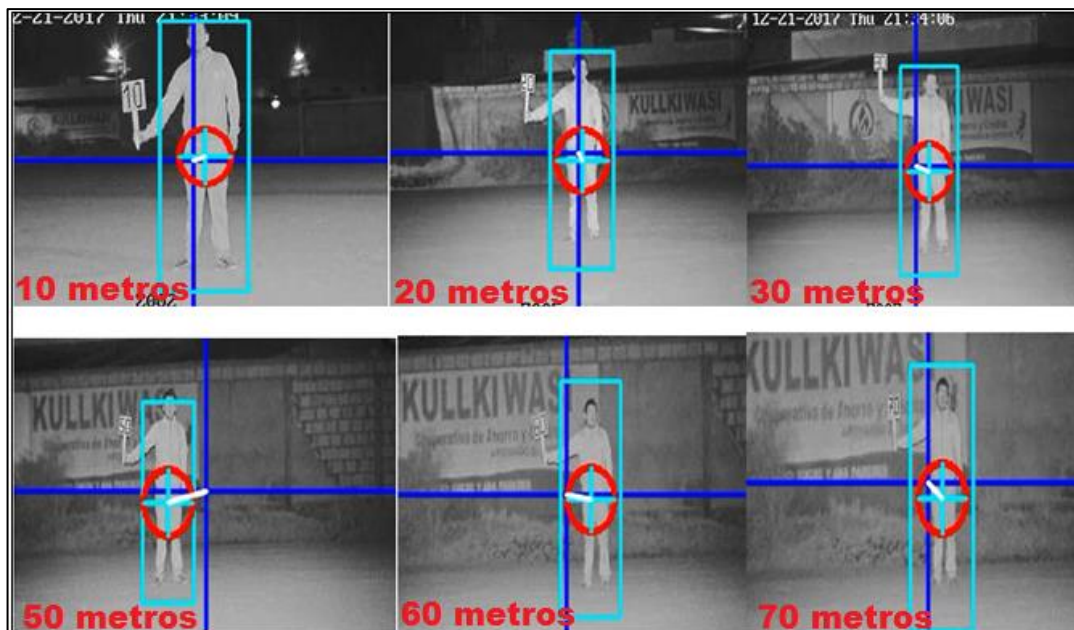


Figura 104 Seguimiento en la noche sin el láser

Tabla 20

Seguimiento según la profundidad en la noche sin el láser.

N pruebas	Rango de seguimiento de personas en metros						
	10	20	30	40	50	60	70
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	-	+
3	+	-	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	-
6	+	+	-	+	+	-	+
7	+	+	+	-	+	+	-
8	+	-	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	-
10	+	+	+	+	+	-	+
11	+	+	+	+	+	+	+
12	+	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	+	-	+

CONTINÚA

15	+	+	+	+	+	+	+
16	+	+	+	+	-	+	-
17	+	+	+	+	+	+	+
18	+	+	+	+	+	+	+
19	+	+	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+	-	+
21	+	+	+	+	+	-	+
22	+	+	+	+	+	-	+
23	+	+	+	+	+	-	+
24	+	+	+	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+	+	+
26	+	+	-	+	+	+	+
27	+	+	-	+	+	+	-
28	+	+	+	+	+	+	-
29	+	+	+	+	+	+	+
30	+	+	+	-	+	+	+
31	+	-	+	+	-	+	-
32	+	+	+	+	+	+	+
33	+	+	+	+	-	+	+
34	+	+	+	-	-	+	-
35	+	+	+	+	+	+	+
36	+	+	+	+	+	+	+
37	+	+	+	+	+	+	+
38	+	+	+	+	+	-	-
39	+	+	+	+	+	+	+
40	+	+	+	+	+	-	-
41	+	+	+	+	+	+	+
42	+	+	+	+	+	+	-
43	+	+	+	+	+	+	+
44	+	+	+	+	+	+	-
45	+	+	+	+	+	+	+
46	+	+	+	+	+	+	+
47	+	+	+	+	+	+	+
48	+	+	+	+	+	+	-
49	+	+	+	+	-	+	+

CONTINÚA 

50	+	+	+	+	-	+	+
T. Positivos	50	47	47	47	44	40	38
T. negativos	0	3	3	3	6	10	12
Porcentaje (%)	100	94	94	94	88	80	76

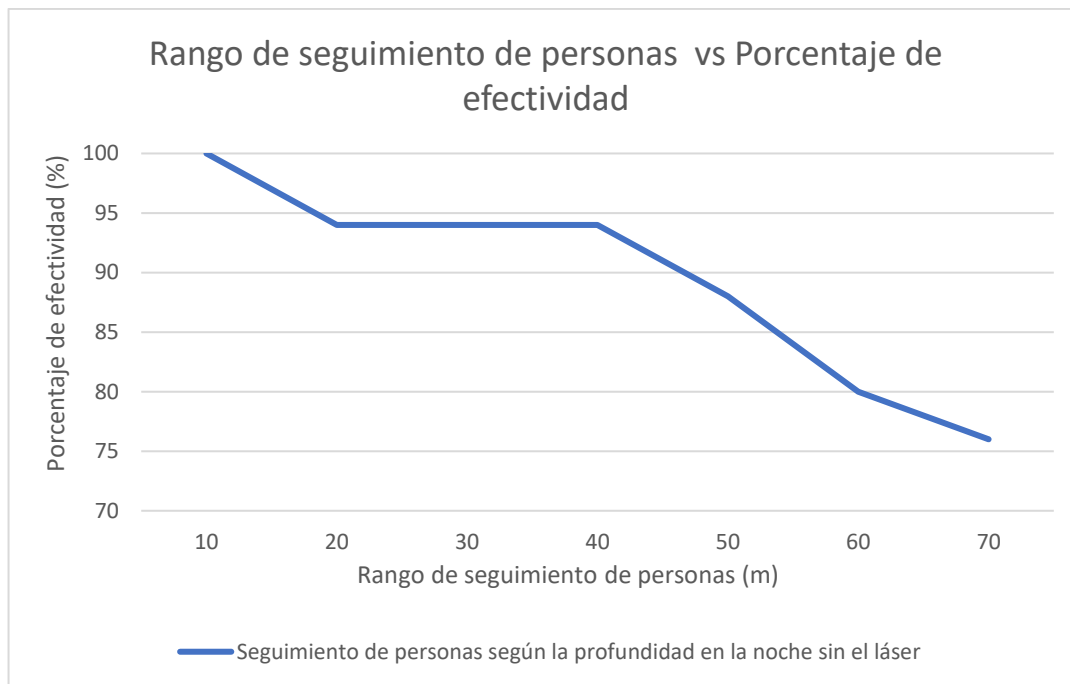


Figura 105 Seguimiento vs de efectividad en la noche sin el láser

4.6.3. Seguimiento de personas en la noche con láser

Donde se considera:

- Positivo (+) = si el láser apunta a la persona y este se refleja en su cuerpo.
- Negativo (-) = si el láser no apunta por lo tanto no se refleja en el cuerpo.

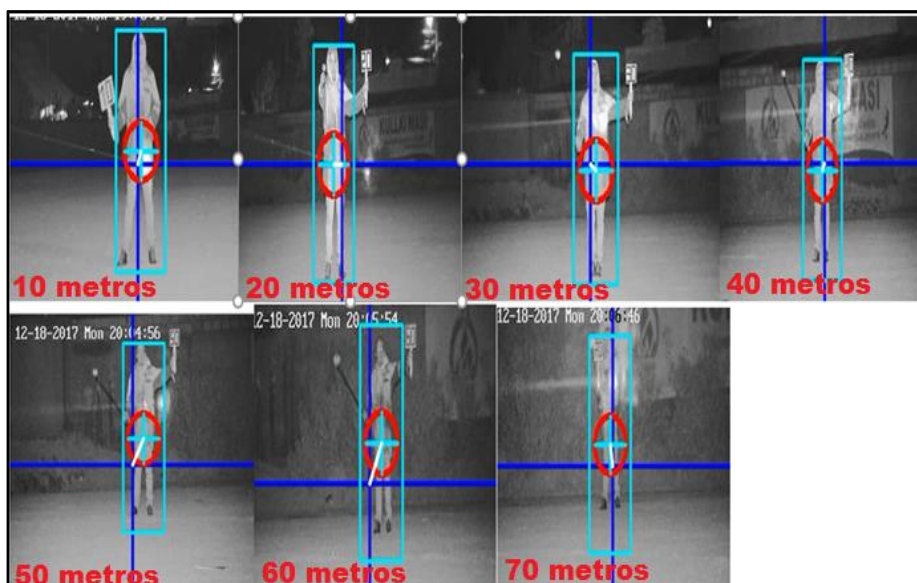


Figura 106 Seguimiento de personas en la noche con láser.

Tabla 21

Seguimiento según la profundidad en la noche con el láser.

N pruebas	Rango de seguimiento de personas en metros						
	10	20	30	40	50	60	70
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	-	+	-	+
3	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	-	+	+
5	+	+	+	+	+	+	-
6	+	+	-	+	+	-	+
7	+	+	+	-	+	+	-
8	+	-	+	+	-	+	-
9	+	+	+	+	-	+	-
10	-	+	+	+	+	-	+
11	+	+	+	+	+	-	+
12	+	+	+	+	+	+	+
13	+	+	-	+	-	+	-
14	+	+	+	+	+	-	+
15	+	-	+	+	+	-	+
16	+	+	+	-	-	+	-
17	+	+	+	+	+	+	+

CONTINÚA



18	+	+	+	+	+	+	+
19	+	+	+	+	+	-	-
20	+	-	+	+	+	+	+
21	+	+	+	+	+	+	+
22	+	+	+	+	+	+	-
23	+	+	+	+	+	-	+
24	+	+	-	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+	+	+
26	+	-	+	-	-	+	-
27	+	+	+	+	+	-	+
28	+	+	+	+	+	+	+
29	+	+	+	+	+	+	+
30	+	+	+	+	-	+	+
31	+	+	+	+	+	+	-
32	+	+	+	+	+	+	+
33	+	+	+	+	+	+	+
34	+	+	-	+	+	-	+
35	+	+	+	+	-	+	+
36	+	+	+	+	+	+	-
37	+	+	+	-	+	+	+
38	+	+	+	+	+	+	+
39	+	+	+	+	-	+	+
40	+	+	+	+	+	-	-
41	+	+	+	+	+	+	+
42	+	+	+	+	+	+	+
43	+	+	+	+	+	+	-
44	+	+	+	+	-	-	+
45	+	+	+	-	+	+	-
46	+	+	+	+	+	+	+
47	+	+	+	+	+	+	+
48	+	+	+	+	+	+	+
49	+	+	+	+	+	+	+
50	+	+	+	+	+	+	+
T. Positivos	50	46	46	44	40	38	36
T. negativos	0	4	4	6	10	12	14
Porcentaje (%)	100	92	92	88	80	76	72

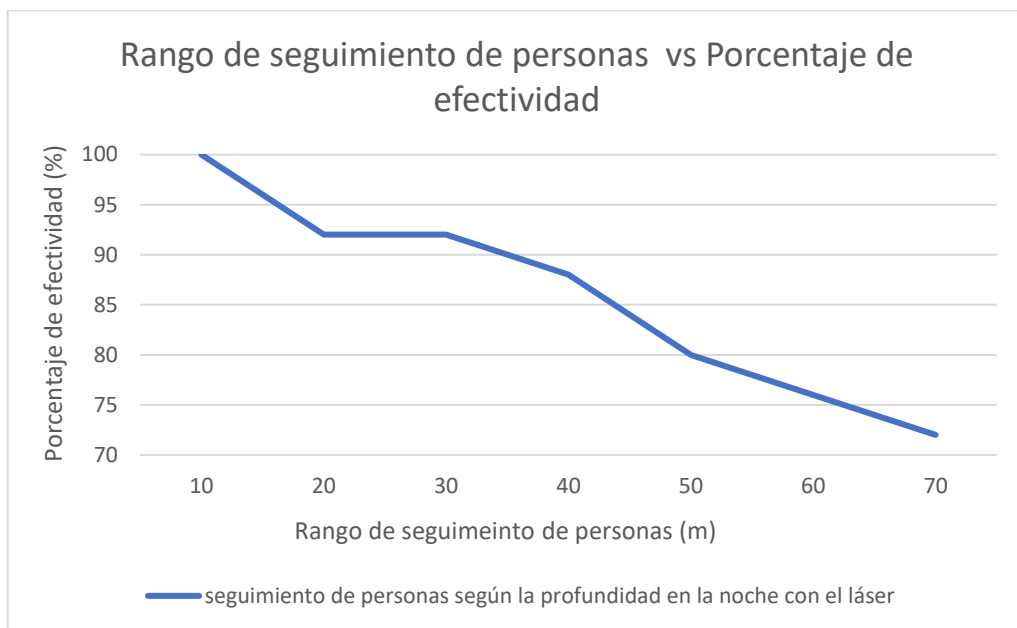


Figura 107 Seguimiento vs efectividad en la noche con el láser

Para resumir los 3 casos críticos: seguimiento de personas con el láser en el día y en la noche y seguimiento de personas en la noche sin el láser, se realiza la tabla 22 en donde se observa un resumen del porcentaje de seguimiento y distancia de seguimiento de las tablas 19,20,21 respectivas a cada caso.

Tabla 22

Resumen de los 3 casos críticos de seguimiento

Porcentaje de efectividad (%) en cada caso crítico	Distancia de seguimiento (m)						
	10	20	30	40	50	60	70
Porcentaje seguimiento de personas con el láser en el día (%)	100	94	94	94	90	84	78
Porcentaje seguimiento de personas en la noche sin el láser (%)	100	94	94	94	88	80	76
Porcentaje seguimiento de personas en la noche con el láser (%)	100	92	92	88	80	76	72

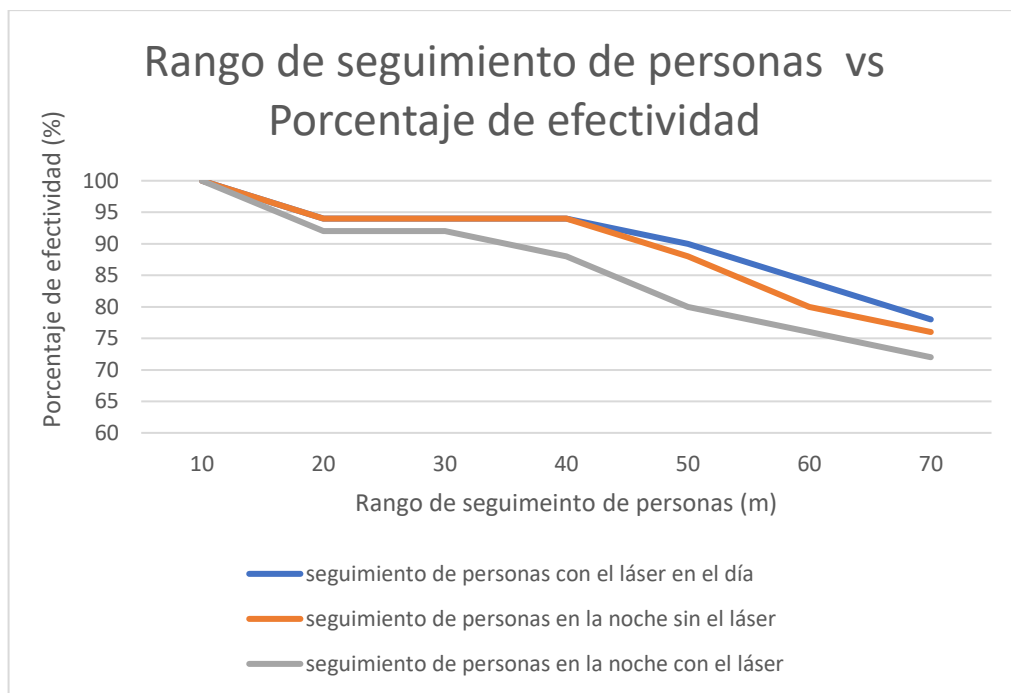


Figura 108 Seguimiento de personas vs Porcentaje de efectividad

En la Figura 108 se observa que el porcentaje de efectividad de seguimiento de las personas desciende de acuerdo al caso crítico, siendo este el seguimiento de personas en la noche con láser, este presenta la menor efectividad en el prototipo, pues el láser al ser utilizado en la noche irradia una luz más fuerte debido a la oscuridad y distorsiona la imagen interfiriendo en el algoritmo de seguimiento.

4.7. Comprobación de la hipótesis de seguimiento

4.7.1. Seguimiento de personas con láser en el día

Hipótesis nula

H_0 = no existe seguimiento de personas en el día con láser

Hipótesis válida

H_i = existe seguimiento de personas en el día con láser

Datos:

Margen de error a considerar= 5%

Margen de error en la tabla= 0.05

Grados de libertad= 6

Tabla 23**Seguimiento de personas en el día con el láser.**

Pruebas en el día con láser								
	10	20	30	40	50	60	70	Total
Positivo	50	47	47	47	45	42	39	317
Negativo	0	3	3	3	5	8	11	33
total	50	50	50	50	50	50	50	350

$$x^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

$$x_{cal}^2 = 19.08$$

El chi cuadrado calculado es 19.08 el cual se compara con el chi cuadrado (x_{tab}^2) de la tabla 24.

Tabla 24**chi cuadrado**

v/p	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.15
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	2.0722
2	13.8150	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	4.6052	3.7942
3	16.2660	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	5.3170
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	6.7449
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2363	8.1152
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	9.4461
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	10.7479

(labrad.fisica, n.d.)

$$x^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

$$x_{cal}^2 = 22.84$$

El chi cuadrado calculado es 22.84 el cual se compara con el chi cuadrado (x_{tab}^2) de la tabla 26.

Tabla 26
chi cuadrado

v/p	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.15
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	2.0722
2	13.8150	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	4.6052	3.7942
3	16.2660	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	5.3170
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	6.7449
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2363	8.1152
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	9.4461
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	10.7479

(labrad.fisica, n.d.)

Resultados

$$x_{tab}^2 = 12.5916$$

$$x_{cal}^2 > x_{tab}^2 = H_i \text{ es válida}$$

$$x_{cal}^2 < x_{tab}^2 = H_o \text{ es válida}$$

$$22.84 > 12.5916$$

Realizando la comprobación de la fórmula se observa que la hipótesis H_i (existe seguimiento de personas en la noche sin láser) es válida.

4.7.3. Seguimiento de personas en la noche con láser

Hipótesis nula

Ho= no existe seguimiento de personas en la noche con láser

Hipótesis válida

Hi= existe seguimiento de personas en la noche con láser

Datos:

Margen de error a considerar= 5%

Margen de error en la tabla= 0.05

Grados de libertad= 6

Tabla 27

Chi- cuadrado del seguimiento en la noche con el láser.

Pruebas en el día con láser								
	10	20	30	40	50	60	70	
Positivo	50	46	46	44	40	38	36	300
Negativo	0	4	4	6	10	12	14	50
total	50	50	50	50	50	50	50	350

$$x^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

$$x_{cal}^2 = 24.65$$

El chi cuadrado calculado es 24.65 el cual se compara con el chi cuadrado (x_{tab}^2) de la tabla 28.

Tabla 28
chi cuadrado

v/p	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.15
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	2.0722
2	13.8150	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	4.6052	3.7942
3	16.2660	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	5.3170
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	6.7449
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2363	8.1152
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	9.4461
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	10.7479

(labrad.fisica, n.d.)

Resultados

$$x_{tab}^2 = 12.5916$$

$$x_{cal}^2 > x_{tab}^2 = H_1 \text{ es válida}$$

$$x_{cal}^2 < x_{tab}^2 = H_0 \text{ es válida}$$

$$24.65 > 12.5916$$

Realizando la comprobación de la fórmula se observa que la hipótesis H_1 (existe seguimiento de personas en la noche con láser) es válida.

Obteniendo como resultado que todas las hipótesis son verdaderas: existe seguimiento de personas en el día con láser, existe seguimiento de personas en la noche sin láser, existe seguimiento de personas en la noche con láser, se concluye que la hipótesis **“prototipo de video vigilancia utilizando la visión artificial es capaz de mejorar la seguridad, al detectar, reconocer y seguir a las personas no autorizadas automáticamente”** es válida

4.8. Pruebas con la marcadora (sistema de neutralización)

4.8.1. Pruebas con el arma en el día y noche

Donde se considera:

- Positivo (+) = si la bala de pintura choca con el objetivo (persona).
- Negativo (-) = si la bala de pintura no choca con el objetivo (persona).



Figura 109 pruebas de disparo en el día y noche.

En la Figura 109 se observa las imágenes de las diferentes pruebas de disparo que se realizó en las distintas horas del día y la noche, así se puede diferenciar con un círculo azul en donde han sido impactadas las balas por lo que al explotar en el cuerpo dejan una coloración verde debido a que contienen pintura verde en su interior.

Tabla 29

Prueba de disparo con el arma en día y en la noche.

N de pruebas	Prueba disparo con el arma en el día (7am)				Pruebas disparo en la noche			
	10	15	20	25	10	15	20	25
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	-	-	+

CONTINÚA



3	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+	-
6	+	+	+	-	+	+	+	-
7	+	+	+	-	+	+	+	-
8	+	+	+	-	+	-	-	-
9	+	+	+	+	+	-	+	-
10	+	+	+	+	+	+	+	-
11	+	+	+	+	+	+	-	+
12	+	-	+	+	+	+	+	+
13	+	-	-	+	+	+	-	+
14	+	+	-	-	+	+	+	+
15	+	+	-	-	+	+	-	+
16	+	+	+	-	+	+	+	+
17	-	+	+	-	-	+	-	+
18	+	+	+	+	+	+	+	+
19	+	+	+	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	-	+	+	+
21	+	+	+	+	+	+	-	+
22	+	+	-	+	-	+	+	-
23	+	+	-	+	+	+	+	-
24	+	+	+	+	+	+	+	-
25	+	+	-	-	+	+	+	+
positivos	24	23	19	17	23	22	18	16
negativos	1	2	6	8	2	3	7	9
Porcentaje	96	92	76	68	92	88	72	64

Debido a que la marcadora cargada con un tanque de CO₂, alcanza una distancia de disparo máxima de 25 metros, en la Tabla 25 se considera la distancia máxima de neutralización de 25 metros.

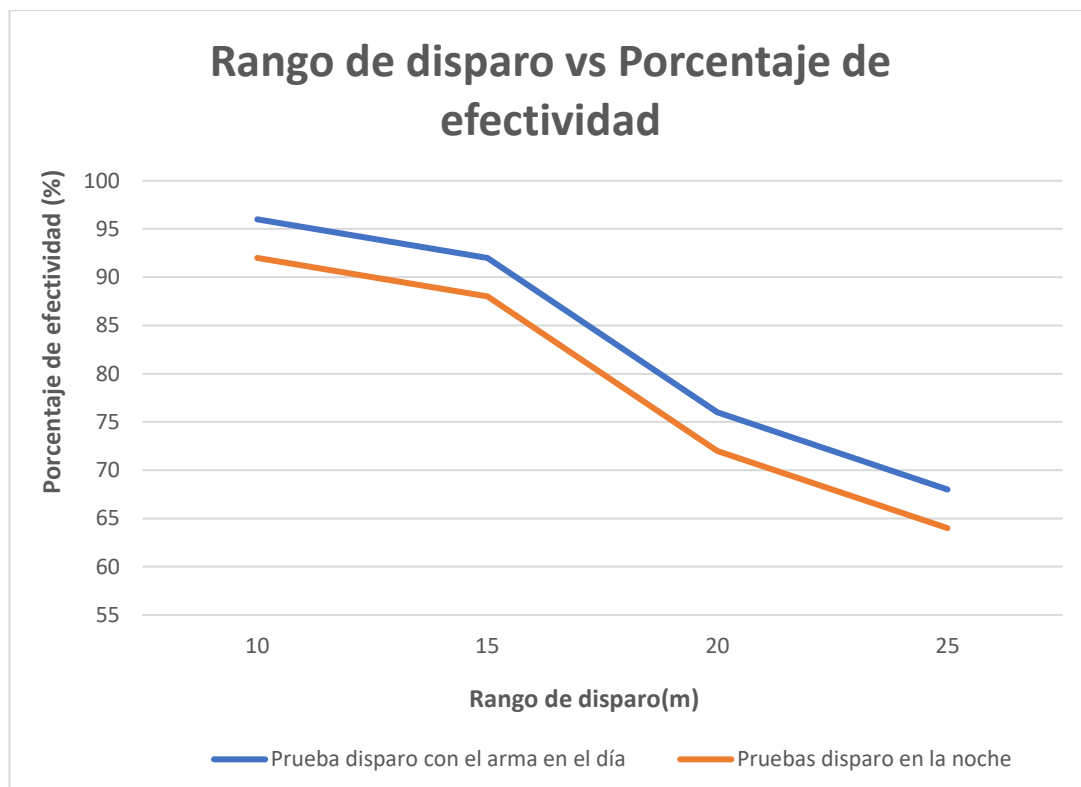


Figura 110 Rango de disparo vs Porcentaje de efectividad

4.8.2. Comprobación de la hipótesis de neutralización de personas

Hipótesis nula

Ho= no existe neutralización de personas

Hipótesis válida

Hi= existe neutralización de personas

Datos:

Margen de error a considerar= 5%

Margen de error en la tabla= 0.05

Grados de libertad= 7

Tabla 30

Chi- cuadrado de la neutralización de personas.

	día				noche				total
	10	15	20	25	10	15	20	25	
Positivo	24	23	19	17	23	22	18	16	162
Negativo	1	2	6	8	2	3	7	9	38
total	25	25	25	25	25	25	25	25	200

$$x^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

$$xcal^2 = 17.54$$

El chi cuadrado calculado es 17.54 el cual se compara con el chi cuadrado (x_{tab}^2) de la tabla 31.

Tabla 31

chi cuadrado

v/p	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.15
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	2.0722
2	13.8150	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	4.6052	3.7942
3	16.2660	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	5.3170
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	6.7449
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2363	8.1152
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	9.4461
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	10.7479

(labrad.fisica, n.d.)

Resultados

$$x_{tab}^2 = 14.067$$

$$x_{cal}^2 > x_{tab}^2 = H_1 \text{ es válida}$$

$$x_{cal}^2 < x_{tab}^2 = H_0 \text{ es válida}$$

$$17.54 > 14.067$$

Realizando la comprobación de la fórmula se observa que la hipótesis H_1 (existe neutralización de personas) es válida.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El sistema de videovigilancia es capaz de buscar, reconocer, seguir y neutralizar personas en un área externa restringida de hasta 70 metros de longitud, las 24 horas del día en diferentes condiciones ambientales.

El mecanismo de movimiento del sistema de seguridad permite un movimiento de dos ejes pan (movimiento x) tilt (movimiento y), para el seguimiento y la neutralización de personas.

La detección y búsqueda de personas, es más exacta cuando el entrenamiento tiene una gran cantidad de datos, se evita la detección de falsos positivos, que son generados por postes de luz, animales, viento y polvo. Mejora la robustez del algoritmo en general para el seguimiento y la neutralización de personas.

El ZOOM óptico de la cámara IP de videovigilancia permite la detección y seguimiento de las personas hasta una distancia de 70 metros, la cual no es posible si se utiliza el ZOOM digital, ya que el mismo recorta y reduce la resolución de la imagen, reduciendo las posibilidades de detección de una persona.

El sistema de video vigilancia es funcional las 24 horas del día y en condiciones ambientales diferentes, siempre y cuando la persona pueda ser visualizada por la cámara en cuerpo completo y sin interferencias solares ni de luz que interfieran con el lente de la cámara.

El algoritmo de seguimiento KCF permite seguir a la persona detectada de una manera más fluida, ya que requiere menor coste computacional, y permite el rastreo de la persona mientras realiza diferentes acciones como correr,

trotar, sentarse o acostarse, tomar diferentes posturas, sin perder la posición del ser humano detectado.

El algoritmo KCF funciona dinámicamente con el detector, porque los comandos de implementación del algoritmo de seguimiento interactúan directamente con la información del detector esto facilita la implementación en el programa.

Para la implementación de el algoritmo KCF se utiliza las librerías de OpenCV 3 pues al ser nuevo algoritmo no es compatible en las antiguas versiones.

La cámara IP es un dispositivo más robusto a comparación de una cámara web, ya que posee mejores sistemas, como por ejemplo sensores infrarrojos para la visualización de videos nocturnos y de baja condiciones de luz, además permite tener acceso remoto de video a varios dispositivos dentro de una red de área local.

La utilización de enfoque automático es necesaria para mejorar la detección de las personas, ya que filtra y mejora la calidad de la imagen a procesar. Asimismo, el protocolo http permite obtener, cambiar, datos e información de la cámara IP a la vez que transmite el video para el tratamiento y procesamiento digital de imágenes.

La efectividad de disparo de la marcadora de paintball del sistema de seguridad de videovigilancia depende principalmente de las condiciones ambientales, especialmente cuando existe demasiado viento, la bala de pintura tiende a desviarse hacia el lado donde corre el viento

El protocolo RTSP permite obtener un canal de video de calidad media baja de resolución 320x240 para el procesamiento digital de imágenes, debido a que trabajar con resoluciones de mayor calidad retrasa el seguimiento de la persona, y retarda la comunicación con el microcontrolador.

La efectividad de seguimiento de las personas desciende de acuerdo al caso crítico, siendo el seguimiento de personas en la noche con láser, el que

presenta la menor efectividad en el prototipo, pues el láser al ser utilizado en la noche irradia una luz más fuerte debido a la oscuridad y distorsiona la imagen interfiriendo en el algoritmo de seguimiento.

Para el sistema propelente de CO₂ de la marcadora de paintball se utiliza un tanque de 11oz, el cual durante el transcurso de las pruebas su presión va disminuyendo, con el cual también disminuye el alcance de la bala.

5.2. RECOMENDACIONES

Para resultados óptimos del sistema de videovigilancia, es recomendable no ubicar la cámara frente a la luz solar, ya que esta provoca una oclusión total de la imagen de entrada, es decir no se puede visualizar ningún objeto por parte de la cámara.

La base de datos para la detección es óptima cuando una persona está parada, se puede implementar otra base de datos que contengan otras distintas posiciones humanas, como por ejemplo sentarse o acostarse, siempre y cuando sea en su fase de detección ya que en la fase de seguimiento es posible realizar esto sin ningún problema.

Las pruebas de neutralización de personas se deben realizar en lugares cerrados donde no existen aglomeración de personas, ya que las marcadoras son un riesgo de seguridad si no se cuenta con el equipo adecuado.

Para la verificación de la neutralización de las personas, el sujeto de prueba siempre debe tener su equipo de seguridad: guantes, protecciones para el cuerpo, y casco de protección.

Las marcadoras no representan un riesgo de vida, pero si pueden causar grandes daños a las partes del cuerpo humano si no se usan las protecciones.

Verificar las conexiones eléctricas y sus cables, del sistema de videovigilancia, cámaras, fuente y motores antes de utilizarla.

El mecanismo de movimiento PAN TILT cada mes requiere de ciertos ajustes mecánicos como por ejemplos ajuste de pernos y tuercas, al momento de realizar las pruebas de neutralización, ya que debido a la vibración que la marcadora tiende a desajustar los pernos de la marcadora.

La marcadora de paintball, los engranes y los piñones requieren de mantenimiento, ya que se trata de un dispositivo mecánico, y su mecanismo interno requiere de calibración y de lubricación.

Verificar que la conexión entre la cámara y el pc mediante la dirección IP que tiene la cámara por defecto de fábrica.

Para obtener una mayor distancia de seguimiento se recomienda aumentar la relación de los engranajes tanto en el movimiento TILT y PAN, ya que así se logra que los pasos de las relaciones sean más pequeños para seguir de mejor manera a la persona

Para evitar el problema de la disminución de la presión del tanque de CO2 utilizado como propelente para el disparo de la marcadora se recomienda utilizar una fuente constante a mayor presión.

Para mejorar la velocidad de procesamiento de sistema se debe utilizar un mejor ordenador ya que de este depende la velocidad del programa.

Para poder implementar el seguimiento de KCF se recomienda instalar versiones iguales o mayores a OpenCV 3 ya que por ser un algoritmo nuevo este no viene implementado en las anteriores versiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accesor Applications and Services S.A. (s.f.). Recuperado el 29 de Octubre de 2016, de http://www.accesor.com/esp/art2_query.php?fam=5
- ADCIS. (2016). Recuperado el 4 de noviembre de 2016, de <http://www.adcis.net/es/index.html>
- Aliexpress. (s.f.). Recuperado el 24 de abril de 2017, de https://es.aliexpress.com/store/product/DC-6V-10A-Switching-power-supply-dc-6v-power-supply-universal-60W/113275_32756871411.html?spm=2114.04010208.3.2.RsJEAI&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_4_10000073_10065_10068_10501_10000074_10000132_1000003
- Apablaza, C. (24 de Abril de 2017). Profesores. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo323/2s10/projects/ApablazaBustamante/desc.html>
- Archive. (27 de febrero de 2007). Recuperado el 4 de noviembre de 2016, de <http://web.archive.org/web/20071129170233/http://dist.trolltech.com/pdf/TrolltechASA4Q06.pdf>
- Arduino. (s.f.). Recuperado el 25 de abril de 2017, de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arduino. (2017). Recuperado el 6 de Enero de 2018, de <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=347768.0>
- Asistet. (s.f.). Recuperado el 4 de Diciembre de 2016, de <http://asistet.blogspot.com/2013/12/historia-de-los-sistemas-de-cctv.html>
- Bazaga, A. (15 de agosto de 2015). Universidad de la laguna. Recuperado el 4 de noviembre de 2016, de <https://osl.ull.es/software-libre/opencv-libreria-vision-computador/>
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2014). Learning OpenCV. 2 edition. Recuperado el 15 de noviembre de 2016
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2011). esfuerzos principales. En Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (pág. 82). México D.F.: McGraw-Hill.

- Carletti, E. (21 de Noviembre de 2009). Pesadillo. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://www.pesadillo.com/pesadillo/?p=2767>
- Carro, B., Sanchez, A. J., & Aguiar, J. M. (2013). Caracterización semántica de espacios. Sistema de videovigilancia inteligente en Smart Cities . Valladolid.
- Casio. (s.f.). Recuperado el 7 de Enero de 2018, de <http://www.casio-intl.com/latin/es/projector/functions/>
- Cnet. (s.f.). Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <https://www.cnet.com/products/hp-2000-2d22dx-15-6-core-i3-3120m-4-gb-ram-750-gb-hdd-e0k72uaaba/specs/>
- Cobo, R. (s.f.). Asociación de la industria eléctrica-electrónica. Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>
- Cruz, G. (12 de julio de 2016). SlideShare. Recuperado el 14 de noviembre de 2016, de SlideShare: http://www.slideshare.net/german_cruz/5conceptos-basicoscctv
- Cuningan. (s.f.). Recuperado el 21 de Enero de 2018, de <https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>
- Dalal, N., & Triggs, B. (2010). Histograms of oriented gradients for human detection. San Diego.
- DFROBOT. (18 de Noviembre de 2016). Recuperado el 30 de noviembre de 2016, de https://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&search=LattePanda&description=true&product_id=1404
- Diaz, A. (3 de Abril de 2016). Ironsistem. Recuperado el 15 de noviembre de 2016, de <http://ironsistem.com/tutoriales/python/deteccion-facial-en-python-y-opencv/>
- Diseño e Ingeniería mecánica de Shigley. (2012). México D.F.: McGrawHill.
- droidecomunidad. (14 de Noviembre de 2016). Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de <http://droidecomunidad.com/portfolio-item/programacion-en-python-con-raspberrypi/>
- Dzoom. (s.f.). Recuperado el 9 de Enero de 2018, de <https://www.dzoom.org.es/zoom-optico-y-zoom-digital-cual-es-mejor/>

- El Universo. (22 de Enero de 2015). Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/01/22/nota/4466476/ecu-911-mas-grande-central-vigilancia-nivel-nacional>
- Escalante, B. (Agosto de 2006). UNAM. Recuperado el 1 de Enero de 2018, de <http://verona.fi-p.unam.mx/boris/teachingnotes/Introduccion.pdf>
- Es-paintball. (s.f.). Recuperado el 2 de Enero de 2018, de <http://www.es-paintball.com/clases-de-marcadoras-de-paintball>
- Fullmecnica. (2014). Recuperado el 3 de Enero de 2018, de <http://www.fullmecnica.com/definiciones/f/484-factor-de-seguridad>
- Galeano , G. (2011). Sistemas embebidos. En G. Galeano , Programacion de sistemas Embebidos en C (págs. 9-11). Alfaomega. Recuperado el 15 de noviembre de 2016
- Hanzra, B. S. (30 de Mayo de 2015). Hanzratech. Recuperado el 19 de Marzo de 2017, de <http://hanzratech.in/2015/05/30/local-binary-patterns.html>
- Henriques, J. F. (2015). (João F. Henriques) Recuperado el 18 de mayo de 2017, de <http://www.robots.ox.ac.uk/~joao/circulant/>
- Herías, F. C., & Ramón, J. C. (20 de Septiembre de 2009). Universidad de Alicante. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, de <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>
- Ingmecafenix. (s.f.). Recuperado el 6 de Enero de 2018, de <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>
- Inventables. (s.f.). Recuperado el 6 de enero de 2018, de <https://www.inventables.com/technologies/arduino-uno>
- Izurieta, A. (1997). Manual para la medición de la Eficiencia de Maniejo de un Siatema. Costa Rica: IICA/CATIE.
- labrad.fisica. (s.f.). Recuperado el 25 de Enero de 2018, de http://labrad.fisica.edu.uy/docs/tabla_chi_cuadrado.pdf
- Lacoma, T. (s.f.). Ehowenespanol. Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, de http://www.ehowenespanol.com/camara-ptz-sobre_76400
- Lamarca Lapuente, M. J. (s.f.). Hipertexto. Recuperado el 9 de Septiembre de 2017, de http://www.hipertexto.info/documentos/b_datos.htm
- Lattepanda. (14 de Noviembre de 2016). Recuperado el 18 de noviembre de 2016, de <http://www.lattepanda.com/docs/>

- Llinares, A. G. (28 de noviembre de 2016). Recuperado el 8 de noviembre de 2016, de upv: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/PAEEES/2005-06/A07%20-%20Sistemas%20Embebidos.pdf>
- Maker Community. (14 de Febrero de 2014). Maker Community. Recuperado el 25 de abril de 2017, de <http://hacedores.com/cuantos-tipos-diferentes-de-arduino-hay/>
- Mallick, S. (24 de Septiembre de 2016). Learnopencv. Recuperado el 20 de Diciembre de 2017, de <http://www.learnopencv.com/object-tracking-using-opencv-cpp-python/>
- Mec. (s.f.). Recuperado el 6 de Enero de 2018, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_p-p.htm
- Merchán, F., Galeano, S., & Poveda, H. (15 de Septiembre de 2014). Universidad Tecnológica de Panamá. Recuperado el 2 de Enero de 2017, de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/21/html>
- Miranda, T. D., Rodriguez, J. V., Llanes, R. S., & Borges, O. F. (14 de noviembre de 2014). Universidad Tecnológica de la Habana "Jose Antonio Echeverría". Recuperado el 15 de noviembre de 2016, de http://renia.cujae.edu.cu/index.php/revistacientifica/article/view/151/pdf_56
- Monografias. (s.f.). Recuperado el 9 de Enero de 2018, de <http://www.monografias.com/trabajos30/engranajes/engranajes.shtml>
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. Tijuana: Pearson.
- Mott, R. (2009). Resistencia de materiales. México D.F.: Pearson.
- Moya, J. A. (2016). Ie. Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de <http://www.ie.itcr.ac.cr/palvarado/PAID/paid.pdf>
- Muñoz de Frutos, A. (12 de Agosto de 2017). Computerhoy. Recuperado el 7 de Enero de 2018, de <https://computerhoy.com/noticias/imagen-sonido/que-es-zoom-optico-66211>
- Neo. (s.f.). Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/aplicacion/http.html>

- Nerf. (s.f.). Recuperado el 7 de Enero de 2018, de <https://nerf.hasbro.com/en-us/product/nerf-n-strike-elite-hyperfire-blaster:DE9D956F-5056-9047-F5EF-BDB7306A8CCD>
- Omicrono. (9 de Septiembre de 2016). Recuperado el 9 de Enero de 2018, de <http://omicrono.elespanol.com/2016/10/zoom-optico-y-digital/>
- OpenCV. (s.f.). Recuperado el 9 de Junio de 2017, de https://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html
- Panasonic. (s.f.). Recuperado el 7 de Enero de 2018, de http://www.panasonic-la.com/avc/lumix/compact/zs10_tz20/lens.html
- Pololu. (s.f.). Recuperado el 6 de enero de 2018, de <https://www.pololu.com/product/2188>
- Pompa, P. (04 de Enero de 2016). Superrobotica. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://www.superrobotica.com/Servosrc.htm>
- Qt. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <https://doc.qt.io/qt-5.10/qtnetwork-index.html>
- Raspberrypi. (s.f.). Recuperado el 22 de abril de 2017, de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Raspberrypi. (28 de noviembre de 2016). Recuperado el 29 de noviembre de 2016, de <https://www.raspberrypi.org/about/>
- Recursos Tecnológicos. (12 de Diciembre de 2016). Recuperado el 22 de Abril de 2017, de <http://recursos-tecnologicos.com/ptz/282-domo-ptz-ds-2de4120i-d-ip-13mp-hd-960p.html>
- Recursos Tecnológicos. (12 de Diciembre de 2016). Recursos Tecnológicos. Recuperado el 23 de Abril de 2017, de <http://recursos-tecnologicos.com/ptz/277-domo-ir-ptz-ds-2ae4123ti-d-720p-d-wdr.html>
- Robotzone. (2017). Servocity. Recuperado el 7 de Enero de 2018, de <https://www.servocity.com/32-pitch-50-bore-aluminum-hub-gears>
- Rosebrock, A. (7 de Diciembre de 2015). pyimagesearch. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://www.pyimagesearch.com/2015/12/07/local-binary-patterns-with-python-opencv/>

- Saxxon. (24 de Marzo de 2016). Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de http://saxxon.mx/index.php?cPath=25_60
- Servocity. (2017). Recuperado el 7 de enero de 2018, de <https://www.servocity.com/0-250-1-4-bore-32p-shaft-mount-pinion-gears>
- Solidworks. (s.f.). Recuperado el 10 de Enero de 2018, de http://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/cworks/legacyhelp/simulation/checking_stresses/prot_vonm.html
- Sourcesecurity. (2015). Recuperado el 4 de Enero de 2018, de <https://www.sourcesecurity.com/datasheets/hikvision-ds-2de4120i-d-ip-dome-camera/co-3425-ga/DS-2DE4120I-D.pdf>
- Sucar, E., & Gómez, G. (s.f.). Recuperado el 20 de Diciembre de 2017, de Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, Electrónica Puebla México: <http://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf>
- Tippmann. (s.f.). Recuperado el 2 de Enero de 2018, de <http://www.tippmann.com/p/tippmann-98-custom-power-pack?pp=24>
- Trc. (s.f.). Recuperado el 11 de noviembre de 2016, de http://www.trc.es/pdf/TRC_Wh_Videovigilancia_14-05.pdf
- Unifore. (5 de Julio de 2016). Recuperado el 24 de abril de 2017, de <https://www.unifore.net/ip-video-surveillance/ip-camera-main-stream-and-sub-stream.html>
- Universidad de las Américas Puebla. (s.f.). Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mcc/lopez_r_o/capitulo4.pdf
- Velasco, R. (1 de enero de 2016). REDES ZONE. Recuperado el 4 de noviembre de 2016, de <http://www.redeszone.net/2016/01/01/lattepanda-un-mini-ordenador-con-windows-10-por-60-euros/>
- Velez F, M. A. (2003). Vision Artificial. En M. A. Velez F, Vision por Computadora. Madrir: S.L.-DYKINSON.
- videovigilancia. (s.f.). Recuperado el 23 de abril de 2017, de <http://www.videovigilancia.com/tiposcamaras.htm>

Vision-ary. (23 de Marzo de 2015). Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de <http://www.vision-ary.net/2015/03/boost-the-world-pedestrian/>

Wikipedia. (16 de Noviembre de 2015). Recuperado el 15 de noviembre de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Detecci%C3%B3n_de_caras#cite_note-Probabilidades-4

Zendesk. (5 de Abril de 2017). Recuperado el 24 de Julio de 2017, de https://ipconfigure.zendesk.com/hc/en-us/article_attachments/200345199/Generic_RTSP_Driver_Setup.pdf.

Zhang, L., Chu, R., Xiang, S., & Liao, S. (2007). Face detection based on Multi-Block LBP representation. Berlin. Recuperado el 3 de enero de 2018

ANEXOS

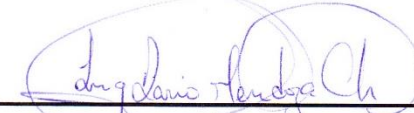


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores Yordi Wladimir Figueroa Vinces, Luis Noe Arias Toasa en la ciudad de Latacunga a los treinta días del mes de enero del 2018.


Ing. Darío Mendoza
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:


Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERIA MECATRONICA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO

