



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO CONTINUO DE CUERPOS CELESTES
PARA ANÁLISIS ESPECTRAL EN IMÁGENES DIGITALES, EN UN TELESCOPIO ASTRONÓMICO CON
MONTURA ECUATORIAL**

AUTORES: QUIZHPE CÓRDOVA, LENIN ISMAEL

YÁNEZ BRIONES, CRISTIAN ALEXIS

DIRECTORA: ING. CONSTANTE PRÓCEL PATRICIA NATALY





AGENDA

1. Planteamiento del Problema
2. Objetivos
3. Fundamento Teórico
4. Diseño del sistema de posicionamiento continuo en una montura ecuatorial
5. Implementación del sistema de Control
6. Diseño de algoritmos de programación para el sistema de posición, seguimiento y de visión artificial.
7. Pruebas y Evaluación de Resultados
8. Validación de Hipótesis
9. Conclusiones
10. Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Telescopio \$300



Telescopio Computarizado sobre \$800





OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de posicionamiento continuo de cuerpos celestes para análisis espectral en imágenes digitales, en un telescopio astronómico con montura ecuatorial.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar los parámetros para la implementación del sistema de posicionamiento continuo
- Realizar la selección de los elementos mecánicos, electrónicos, de control y de adquisición de imágenes.
- Realizar los algoritmos de programación necesarios para el seguimiento de cuerpos celeste.
- Realizar el análisis espectral en imágenes digitales para estimar frecuencia, longitud de onda y temperatura de radiación de los cuerpos celestes observados
- Validación de hipótesis, el análisis espectral de las imágenes digitales obtenidas.



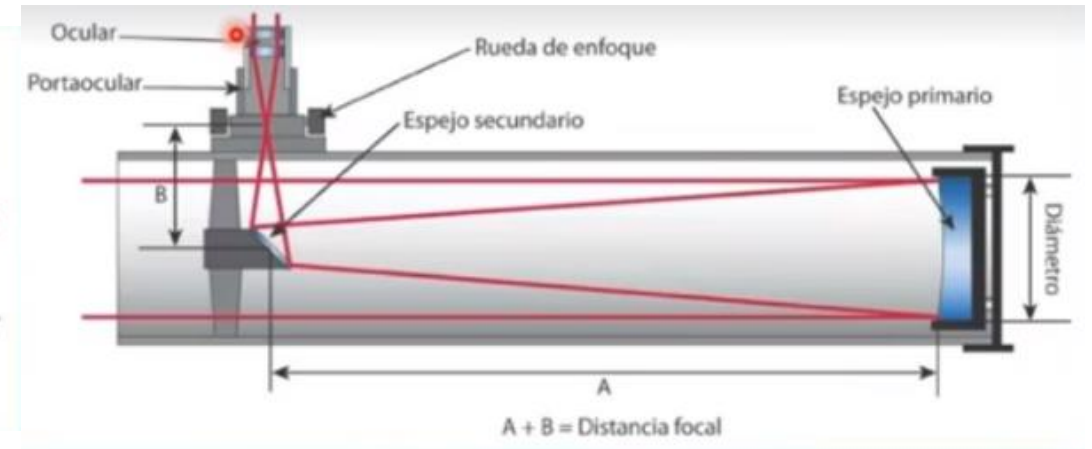
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTO TEÓRICO



a) Telescopio astronómico refractor



b) Telescopio astronómico reflector

APERTURA

DISTANCIA FOCAL

RELACIÓN FOCAL

AUMENTOS

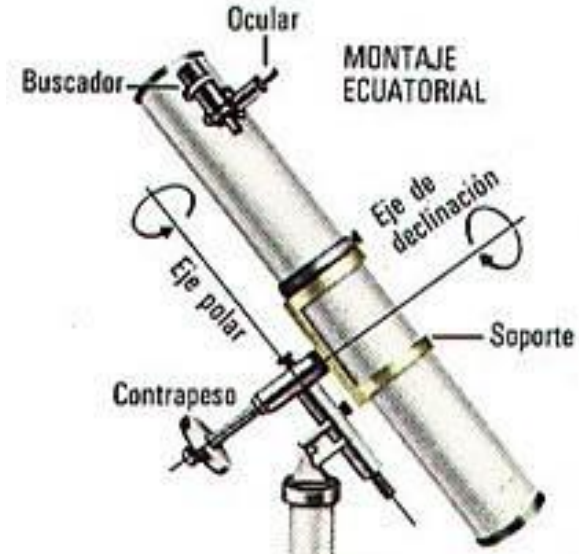
CAMPO DE VISIÓN



TIPO DE MONTURAS



a) Montura Azimutal



b) Montura Ecuatorial

NIVELACIÓN DE TRIPODE

ORIENTACIÓN POLAR

BALANCE

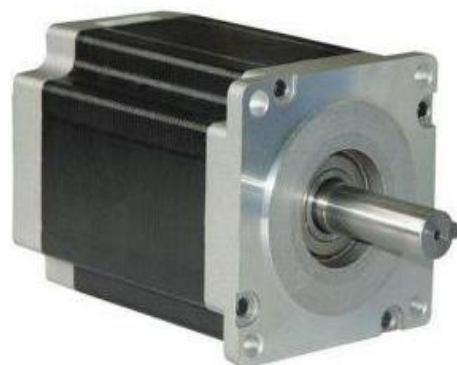


SISTEMA DE CONTROL PARA POSICIONAMIENTO Y SEGUIMIENTO

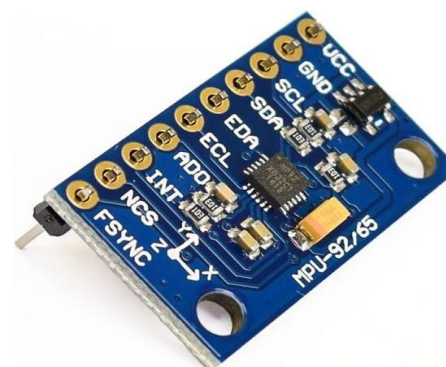
CELESTRON NEXSTAR



ACTUADORES



SENSORES INERCIALES





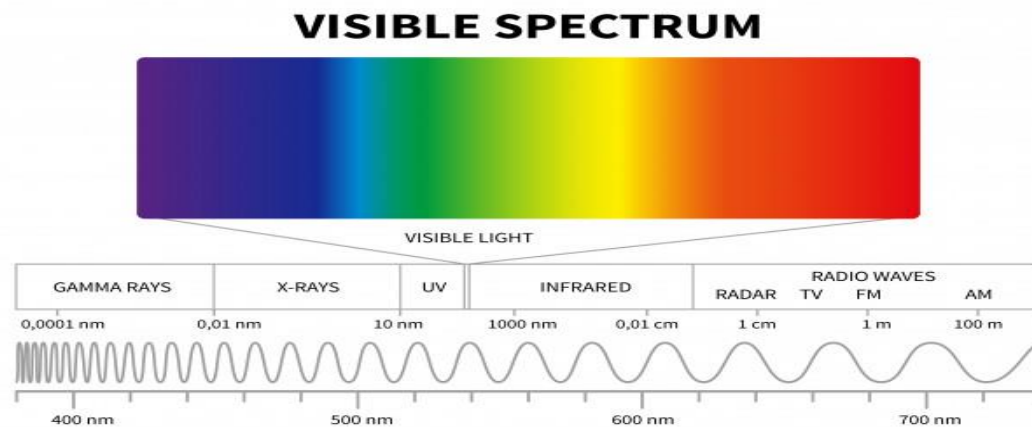
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTO TEÓRICO

TRANSFORMADA DE FOURIER

A nivel científico, la información requerida de una imagen digital es su espectro electromagnético



$$F(u, v) = \iint_{-\alpha}^{\alpha} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy$$

DFT para una imagen de tamaño MxN

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}$$

Transformada inversa discreta de Fourier

$$f(x, y) = MN \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(u, v) e^{-j2\pi\left(\frac{u}{M}x + \frac{v}{N}y\right)}$$

Espectro de Potencia

$$P(u, v) = F(u, v) \overline{F(u, v)}$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTO TEÓRICO

Cálculo de Temperatura en base a espectro Visible

Periodo orbital expresado en años de menor a mayor

Planeta	Periodo Orbital en años
Mercurio	0,24
Venus	0,61
Tierra	1
Marte	1,88
Júpiter	11,86
Saturno	26,46
Urano	84,01
Neptuno	164,79

Tomado de: (Rafael García, 2008)

Frecuencia de rotación amplificada

Planeta	Frecuencia de rotación (inverso de año)
Mercurio	4170
Venus	1630
Tierra	1000
Marte	530
Júpiter	80
Saturno	30
Urano	10
Neptuno	6

Frecuencia de espectro de luz

Espectro de Luz	Frecuencia
Rojo	$4,2 \times 10^{14}$
Violeta	$7,5 \times 10^{14}$



Cálculo de Temperatura en base a espectro Visible

Factor de Interpolación Lineal $\mu = \frac{3,22 \times 10^{14}}{4154} = 7,75 \times 10^{10}$

Fórmula Interpolación Lineal $y = y_0 + \mu(x - x_0)$

Relación longitud de onda con frecuencia

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Frecuencias planetarias en el espectro visible

Planeta	Frecuencias	Longitudes nm
Mercurio	$7,5 \times 10^{14}$	400
Venus	$5,54 \times 10^{14}$	541
Tierra	$5,05 \times 10^{14}$	594
Marte	$4,69 \times 10^{14}$	640
Júpiter	$4,34 \times 10^{14}$	692
Saturno	$4,30 \times 10^{14}$	698
Urano	$4,28 \times 10^{14}$	700
Neptuno	$4,28 \times 10^{14}$	701



Cálculo de Temperatura en base a espectro Visible

Para medir la temperatura de radiación de un cuerpo negro o de una estrella de la misma temperatura, se mide su longitud de onda a la cual emite con mayor intensidad y aplicando la ley de Wien

Ley de Wien

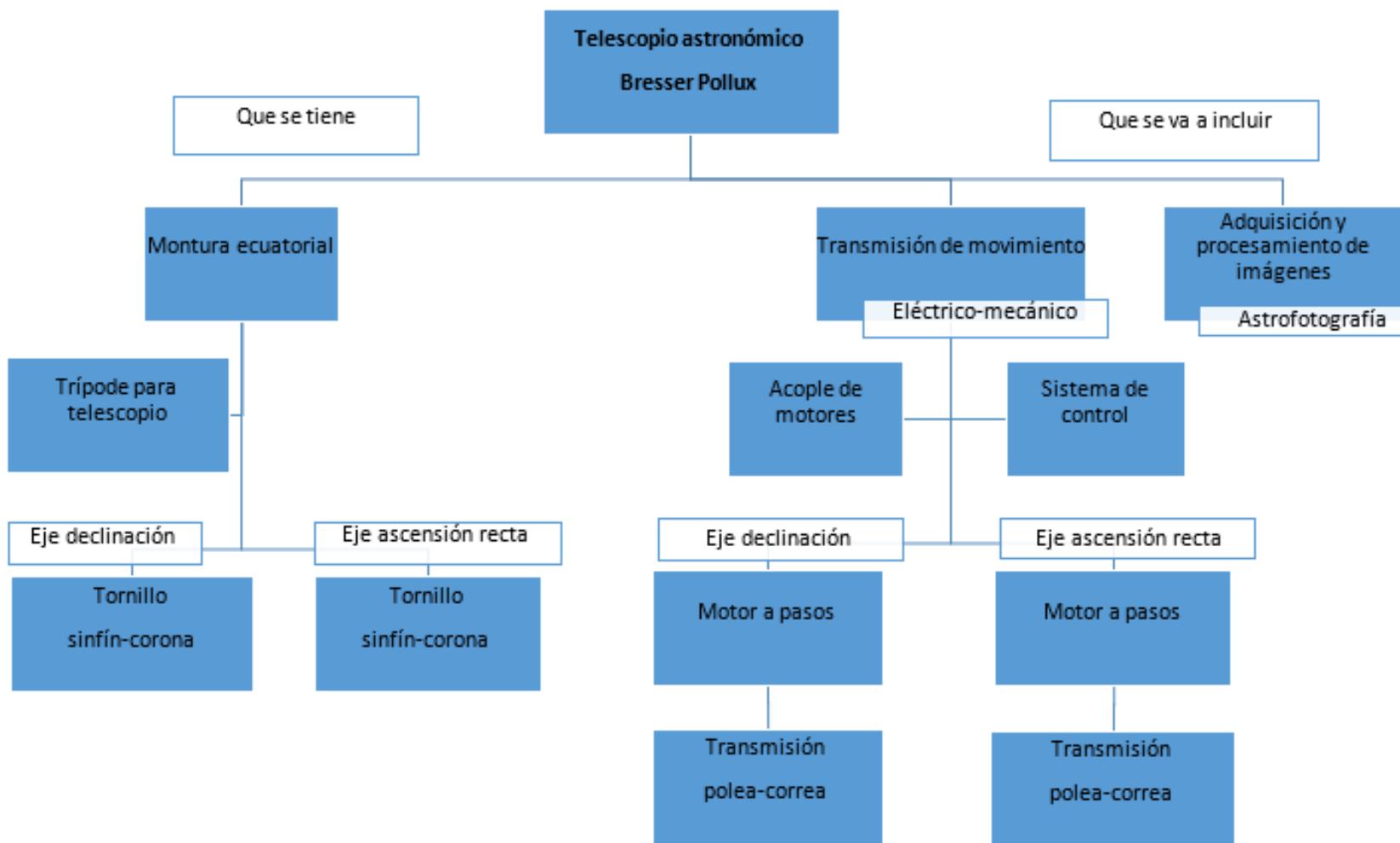
$$\lambda_{max} * T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m } ^\circ K$$

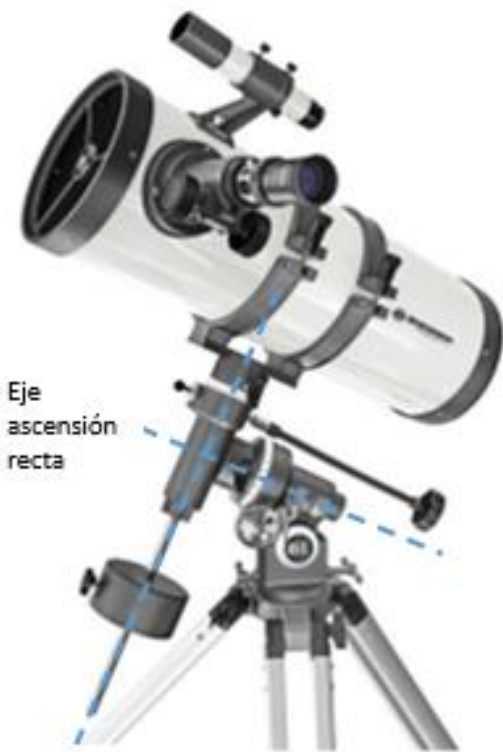
Para Venus

$$T = \frac{0,0028976 \text{ m } ^\circ K}{541 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5356^\circ K$$



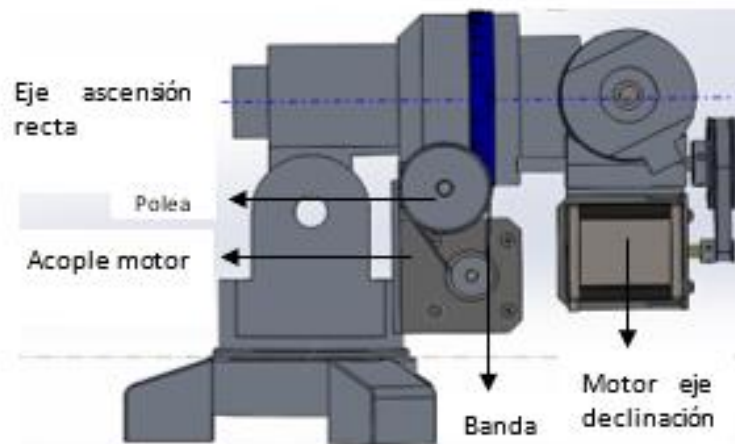
DISEÑO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO CONTINUO EN UNA MONTURA ECUATORIAL



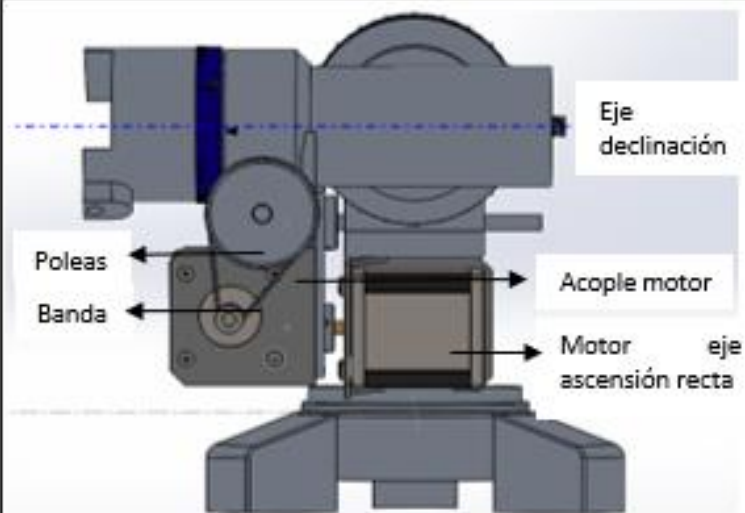


Eje declinación

a) Telescopio Bresser Pollux 150/1400 EQ



b) Bosquejo de la adaptación de sistema de transmisión mecánico del eje de ascensión recta



c) Bosquejo de la adaptación de sistema de transmisión mecánico del eje de declinación

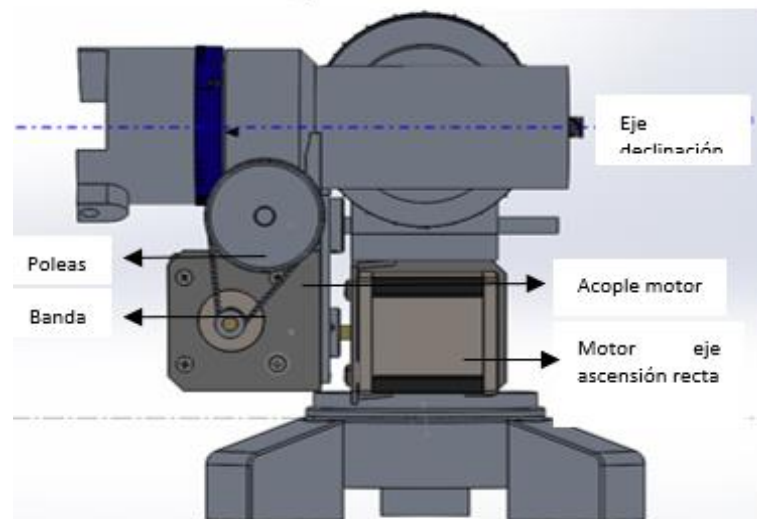
DISEÑO DE SISTEMA POSICIONAMIENTO



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DE SISTEMA POSICIONAMIENTO



Eje	Relación transmisión teórica	Relación transmisión real	Distancia entre ejes (mm)	Diámetro polea conductor (mm)	Diámetro polea conducida (mm)	Tipo de transmisión
Ascensión recta	3,099	3,00	40,04	42,00	16,00	Correa
Declinación	4,896	5,00	40,04	42,00	10,00	Correa



Selección de actuadores

DISEÑO DE SISTEMA POSICIONAMIENTO

La selección de actuadores está basada en el torque requerido para vencer el momento de inercia

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2}{N_1} \therefore T_1 = \frac{T_2 N_1}{N_2}$$

Eje de declinación

Torque máximo

$$T_1 = \frac{3\,566,04 * 12}{60} = 713,21 \text{ Nmm}$$

Torque mínimo

$$T_1 = \frac{4\,059,6 * 12}{60} = 812,9 \text{ Nmm}$$

Eje de ascensión recta

Torque máximo

$$T_1 = \frac{1\,912,37 * 20}{60} = 637,46 \text{ Nmm}$$

Torque mínimo

$$T_1 = \frac{2\,495,95 * 20}{60} = 831,98 \text{ Nmm}$$

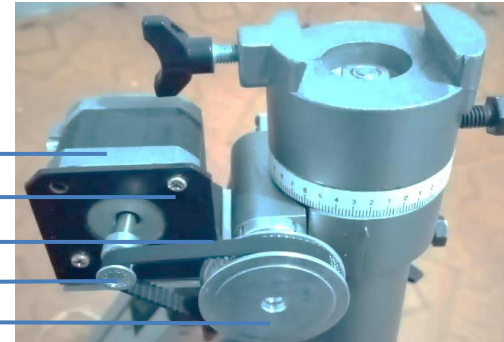
Modelo	Paso (deg)	Torque (N.mm)	Inercia (g.cm ²)	Corriente (Amperios)	Precio (Dólar)
17HS9425	1,80	760,00	75,00	2,50	40,00



Integración del sistema mecánico de posicionamiento.

Eje de declinación

- Motor nema 17
- Acople de motor a montura
- Banda dentada
- Polea 20 dientes
- Polea 60 dientes



Eje de Ascensión recta

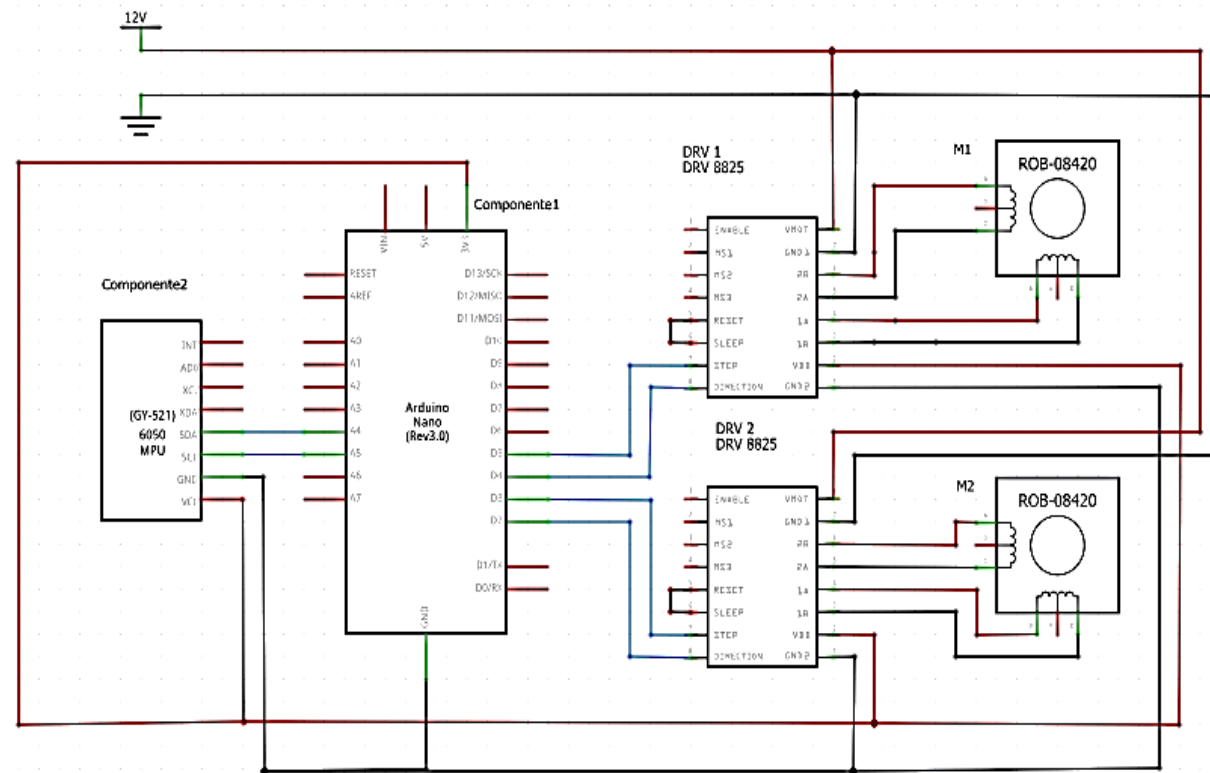
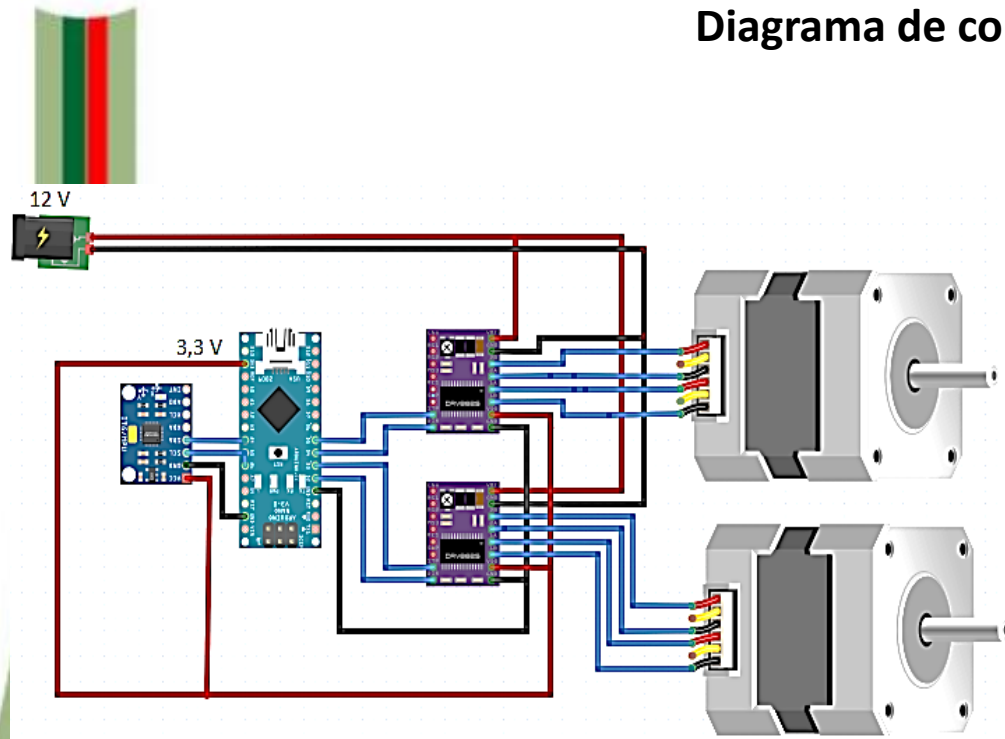
- Polea 20 dientes
- Banda dentada
- Acople de motor a montura
- Motor nema 17
- Polea 12 dientes





DISEÑO DE SISTEMA POSICIONAMIENTO

Diagrama de conexión y de control eléctrico.





ESPE

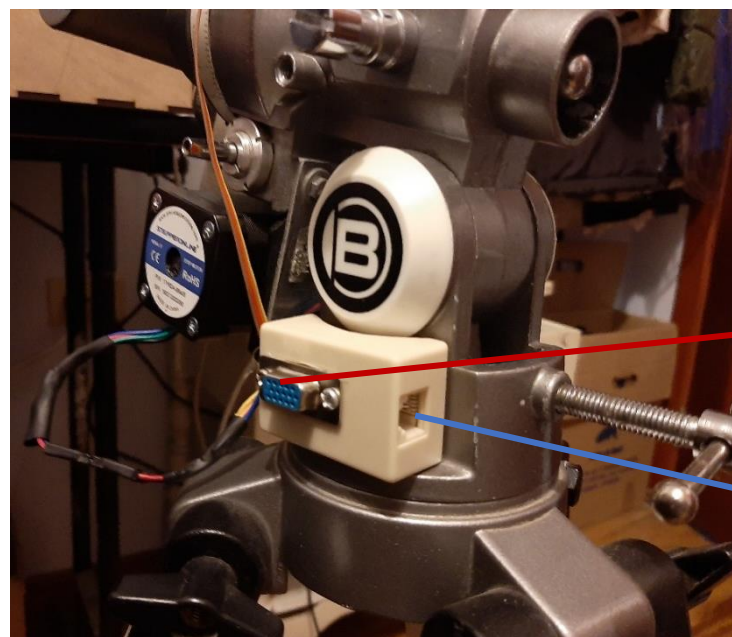
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación del sistema de control.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



Colocación del sensor sobre el eje de declinación

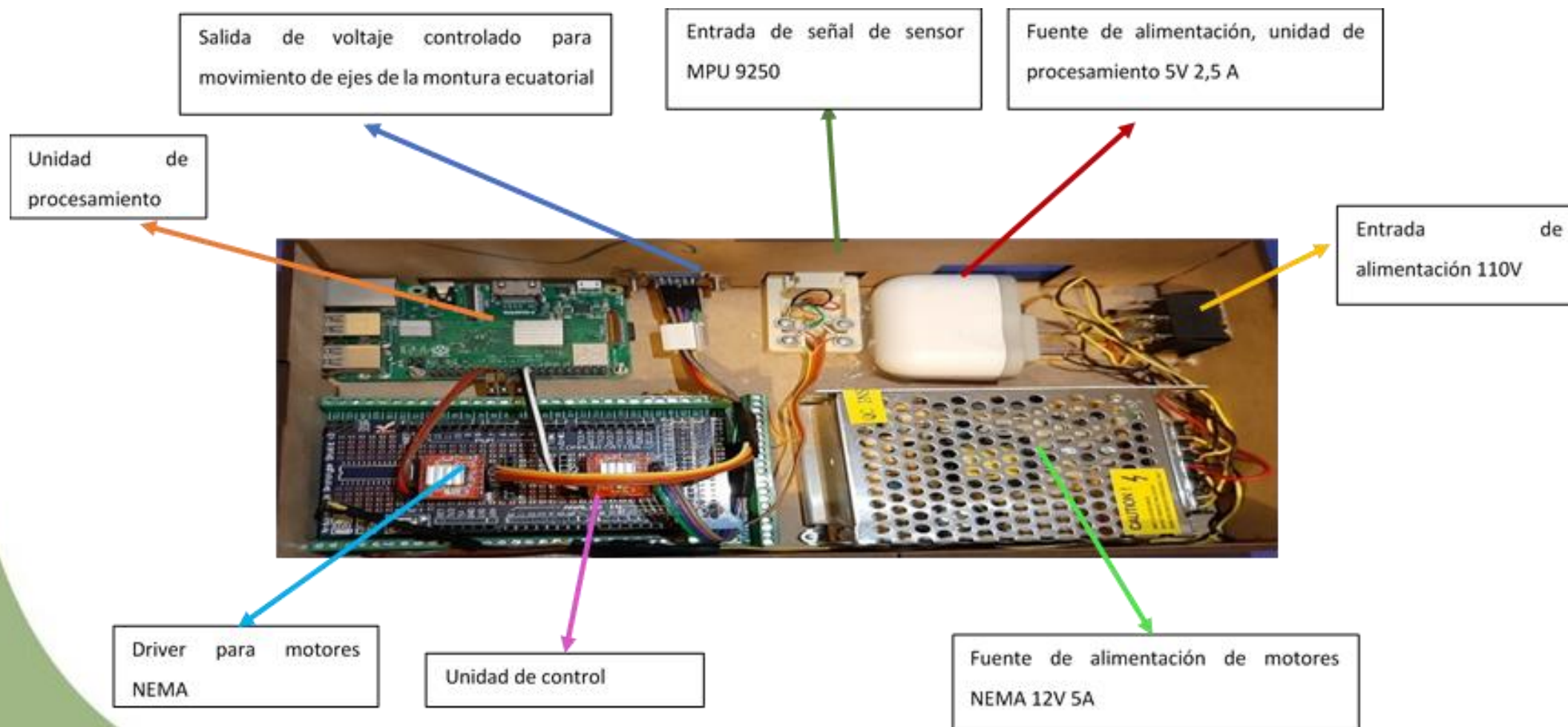


Entrada de voltaje controlado para los dos motores (ascensión recta y declinación); mediante conector VGA.

Salida de datos del sensor mediante conector RJ-11 de cuatro hilos.

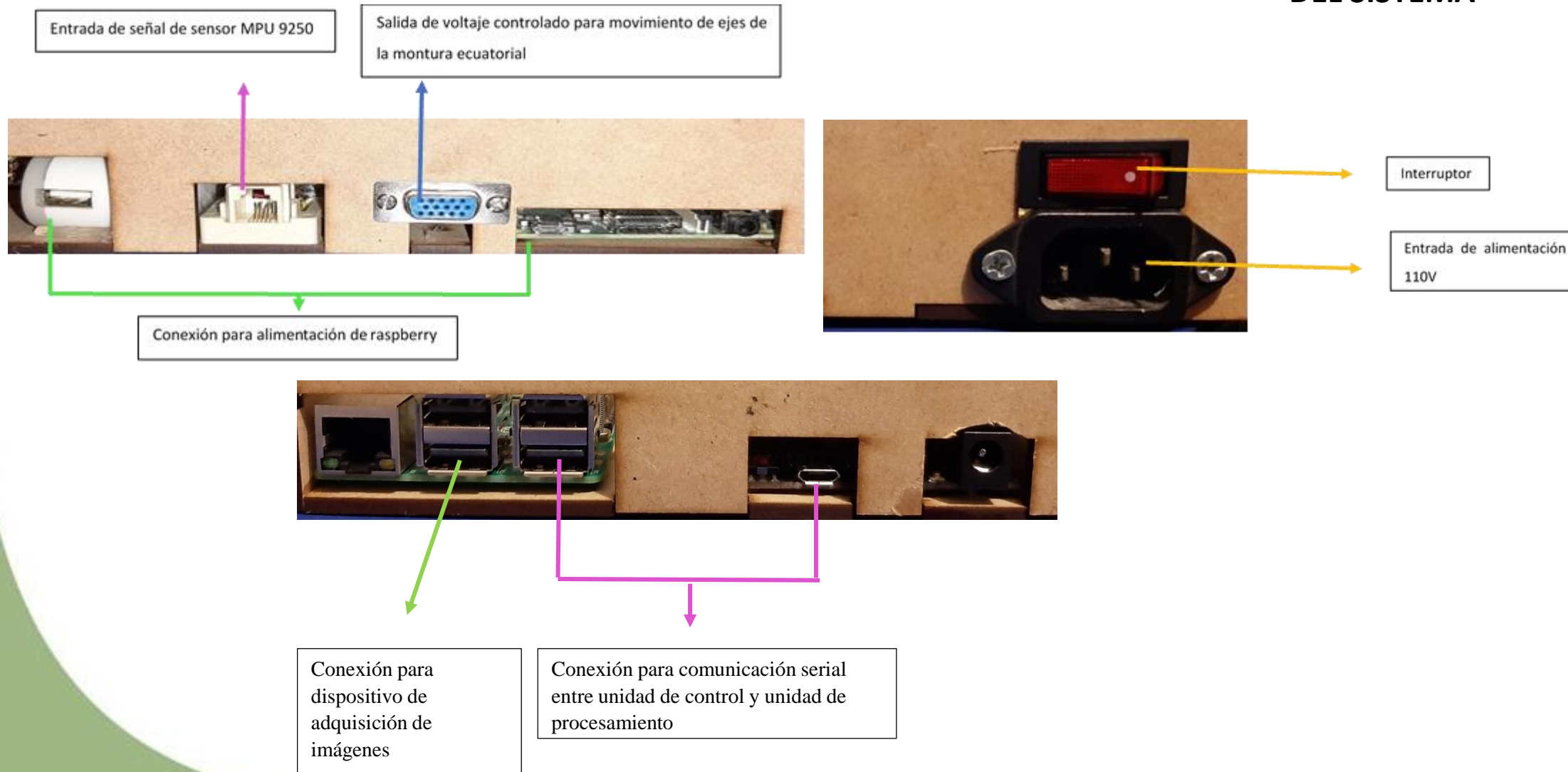


IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA





IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA





DISEÑO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN PARA EL SISTEMA DE POSICIÓN, SEGUIMIENTO Y DE VISIÓN ARTIFICIAL.

Análisis del campo visual



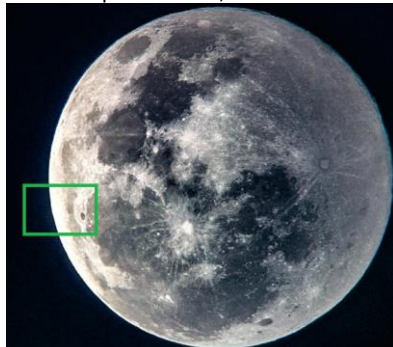
a) Campo visual Júpiter y sus cuatro lunas cámara QHY 5L II



b) Campo visual Júpiter y sus lunas software planetario 0,117°



c) Campo visual de la Luna 0,053° de su totalidad



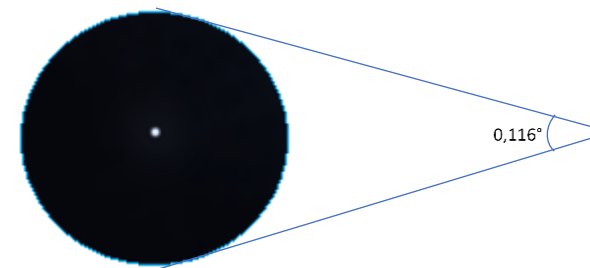
d) Campo visual 0,5° de la Luna llena.



a) Campo visual 26°



b) Campo visual de 2,99°



c) Campo visual de 0,116° Mintaka



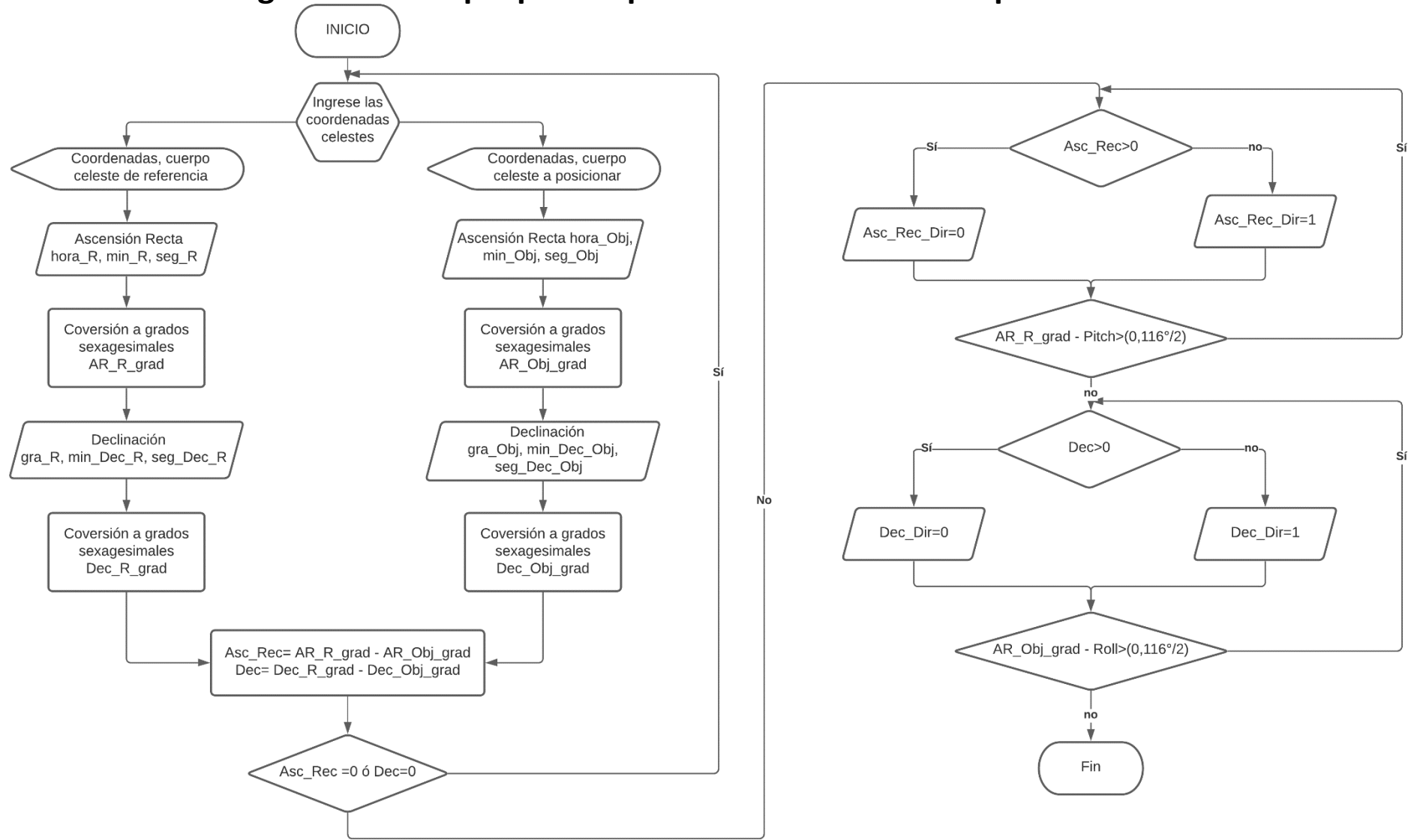
Coordenadas de las estrellas del cinturón de orión y distancias aparentes

Estrella	Ascensión Recta (PITCH)	Declinación (ROLL)
Alnitak	5h40m45,54s	-1°56'33,2''
Alnilab	5h36m12,82s	-1°12'6,9''
Mintaka,	5h32m0,41s	-0°17'56,7''

Estrellas	Ascensión Recta				Declinación			
	Coordenadas celestes	Grados	Pasos	Pixel	Coordenadas celestes	Grados	Pasos	Pixel
Alnitak- Alnilab	4 m 32,72s	1,136°	273	6566	0°44'26,3''	0,74°	178	4277
Alnitak- Mintaka	8 m 45,13 s	2,188°	525	12647	1°38'36,5''	1,64°	393	9479
Alnilab- Mintaka	4 m 12,41 s	1,052°	252	6080	0°54'10,2''	0,902°	216	5213



Diagrama de bloque para el posicionamiento de cuerpos celestes





Diseño de algoritmos de programación para el seguimiento de cuerpos celestes

Modelo YIQ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

```
96 # Calculo de la diferencia entre el fondo y el frame actual
97 resta = cv2.absdiff(fondo, gris)
98 # Aplicamos un umbral
99 umbral = cv2.threshold(resta, 70, 255, cv2.THRESH_BINARY)[1]
00 # Dilatamos el umbral para tapar agujeros
01 umbral = cv2.dilate(umbral, kernel, iterations=3)
02 #umbral = cv2.morphologyEx(umbral, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
03 # Copiamos el umbral para detectar los contornos
04 contornosimg = umbral.copy()
05 # Buscamos contorno en la imagen
06 contornos, hierarchy = cv2.findContours(contornosimg, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX
```



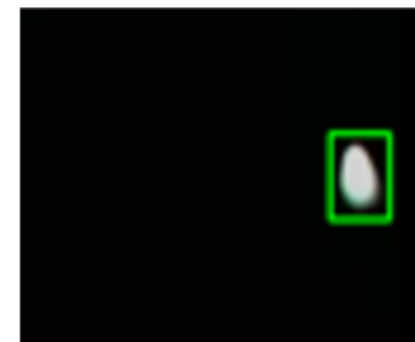
a) Adquisición



b) Procesado



c) Umbralización



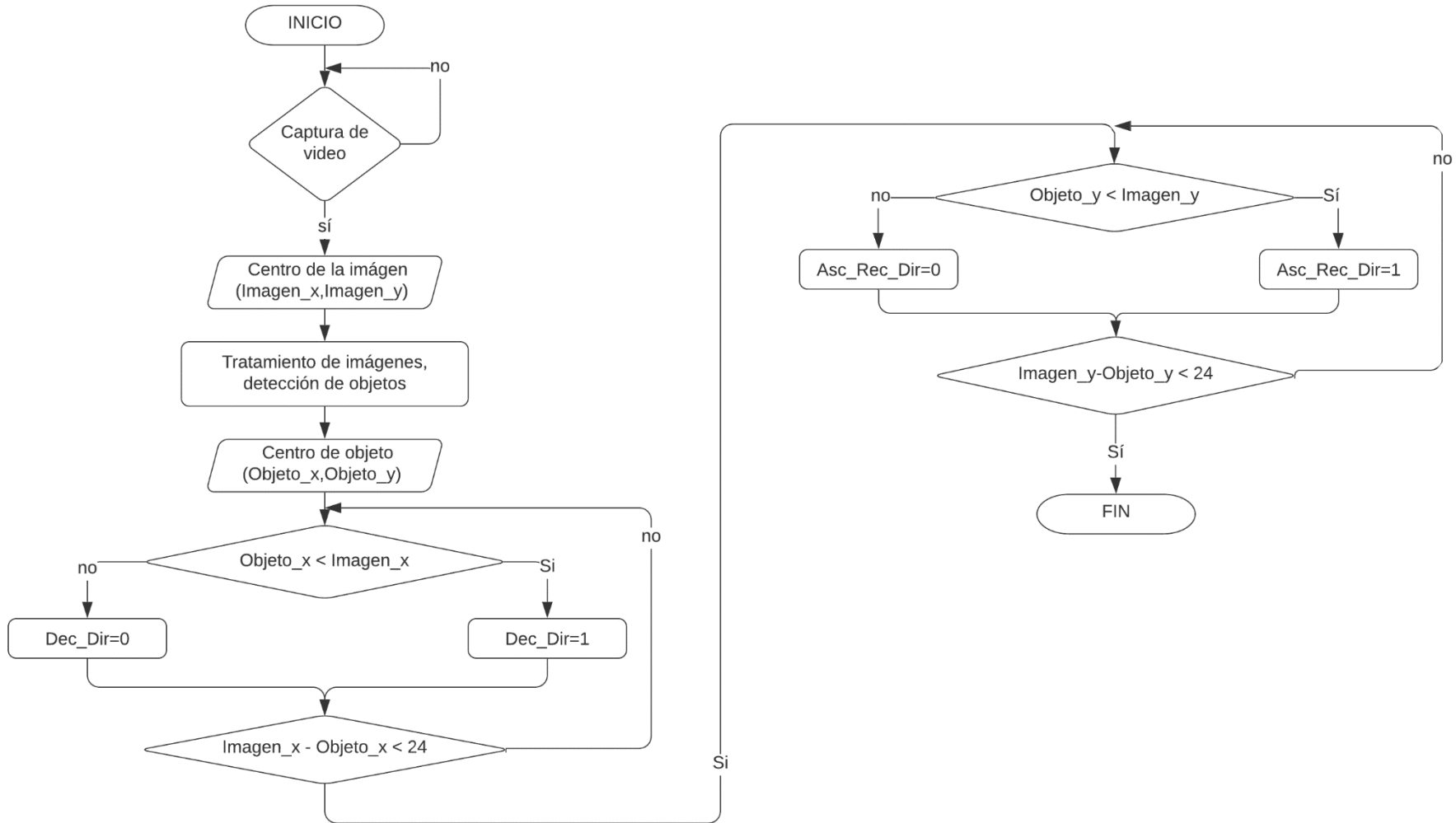
d) Reconocimiento e interpretación



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA EL EJERCITO

Diagrama de bloque para el seguimiento de cuerpos celestes





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DESARROLLO DE ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE IMÁGENES DIGITALES.

```
gris = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
A3 = np.asarray(gris, dtype = np.float32) # Convertimos la imagen
H,W = np.shape(A3)
F3 = fft2(A3)/float(W*H)
F3 = fftshift(F3)
P3 = np.abs(F3)
psd2D = np.abs(P3)**2
r = 40
mW = int(np.fix(0.5*W)) # Entero que vale, aproximadamente, la mit
mH = int(np.fix(0.5*H)) # Entero que vale, aproximadamente, la mit
Y, X = np.ogrid [0: H, 0: W]
r = np.hypot (X - mW, Y - mH) .astype (np.int)
#suma todos los pixeles con etiqueta r para 0 menor igual r menor ig
psd1D = ndimage.sum (P3, r, index = np.arange (0, mH))
lista=psd1D
n=0
suma=0
for i in range(0,len(lista)):
    suma=suma+lista[n]
    n=n+1
```



```
Users/Cristian/OneDrive/Escritorio/ANALISIS ESPECTRAL")
La longitud de onda es: 633.43 nm
La longitud de onda es: 626.66 nm
La longitud de onda es: 628.33 nm
La longitud de onda es: 624.53 nm
La longitud de onda es: 629.72 nm
La longitud de onda es: 631.86 nm
La longitud de onda es: 632.58 nm
La longitud de onda es: 629.13 nm
La longitud de onda es: 626.65 nm
La longitud de onda es: 625.78 nm
La longitud de onda es: 628.81 nm
La longitud de onda es: 626.78 nm
La longitud de onda es: 624.82 nm
La longitud de onda es: 624.91 nm
La longitud de onda es: 615.81 nm
La longitud de onda es: 621.95 nm
La longitud de onda es: 628.0 nm
La longitud de onda es: 625.83 nm
La longitud de onda es: 626.3 nm
La longitud de onda es: 624.52 nm
La longitud de onda es: 620.79 nm
La longitud de onda es: 627.87 nm
La longitud de onda es: 632.03 nm
La longitud de onda es: 625.8 nm
La longitud de onda es: 628.69 nm
La longitud de onda es: 634.87 nm
La longitud de onda es: 624.28 nm
La longitud de onda es: 626.6 nm
La longitud de onda es: 627.48 nm
La longitud de onda es: 629.32 nm
La longitud de onda es: 624.69 nm
La longitud de onda es: 628.39 nm
La longitud de onda es: 624.11 nm
La longitud de onda es: 625.77 nm
La longitud de onda es: 625.79 nm
La longitud de onda es: 623.56 nm
La longitud de onda es: 628.48 nm
La longitud de onda es: 622.03 nm
La longitud de onda es: 619.32 nm
La longitud de onda es: 627.56 nm
La longitud de onda es: 627.07 nm
```

Terminal de Python Archivos Ayuda Explorador de variables Graf

conda: base (Python 3.7.1) Line 73, Col 52



PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Precisión de la ubicación polar de la montura

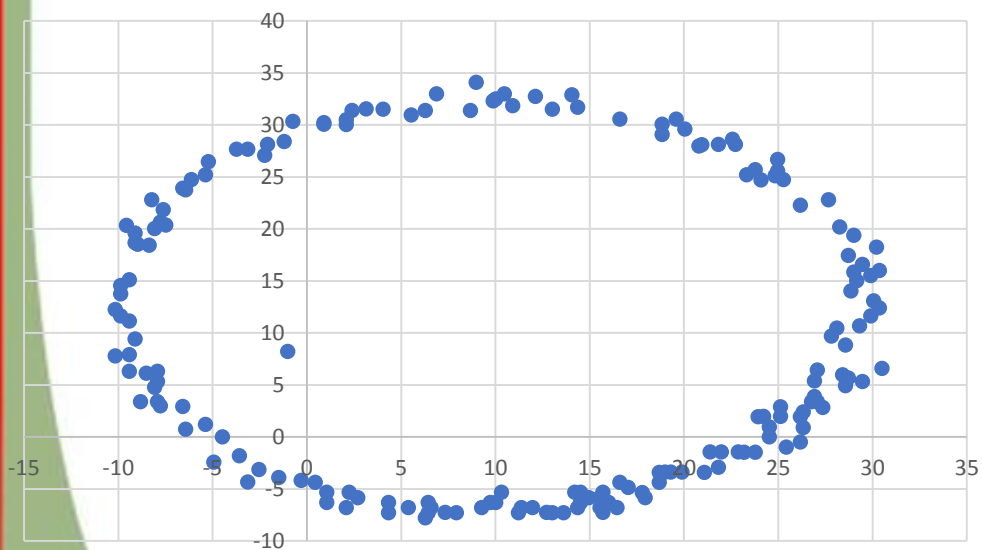
	Latitud	Longitud	Campo magnético	
			NOAA	MPU
Loja	-3,9787	-79,2292	27,177	27,171
Gonzanamá	-4,1765	-79,4341	27,198	27,193

	Gonzanamá			Loja		
	Máximo	Mínimo	Corrección	Máximo	Mínimo	Corrección
Eje x	29,6082	-7,6263	10,9999	14,8641	-1,9440	6,4601
Eje y	30,5454	-10,1685	10,1685	26,1688	-2,6917	11,7385
Eje z	-41,8701	-50,3937	-46,1319	-46,9543	-59,6649	-53,3096

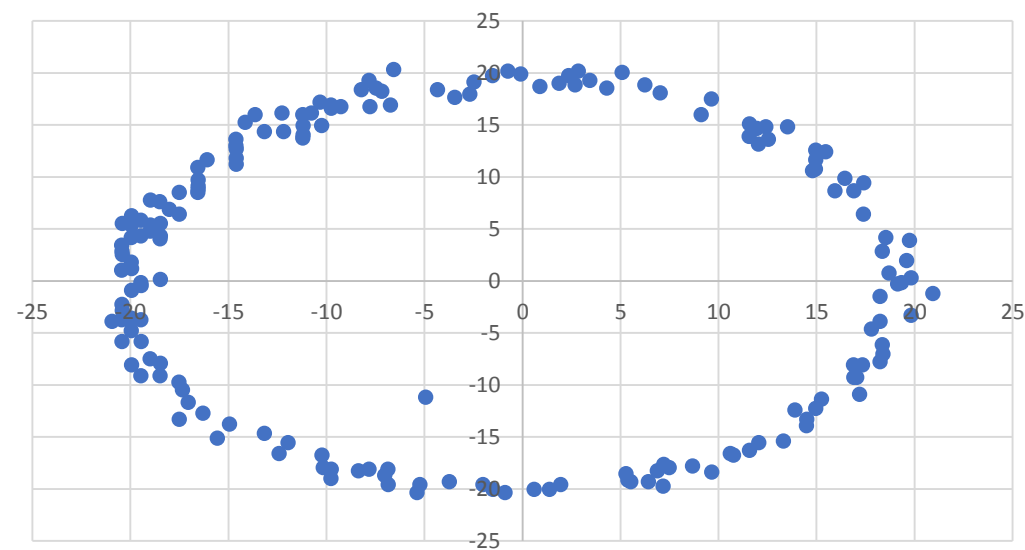


Gráfica representativa para la compensación de valores en el plano X-Y

Datos sin compensación



Datos compensados

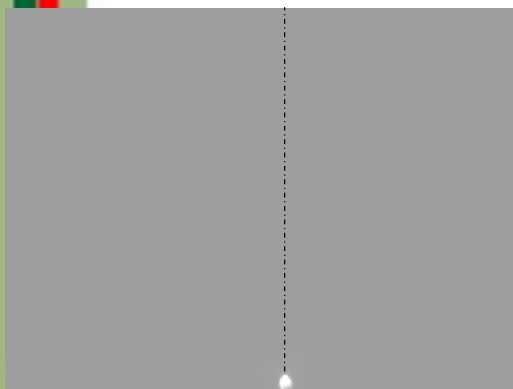




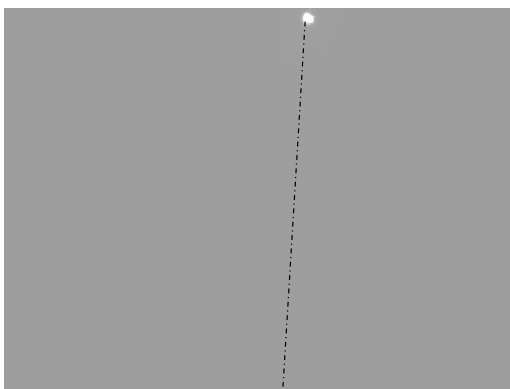
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

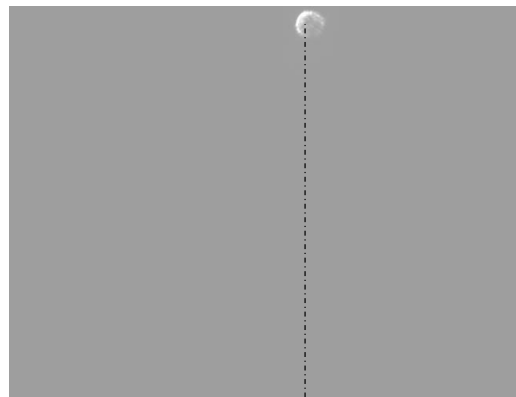
Trayectorias de la estrella Sirio para diferentes dispositivos de orientación polar



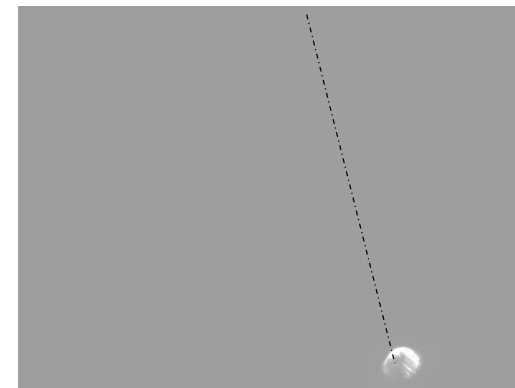
a) Posición inicial brújula de celular



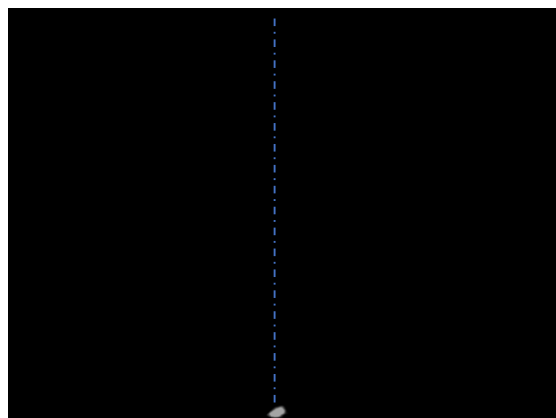
b) Posición final brújula celular



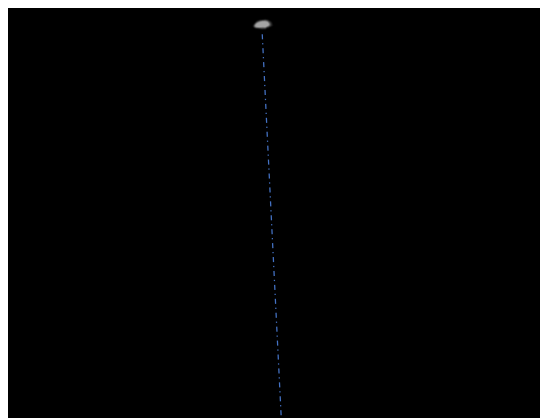
c) Posición inicial brújula de mano



d) Posición final brújula de mano



e) Posición inicial brújula MPU9250



f) Posición final brújula MPU9250

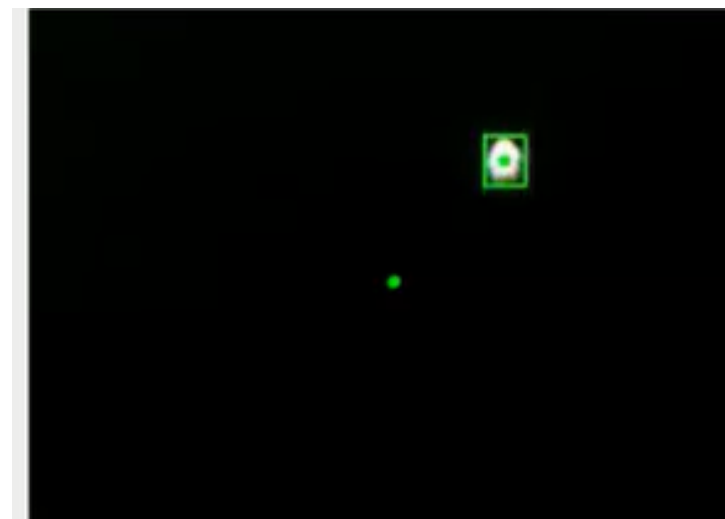


Precisión en el sistema de seguimiento.

	Campo de Visión	Tamaño del pixel (um)	Movimiento del objeto	
			Pixel	Pasos
QHY 5LL	0,116°	3,75	44	1,5
SVBONY 105	0,2°	3,7	38	1.5
Raspberry PI cámara	65 °	3,64	1	20
FaceCam 1000X	90°	3	1	34



a) Cámara Raspberry PI (73,62) pix



b) Cámara QHY (97,75) pix



Evaluación de datos obtenidos mediante análisis espectral.

En la tabla observa valores obtenidos a partir de un video captado con la cámara, si bien el rango de frecuencias promedio obtenido es de 547.16 nm se tiene un error del 0.95% respecto al valor de Venus que es 541 nm

IMAGEN	Longitud de onda calculada en (nm)	Longitud de onda REAL (nm)
Venus_1	544,23	542
Venus_2	543,61	542
Venus_3	541,36	542
Venus_4	543,96	542
Venus_5	547,30	542
Venus_6	545,73	542
Venus_7	546,30	542
Venus_8	550,61	542
Venus_9	547,91	542
Venus_10	552,12	542
Venus_11	551,09	542
Venus_12	554,74	542
Venus_13	541,74	542
Venus_14	542,68	542
Venus_15	549,49	542
Venus_16	548,25	542
Venus_17	546,87	542
Venus_18	546,16	542
Venus_19	549,37	542
Venus_20	551,11	542

Venus_21	546,48	542
Venus_22	544,94	542
Venus_23	550,02	542
Venus_24	546,66	542
Venus_25	546,08	542
Venus_26	547,14	542
Venus_27	546,90	542
Venus_28	547,17	542
Venus_29	546,91	542
Venus_30	552,97	542
Venus_31	546,73	542
Venus_32	545,16	542
Venus_33	544,23	542
Venus_34	543,13	542
Venus_35	541,36	542
TOTAL	547,16	542

$$\text{error}\% = 100 - \frac{547,16 * 100}{542} = 0,95\%$$



Evaluación de datos obtenidos mediante análisis espectral.

En la tabla observa valores obtenidos a partir de un video captado con la cámara, si bien el rango de frecuencias promedio obtenido es de 629,14 nm se tiene un error del 1.69% respecto al valor de Marte que es 640 nm

IMAGEN	Longitud de onda calculada en (nm)	Longitud de onda REAL (nm)
Marte_1	633,43	640
Marte_2	626,6	640
Marte_3	628,33	640
Marte_4	624,53	640
Marte_5	629,73	640
Marte_6	631,86	640
Marte_7	632,58	640
Marte_8	659,45	640
Marte_9	626,65	640
Marte_10	625,78	640
Marte_11	628,81	640
Marte_12	626,78	640
Marte_13	624,82	640
Marte_14	624,91	640
Marte_15	615,81	640
Marte_16	621,95	640
Marte_17	628	640
Marte_18	632,65	640
Marte_19	645,35	640
Marte_20	624,52	640

Marte_21	620,79	640
Marte_22	627,87	640
Marte_23	632,03	640
Marte_24	625,8	640
Marte_25	628,69	640
Marte_26	634,87	640
Marte_27	645,89	640
Marte_28	626,6	640
Marte_29	627,48	640
Marte_30	629,32	640
Marte_31	624,69	640
Marte_32	628,39	640
Marte_33	624,66	640
Marte_34	625,77	640
Marte_35	625,79	640
TOTAL	629,14	640

$$error\% = 100 - \frac{629,14 * 100}{640} = 1.69\%$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación de datos obtenidos mediante análisis espectral.

Muestras de aciertos y fallos para cuerpos celestes respecto a su longitud de onda

Cuerpo Celeste	Muestra de longitud de onda	de Aciertos	Fallas	%
Venus	35	35	0	100%
Marte	35	31	4	88.57%



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VALIDACIÓN DE HIPOTESIS.

- **Hipótesis nula (H0):** No es factible implementar un sistema de posicionamiento continuo de cuerpos celestes, para el análisis espectral en imágenes digitales de un telescopio astronómico con montura ecuatorial
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Es factible implementar un sistema de posicionamiento continuo de cuerpos celestes, para el análisis espectral en imágenes digitales de un telescopio astronómico con montura ecuatorial



VALIDACIÓN DE HIPOTESIS.

Frecuencias Esperadas

Valor obtenido correcto	Longitud de onda para Venus	Longitud de onda para Marte
SI	33	33
NO	2	2

Con los valores de la Tabla se calcula el estadístico de prueba con la ecuación:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$\chi^2 = \frac{(35 - 33)^2}{33} + \frac{(0 - 2)^2}{2} + \frac{(31 - 33)^2}{33} + \frac{(4 - 2)^2}{2}$$

$$\chi^2 = 4.2424$$

g.d.l	0.001	0.005	0.01	0.02	0.025	0.03	0.04	0.05	0.10
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236

Se establece un margen de error del 5% ($\alpha = 0.05$), con eso se calcula el grado de libertad (v) de la prueba realizada, esto depende de la cantidad de filas y columnas de las tablas de distribución de frecuencia

$$v = (filas - 1)(columnas - 1)$$

$$v = (2 - 1)(2 - 1) = 1$$

Con el grado de libertad y el margen de error se obtiene el valor teórico que de acuerdo a la tabla es:

$$\chi_{teórico} = 3,841$$



VALIDACIÓN DE HIPOTESIS.

Con los valores de Chi-cuadrado calculado y el Chi-cuadrado teórico, se compara de acuerdo a las consideraciones:

Si $x_{calculado}^2 > x_{teórico}^2$ se descarta H_0

Si $x_{calculado}^2 < x_{teórico}^2$ se descarta H_1

Comparando los valores se obtuvo que

$$4.24 > 3.841$$

Por este motivo se acepta la hipótesis alternativa y como es de esperar se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que es factible implementar un sistema de posicionamiento continuo de cuerpos celestes, para el análisis espectral en imágenes digitales de un telescopio astronómico con montura ecuatorial



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El diseño mecánico para el seguimiento continuo de cuerpos celestes fue muy satisfactorio, el mecanismo permitió compensar el movimiento aparente de los cuerpos celestes a razón de 1,5 pasos por 15 arcos por segundo, el cuerpo celeste estuvo centrado de manera continua en la imagen, aunque para mejorar la suavidad en el movimiento del astro se configuró los drivers de los actuadores y generen medio paso a la vez.
- Para la realización de las observaciones astronómicas se requiere realizar en primera instancia la calibración del MPU9250, con la finalidad de determinar los valores que compensen los efectos del hierro duro, y de esta manera lograr una orientación polar óptima del eje de ascensión recta, permitiendo así el movimiento de los actuadores se de principalmente en el eje de ascensión recta y en menor medida en el eje de declinación de tal manera que la distorsión de las imágenes en el seguimiento sea mínima.



CONCLUSIONES

- El cambio del equipo de adquisición de imagen conlleva a realizar un análisis en los pasos por pixel que deberá general el actuador, en el presente trabajo se realizó el seguimiento y de objetos mediante una cámara QHY con un campo de visión de 0,166 grados, realizando un recorriendo de 44 pixeles en 1,5 pasos, un campo de visión diferente al señalado deberá tener su propia configuración de pasos por pixel de tal manera que las imágenes obtenidos no generen aberraciones.
- Es posible reducir costos en la implementación del sistema, ubicando únicamente un actuador sobre el eje de ascensión recta, aunque esto requiere que la precisión en la orientación polar sea perfecta y así evitar la compensación del movimiento del cuerpo celeste en el eje de declinación.



CONCLUSIONES

- El peso máximo del equipo de adquisición de imágenes no debe superar los 100 gramos, de acuerdo a los cálculos realizados; en el caso que se requiera ubicar otro tipo de dispositivo de mayor peso es necesario aumentar el valor del contrapeso, o aumentar la longitud de la barra que contiene a este, en cualquiera de los casos, es necesario reemplazar la barra por una con mayor resistencia a la flexión.
- De acuerdo a las pruebas realizadas se evidenció que para ángulos del orden de minutos de arco, el sensor MPU9250 tiene variaciones entre los $\pm 0,3$ grados, lo cual complica generar un control de posición mediante esta variable, es por ello que se hace uso del control por pasos del actuador, mediante una conversión entre el ángulo a recorrer y los pasos que deberá generar el actuador.



CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema de visión artificial encargado del seguimiento en tiempo real de cuerpos celestes mediante la utilización de software libre como lo es Python y OpenCV.
- El sistema de visión artificial ha sido desarrollado mediante la ayuda de las librerías de OpenCV las mismas que permitieron un adecuado tratamiento de las imágenes adquiridas a través de la cámara QHY posibilitando un correcto seguimiento de cuerpos celestes.
- El sistema permite realizar el análisis espectral en imágenes digitales para estimar datos de los cuerpos celestes como lo es longitud de onda, frecuencia, y temperatura de radiación, para el caso de venus estos valores obtenidos fueron de $\lambda=547,16$ nm, $f=548,31$ THz, $T= 5295,7$ °K mientras que para el caso de marte sus valores obtenidos fueron de $\lambda=629,14$ nm, $f=476,90$ THz, $T= 4605,65$ °K.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las observaciones astronómicas sean realizadas en lugares aislados de las zonas urbanas, esto ayudará en gran medida para la obtención de imágenes de mejor calidad, adicionalmente al sistema se seguimiento de cuerpos celestes.
- Hay ciertos procesos en la obtención de imágenes astronómicas que no fueron analizados en el presente trabajo de investigación como es: el tiempo de exposición, el ruido por las tomas del objeto celeste llamadas darks, la temperatura del medio etc, que al hacer analizadas permitirían compara la eficiencia de la obtención de imágenes mediante seguimiento continuo.



RECOMENDACIONES

- Se debe revisar de manera cotidiana que los ejes de transmisión de movimiento de la montura ecuatorial estén acoplados correctamente, así como la tensión correcta de las correas dentadas y así evitar que se genere juego en los acoples.
- En el caso que se tenga una montura azimutal y se requiera automatizar su movimiento, este debe realizarse de manera obligatoria en sus dos ejes, a diferencia de la montura ecuatorial, que se puede prescindir del movimiento automático del eje de declinación.
- Para el análisis espectral se recomienda utilizar videos o fotos de un tamaño definido, ya que si bien el programa redimensiona los frame el excesivo número de pixeles llega a saturar la información con lo cual se altera el resultado esperado.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS