



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Escuela de  
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

**Grado en Ingeniería de Tecnologías Mineras**



**Trabajo Fin de Grado**

**Caracterización mineralógica de un asteroide**

**Autor: Jorge Martínez Pereda**

**Tutor: Francisco Javier de Cos Juez**

**Cotutor: Enrique Díez Alonso**

**Oviedo, Julio de 2018**

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Sistema Solar .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1. Planetas del sistema Solar. ....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2. Planetas enanos. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.3. Cuerpos menores del Sistema Solar. ....</b>	<b>11</b>
<i>2.1.3.1. Objetos transneptunianos. ....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.3.2. Cometas.....</i>	<i>12</i>
<i>2.1.3.3. Meteoroides. ....</i>	<i>14</i>
<b>2.1.4. Teorías sobre el origen .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5. Distancias en el Sistema Solar .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Asteroides .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.1. Taxonomías de asteroides.....</b>	<b>19</b>
<i>2.2.1.1. Taxonomía de Tholen .....</i>	<i>20</i>
<b>2.2.2. Descubrimientos recientes .....</b>	<b>22</b>
<i>2.2.2.1. Oumuamua .....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.2.2. 2015 BZ509.....</i>	<i>24</i>
<b>2.3. Instrumentación astronómica .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.1 La historia del telescopio.....</b>	<b>25</b>

<b>2.3.2. Tipos de telescopios .....</b>	<b>36</b>
2.3.2.1. <i>Telescopio refractor .....</i>	37
2.3.2.2. <i>Telescopio reflector.....</i>	38
2.3.2.3. <i>Telescopios catadióptricos.....</i>	38
<b>2.3.3. Cámara CCD.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.4. Monturas de telescopio.....</b>	<b>42</b>
2.3.4.1. <i>Monturas Altacimutales.....</i>	43
2.3.4.2. <i>Montura ecuatorial. ....</i>	44
<b>2.3.5. Espectroscopia de reflexión .....</b>	<b>46</b>
2.3.5.1 <i>Espectrógrafo.....</i>	47
2.3.5.2 <i>El problema de la dispersión con escasez lumínica .....</i>	49
<b>2.3.6. Filtros astronómicos .....</b>	<b>49</b>
2.3.6.1. <i>Filtros de color.....</i>	50
2.3.6.2. <i>Filtros de paso ancho (multicapa).....</i>	51
2.3.6.3. <i>Filtro Interferencial .....</i>	51
2.3.6.4. <i>Filtro sintonizable .....</i>	52
<b>2.4. Fotometría astronómica.....</b>	<b>52</b>
<b>3. EMPRESAS DEL SECTOR .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1. SpaceX.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2. Planetary Resources .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3. Deep Space .....</b>	<b>58</b>

<b>4. 121 HERMIONE .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1. Motivos para su elección .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Características .....</b>	<b>63</b>
<b>5. CASO PRÁCTICO.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1. Cálculo del periodo de rotación .....</b>	<b>65</b>
<b>5.2. Clasificación de Tholen para 121 Hermione .....</b>	<b>70</b>
<b>5.2.1 Calibrado .....</b>	<b>70</b>
<b>5.2.2. Descripción del equipo .....</b>	<b>71</b>
<b>5.2.3. Observación de 121 Hermione .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.4. Fotometría .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.5. Interpretación de los resultados obtenidos .....</b>	<b>83</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>7. LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>86</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto es el primero de una serie de trabajos que vendrán a posteriori en el que se pretenden sentar las bases y metodología para estudiar un asteroide ya conocido, para más tarde aplicarlo a otros menos conocidos.

El objetivo de este trabajo es ver si somos capaces de caracterizar la tipología de asteroides, a partir de observaciones fotométricas realizadas con un conjunto de cinco filtros fotométricos y tratar de reproducir la clasificación más sencilla de un asteroide (la de Tholen) con nuestros medios. También ser capaces de calcular su periodo de rotación.

Ahora se argumentará la importancia en un futuro a medio-largo plazo de la minería de asteroides

Durante millones de años en la Tierra se han ido formando y concentrando minerales en la corteza terrestre y de esa misma concentración o ley mineral es de lo que depende que una explotación sea rentable. La cuestión es que en general la minería tiende a explotar formaciones mineralógicas donde el mineral deseado cada vez está más disperso y por tanto requiere más recursos su extracción y concentración, (todo esto es en líneas generales, también se tienen en cuenta los avances tecnológicos en la metodología tanto de extracción como de detección).

En concordancia con el principio termodinámico que enuncia que cuanto mas disperso se encuentra un recurso más exergía se necesita, es decir energía útil, para su aprovechamiento

Teniendo todo esto en cuenta el artículo científico: "A prediction of the energy loss of World's mineral reserves in The 21 st century", firmado por Calvo, Mudd, Valero y Valero (2016), estudia una gran cantidad de minas de los principales metales como son zinc, cobre y oro. Con los datos que obtuvieron se ve una tendencia en la bajada de las leyes minerales, debida al incremento de la demanda sobre todo por países emergentes como China e India, y por lo tanto un incremento en la energía empleada en la extracción.

Mientras siga esta línea la demanda de minerales, se llegará a un punto en el tiempo en que se vaya más allá de la Tierra en busca de los minerales más escasos. En 2013 la NASA anunció su intención de desarrollar la tecnología para intentar captar un asteroide y capturarlo en la órbita lunar para allí poder obtener sus minerales. Siguiendo esta narrativa en 2015 Estados Unidos aprobó una ley en esta materia que otorgaba a las compañías mineras el derecho de poder trabajar y extraer recursos de los asteroides. También Luxemburgo aprobó una ley en 2016 similar con algunas diferencias en términos legales, en el caso de Luxemburgo lleva varios años invirtiendo y colaborando con la empresa Deep Space para construir una nave capaz de explotar los recursos de los asteroides. El recurso de más interés en el momento es el agua, no solo por sus funciones básicas para la vida sino también al poder usar el hidrógeno como combustible para los satélites y naves espaciales.

En este momento la industria de minería aeroespacial es un negocio con 330.000 millones de dólares de inversión y en continuo crecimiento ya que en el año 2000 era de 13.000 millones de dólares.

Por lo tanto el primer paso para lo mencionado anteriormente es caracterizar asteroides relativamente cercanos a la Tierra, por su mayor accesibilidad, para saber cuáles tendrían algún interés en el futuro y ese es el objetivo de este trabajo.

Como ejemplo una página web dedicada a tasar asteroides, adquirida por la empresa Planetary Resources (de la cual se escribe más adelante, 3.2.). Esta empresa obtiene datos de la composición de los asteroides a partir de la Minor Planet Center y de la NASA JPL, con ellos calcula su precio de mercado y el coste que supondría acceder a esos recursos. Está claro que tiene un alto margen de error, pero cada vez se mejoran los esfuerzos para tasar los asteroides.

En la siguiente tabla obtenida a través de Asterank se pueden observar, tanto la clasificación, como el precio y su beneficio estimado de nuestro asteroide 121 Heriome y otros.

Nombre	Tipo	a (AU) semi-eje mayor	e (escentricidad)	Valor (\$)	Beneficio (\$)
Hermione	Ch	3.448	0.133	43.45 x10 <sup>9</sup>	2.79 x10 <sup>9</sup>
Ryugu	Cg	1.190	0.190	82.76 x10 <sup>9</sup>	30.07 x10 <sup>9</sup>
1989 ML	X	1.272	0.137	13.94 x10 <sup>9</sup>	4.38 x10 <sup>9</sup>
Nereus	Xe	1.489	0.360	4.71 x10 <sup>9</sup>	1.39 x10 <sup>9</sup>
Bennu	B	1.126	0.204	669.9x10 <sup>6</sup>	185x10 <sup>6</sup>
Didymos	Xk	1.644	0.384	62.25 x10 <sup>9</sup>	16.41 x10 <sup>9</sup>
2011 UW158	Xc	1.621	0.376	6.69 x10 <sup>9</sup>	1.74 x10 <sup>9</sup>
Anteros	L	1.430	0.256	5.57x10 <sup>12</sup>	1.25x10 <sup>12</sup>

**Tabla 1.- Características y posibles beneficios económicos de los asteroides**

Fuente: Asterank

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Sistema Solar

El sistema solar estaba formado por el Sol y nueve planetas; aunque hace pocos años (desde el año 2006) se decidió que Plutón no alcanzaba la definición de planeta, así que se acordó ocho planetas y un planeta enano), sus satélites, asteroides, cometas, meteoroides, polvo y gas interplanetario.

El sistema solar era el único sistema planetario con una estrella, aunque en 1980 se descubrieron algunas estrellas relativamente cercanas rodeadas por una masa orbitante. En los últimos años se han descubierto en forma indirecta a planetas orbitando alrededor de una estrella, dando así la posibilidad de albergar vida. Esos planetas se les denominan Exoplanetas. Los cuáles 8 se han descubierto en el MOMA en 3 sistemas planetarios diferentes (K2-155, K2-239 y K2-240).

Nuestro sistema solar está en las afueras de la galaxia, vía láctea, en uno de sus "brazos" llamado "El Brazo de Orión", la distancia al centro de la galaxia es de aproximadamente unos 30.000 años luz, se sospecha que el centro de la galaxia existe un gigante agujero negro supermasivo al que denominaron Sagitario A.

El Sol contiene el 99.86% de toda la masa existente en el Sistema Solar. Los planetas, los cuales están condensados del mismo material del que está formado el Sol contienen solamente el 0.14% restante. Júpiter contiene más de dos veces la materia de todos los otros planetas juntos. Los satélites de los planetas, cometas, asteroides, meteoroides, y el medio interplanetario constituyen el restante 0.015%. El Sistema solar nació como efecto de la atracción de los elementos de una nube que contenía los elementos químicos que conocemos en la tabla periódica. Esta atracción o "colapso" de los materiales ha sido tan fuerte que logró hacer que los átomos de hidrógeno se fusionaran en átomos de helio (fusión nuclear). Así se inició nuestro sol.

Gracias a la reciente entrada del Voyager 1 a la heliopausa podemos afirmar que el sistema solar mide unas 120 Unidades Astronómicas que equivalen a unos 18.000.000.000 kilómetros (18 mil millones de Kms). En "años luz" el sistema solar mide unas 16 horas y 40 minutos.

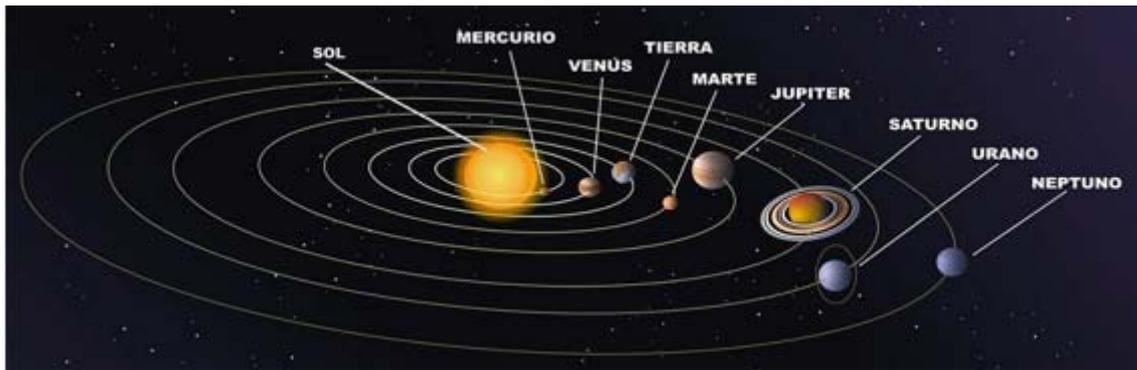
### 2.1.1. Planetas del sistema Solar

Se considera planeta al cuerpo celeste que está orbitando alrededor de una estrella, tiene masa suficiente para que su propia gravedad se imponga a las fuerzas de un cuerpo rígido de manera que adquiere una forma redonda esférica y despeje de otros cuerpos celestes la órbita por la cual transita. Cualquiera de los ocho cuerpos celestes más importantes que están en órbita alrededor del Sol y brillan por el reflejo de su luz (La Luz solar) ya que no tienen luz propia, son planetas.

Son 8 los planetas del sistema Solar: Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Los planetas de Sistema Solar son clasificables en dos tipos: los rocosos, entre los que se encuentran Mercurio, Venus, Marte y la Tierra, y los gigantes gaseosos o jovianos entre los que se encuentran Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

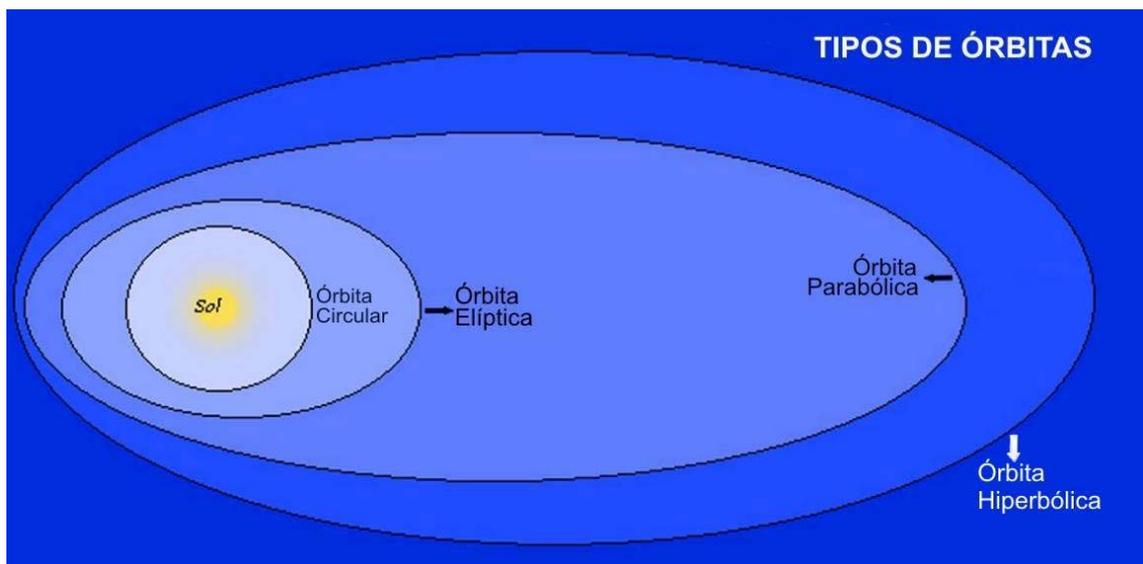
Los planetas Jovianos son de un tamaño inmensamente mayor comparado con los rocosos y están compuestos principalmente de hidrógeno, metano, helio y amoníaco.



**Figura 1.- Representación del Sistema solar.**

Fuente: Areaciencias

A medida que los planetas se alejan del sol varía el tipo de su órbita como se ve en la imagen que sigue:



**Figura 2.- Representación de los tipos de órbitas.**

Fuente: todoelsistemasolar

Desde la órbita casi circular de la Tierra a órbitas elípticas como las de los gigantes gaseosos, los cometas pueden tener órbitas parabólicas.

El primer científico que pudo precisar con bastante exactitud la trayectoria de las órbitas y las velocidades de los planetas en dichas órbitas fue el matemático Johannes Kepler con sus famosas "leyes de Kepler" en base a estas leyes el físico Isaac Newton pudo desarrollar la Ley de Gravitación Universal.

### **2.1.2. Planetas enanos**

Los planetas enanos son Ceres, Plutón, Eris, Makemake y Haumea.

Eris, Makemake y Haumea fueron descubiertos gracias a las nuevas tecnologías de cámaras digitales de Alta Definición y ordenadores con mayor capacidad de procesamiento. La definición de Planeta Enano es muy reciente, más precisamente de Agosto de 2006, cuando la Unión Astronómica Internacional decidió rebajar a Plutón de la categoría de Planeta a la nueva categoría de Planeta Enano. Ceres en cambio fue ascendido de asteroide a Planeta Enano y se descubrieron Eris, Makemake, Haumea y sus respectivas lunas.

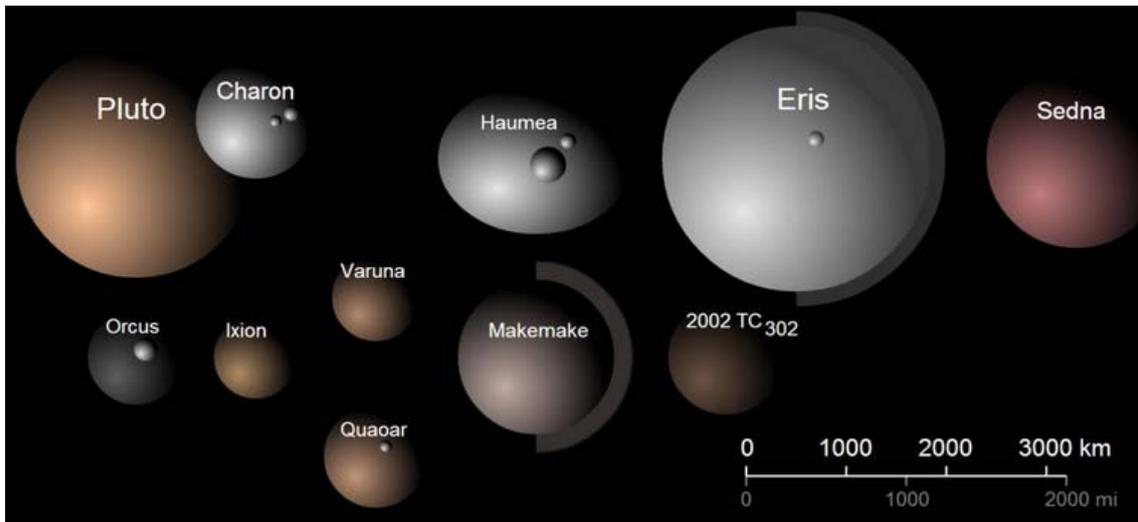
### **2.1.3. Cuerpos menores del Sistema Solar**

En esta categoría creada en 2006 tras el debate con Plutón se incluyen: asteroides, objetos transneptunianos, cometas y meteoroides. Los asteroides se describirán más en detalle en el apartado 2.3.

#### **2.1.3.1. Objetos transneptunianos**

Un objeto transneptuniano o transneptúnico es cualquier objeto del Sistema Solar cuya órbita se ubica parcial o totalmente más allá de la órbita del planeta Neptuno (algunas subdivisiones específicas de ese espacio llevan el nombre de cinturón de Kuiper y nube de Oort). Por una resolución de la *International Astronomical Union* del día 11 de junio de 2008, los planetas enanos transneptunianos (como por ejemplo Plutón) pasaron a denominarse plutoides.

Para referirse a un objeto transneptuniano frecuentemente se suele utilizar la abreviatura TNO (del inglés *trans neptunian object*). En muchos casos se usa indistintamente con la abreviatura *KBO* (del inglés *Kuiper belt object*), lo cual no es del todo correcto ya que los TNO comprenden, entre otros, a los cuerpos de la nube de Oort y a los *KBO*.



**Figura 3.- Representación de los tamaños de algunos TNO**

Fuente: Geofrik, 2018

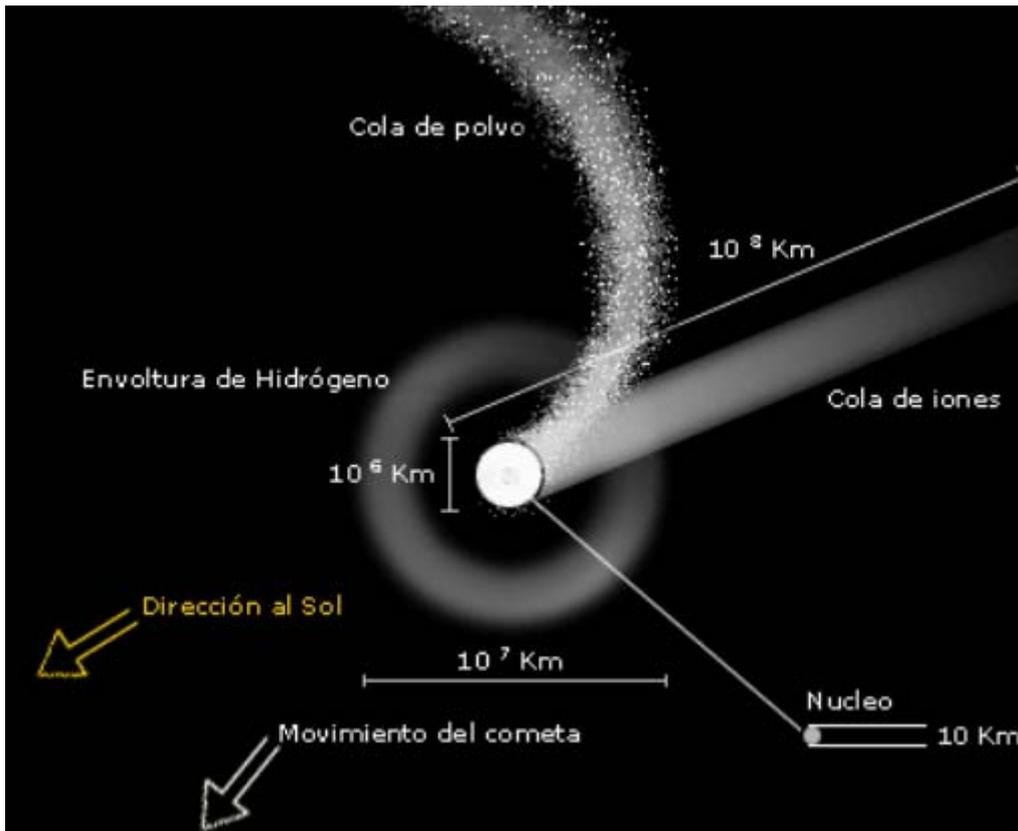
### **2.1.3.2. Cometas**

Los cometas son restos de los comienzos del sistema solar, hace alrededor de 4.600 millones de años. Los cometas se componen principalmente de hielo cubierto con material orgánico de reposo. Es posible que arrojen pistas importantes acerca de la formación de nuestro sistema solar. Es una teoría bastante aceptada que los cometas trajeron agua y compuestos orgánicos, elementos básicos para la vida, a los primeros momentos de la Tierra y a otras partes del sistema solar.

Un cometa es calentado por el Sol a medida que se va acercando a él, gasificando el hielo y formando así su “cola”. Aunque en realidad se pueden apreciar dos colas en los cometas una de polvo y otra de plasma.

En enero de 2004, la misión Stardust de la NASA voló cerca del cometa Wild. En 2006, Stardust recogió partículas de cometas y polvo interestelar para una muestra de retorno a la Tierra. Las imágenes capturadas durante este paso cercano del núcleo de un cometa muestran chorros de polvo y una superficie rugosa y con textura. El análisis de las muestras del Stardust indica que es posible que los cometas tengan mas complejidad que lo que se pensó en un principio. En las muestras había minerales que se formaron cerca del sol o de otras estrellas. Este hallazgo sugiere que los materiales de las regiones internas del sistema solar viajaron a las regiones exteriores en donde se formaron los cometas.

Otra misión de la NASA, llamada Deep Impact, hizo un paso cercano y un impactor. En julio de 2005, la NASA lanzó el impactor en el camino del núcleo del cometa Tempel 1 en una colisión planificada que vaporizó el impactor y expulsó grandes cantidades de material fino en polvo de debajo de la superficie del cometa. Camino al impacto, la cámara del impactor tomo imágenes del cometa con sumo detalle. Dos cámaras y un espectrómetro en la nave de paso cercano grabaron la espectacular excavación que reveló la composición interna y la estructura del núcleo.



**Figura 4: Partes de un cometa**

Fuentes: Astrofiscayfisica.com

### 2.1.3.3. Meteoroides

Los cuerpos de menor tamaño que orbitan alrededor del Sol se llaman meteoroides. Algunos se estrellan contra la Tierra y aparecen en el cielo nocturno como rayos de luz; se les llama meteoros. Los fragmentos que se encuentran sobre la superficie terrestre se denominan meteoritos.

Los meteoritos encontrados en la Tierra, según su composición, se clasifican en tres tipos: ferrosos, compuestos principalmente de hierro, un pequeño porcentaje de níquel y rastros de otros metales, como el cobalto; pétreos, meteoritos rocosos compuestos de silicatos, y pétreos-ferrosos, que contienen proporciones variables tanto de roca como de hierro. Aunque, actualmente, se cree que la mayoría de los meteoritos son fragmentos procedentes de los

asteroides o cometas, recientes estudios geoquímicos han demostrado que algunas rocas de la Antártida proceden de la Luna y de Marte, desde donde, presumiblemente, fueron lanzadas por el impacto explosivo de asteroides. Los asteroides son, en sí mismos, fragmentos de pequeños planetas formados hace 4.600 millones de años mientras se formaba la Tierra. Se cree que los ferrosos corresponden a los núcleos de los pequeños planetas, mientras que los pétreos (los que no proceden de la Luna y Marte) corresponden a la corteza. Los meteoritos tienen generalmente una superficie irregular y una capa exterior carbonizada, fundida. Los más grandes golpean la Tierra con un tremendo impacto, creando cráteres profundos.

El mayor meteorito conocido, descubierto en 1920, pesa aproximadamente 55 toneladas y se encuentra en Hoba West, cerca de Grootfontein, Namibia. Se muestra en la siguiente imagen:



**Figura 5.- Foto del meteorito en Hoba West, cerca de Grootfontein, Namibia**

Fuente: Marmet-meteorites.com

#### 2.1.4. Teorías sobre el origen

A pesar de sus diferencias, los miembros del sistema solar forman probablemente una familia común; parece ser que se originaron al mismo tiempo.

Entre los primeros intentos de explicar el origen de este sistema está la hipótesis nebular del filósofo alemán Immanuel Kant y del astrónomo y matemático francés Pierre Simon de Laplace. De acuerdo con dicha teoría una nube de gas se fragmentó en anillos que se fueron atrayendo formando los planetas.

Las dudas sobre la estabilidad de dichos anillos han llevado a algunos científicos a considerar algunas hipótesis de catástrofes como la de un encuentro violento entre el Sol y otra estrella. Estos encuentros son muy raros, y los gases calientes, desorganizados por las mareas se dispersarían en lugar de condensarse para formar los planetas.

Las teorías actuales conectan la formación del sistema solar con la formación del Sol, ocurrida hace 4.700 millones de años. La fragmentación y el colapso gravitacional de una nube interestelar de gas y polvo, provocada quizá por las explosiones de una supernova cercana, puede haber conducido a la formación de una nebulosa solar primordial.

El Sol se habría formado entonces en la región central, más densa. La temperatura es tan alta cerca del Sol que incluso los silicatos, relativamente densos, tienen dificultad para formarse allí. Este fenómeno puede explicar la presencia cercana al Sol de un planeta como Mercurio, que tiene una envoltura de silicatos pequeña y un núcleo de hierro denso mayor de lo usual. (Es más fácil para el polvo y vapor de hierro aglutinarse cerca de la región central de una nebulosa solar que para los silicatos más ligeros.) A grandes distancias del centro de la nebulosa solar, los gases se condensan en sólidos como los que se encuentran hoy en la parte externa de Júpiter. La evidencia de una posible explosión de supernova de formación previa aparece en forma de trazas de isótopos anómalos en las pequeñas inclusiones de algunos meteoritos. Esta

asociación de la formación de planetas con la formación de estrellas sugiere que miles de millones de otras estrellas de nuestra galaxia también pueden tener planetas. La abundancia de estrellas múltiples y binarias, así como de grandes sistemas de satélites alrededor de Júpiter y Saturno, atestiguan la tendencia de la nube de gas a desintegrarse fragmentándose en sistemas de cuerpos múltiples.

### 2.1.5. Distancias en el Sistema Solar

Gracias a la reciente entrada del Voyager 1 a la heliopausa podemos afirmar que el sistema solar mide unas 120 Unidades Astronómicas que equivalen a unos 18.000.000.000 kilómetros (18 mil millones de Kms). En "años luz" el sistema solar mide unas 16 horas y 40 minutos

## 2.2. Asteroides

Los asteroides son los restos de la temprana formación de nuestro sistema solar hace unos  $4,6 \times 10^9$  años.

La gran mayoría se encuentran orbitando entre Marte y Júpiter. Los tamaños llegan a ser desde 530 km de diámetro (Vesta) a unos 10m. Para hacernos una cantidad de su masa si se juntasen todos los asteroides serian menos masivos que la mitad de nuestra luna.

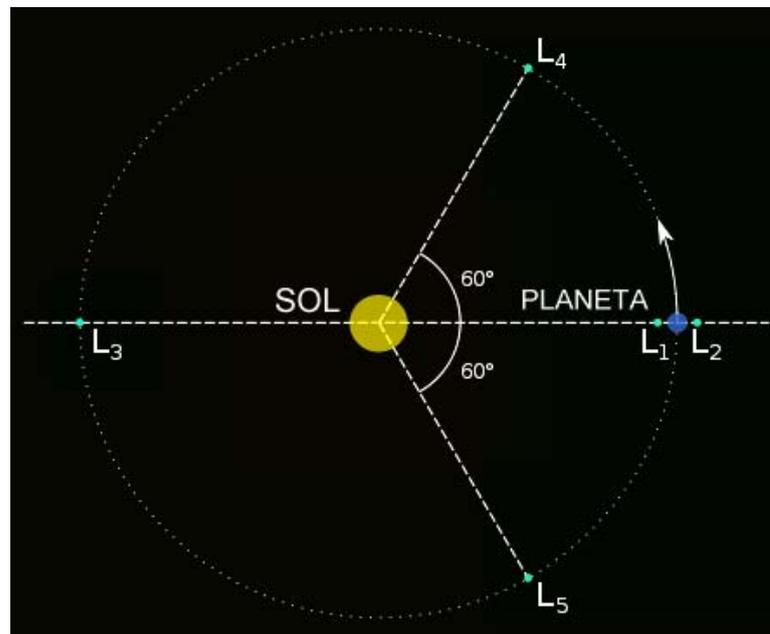
Suelen tener una forma irregular, aunque algunos sí que tienen una forma esférica, también poseen muchos cráteres y orbitan en forma elíptica alrededor del Sol.

Se pueden clasificar según su órbita en el sistema solar de esta forma:

- Cinturón Principal de Asteroides: la gran mayoría se encuentran en esta clasificación situada entre Marte y Júpiter. Contiene entre 1,1 y 1,9 millones de asteroides con un diámetro mayor a 1 km. La teoría principal

es que la enorme gravedad de Júpiter formó planetesimales a su alrededor que fueron colisionando entre sí para formar estos asteroides.

- Troyanos: estos asteroides orbitan alrededor del Sol compartiendo órbita con planetas pero no llegan a colisionar con ellos debido a que están situados en una zona llamada L4 y L5 (60° por delante y por detrás del planeta en cuestión) puntos lagrangianos, en la cual la gravedad que atrae desde el Sol y la del planeta correspondiente se equilibran. La gran mayoría de los troyanos orbitan alrededor de Júpiter.

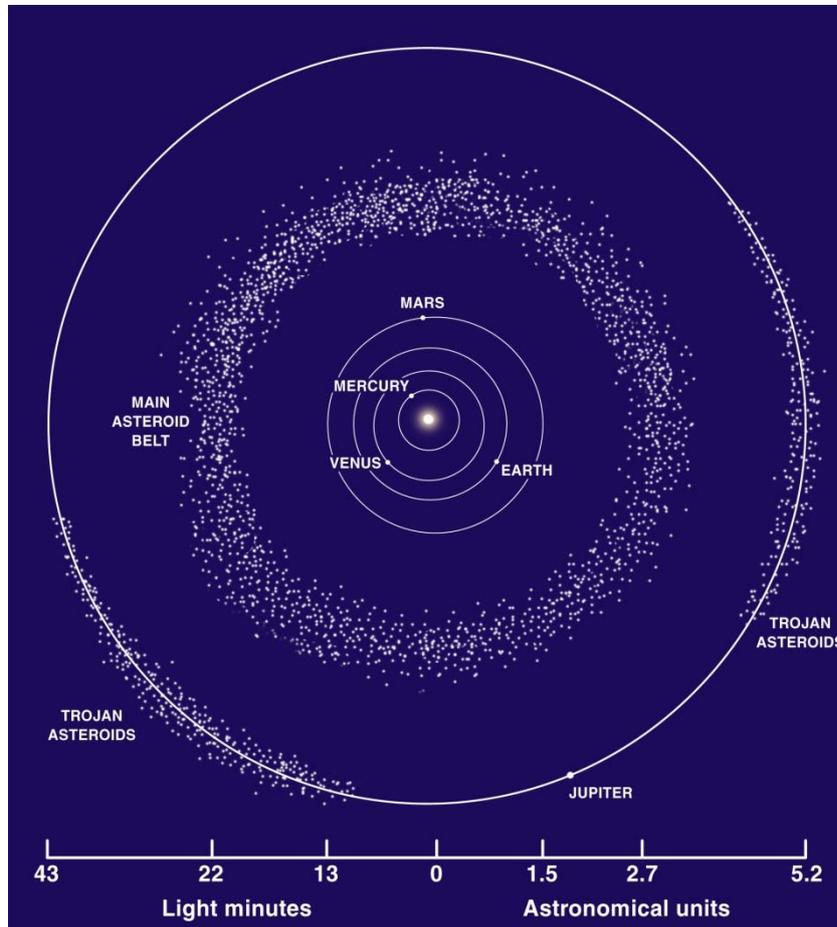


**Figura 6.- Representación de los puntos Lagrangianos**

Fuente: Notaculturaldeldia.com, 2012

- NEA (Near Earth Asteroids, asteroides cercanos a la Tierra): aquellos cuyas órbitas pasan cercanas a la de la Tierra. El 19 de junio de 2013 se habían descubierto 10003 asteroides cercanos a la Tierra de los cuales 861 poseen un diámetro mayor de 1 km y 1409 se clasifican como alta posibilidad de impacto con la Tierra. Existen varias categorías: de los Apolo, los Amor y los Atón.

En la siguiente imagen se pueden apreciar los asteroides Troyanos (verde), Hildas (marrón), cinturón principal (blanco) y NEA (rojo).



**Figura 7.- Representación de asteroides del Sistema Solar**

Fuente: Philip Metzger, 2013

### 2.2.1. Taxonomías de asteroides

Existen varios tipos de clasificaciones o taxonomías para determinar de qué clase es un asteroide, las cuales se han ido desarrollando gracias a los avances en la tecnología para la recolección de datos. La primera taxonomía se denominó CMZ (Chapman et al. 1975) que estaba basada en los datos obtenidos de 110 asteroides entre 1972 y 1978 (Morrison y Zellner 2007).

Dicha taxonomía clasifica los asteroides en 3 categorías: S (“Stone”, Piedra), C (“Carbonaceous”, Carbonífero) y U (“Unclassified”, inclasificado), además de un tipo extra solo para Vesta, el segundo cuerpo más grande en el cinturón de asteroides . (Hasselmann, Fulchignoni, Carvano, Lazzaro y Barucci, 2018).

Estos mismos autores postulan que la segunda generación de taxonomías fue impulsada por ECAS (Eight Color Asteroid Survey, Zellner et al.1985), dando lugar a 2 grandes clasificaciones Tholen (1984), Barucci (1987); derivando a la conocida como taxonomía de Tholen (Tholen y Barucci, 1989) que divide a los asteroides en 14 clases: S, C, G, B, F, A, D, T, E, M, P R, y V; según su albedo y colores.

Asimismo, una tercera generación de taxonomías apareció con la llegada de la espectroscopia de asteroides de SMASSII (Small Main-belt Asteroid Spectroscopic Survey II) y siguiendo una metodología parecida a la de Tholen, Bus y Binzel (2002) aumentaron el numero de categorías a 26. Más tarde con los datos del NIR (Near Infrared) de 371 asteroides (DeMeo y Binzel 2008) descendió las categorías a 23. (Hasselmann, Fulchignoni, Carvano, Lazzaro y Barucci, 2018).

En este trabajo con los datos obtenidos por nuestro telescopio con filtros de 5 bandas de la Escuela de Minas usaremos la taxonomía de Tholen dado que la de Bus y Binzel necesita mayor volumen de datos en su espectrometría.

Se trata de un trabajo enfocado desde el punto de vista científico con posible practicidad en un futuro a largo plazo.

### ***2.2.1.1. Taxonomía de Tholen***

Tholen usó la información visual proporcionada por la ECAS reduciendo las dimensiones del problema. Analizó los datos, que al ser un análisis de 8 bandas de colores tenía 8 dimensiones, con esto concluyó que el 95% de la información en los 7 índices independientes de color estaba contenida en 2 componentes principales. Para esto usó un análisis de componente principal,

técnica usada tanto para reorganizar como para concentrar la información y con la cual no se pierde información al reducir las dimensiones del problema. (Tholen, D., 1984).

Para la clasificación de toda esa información usó análisis por cluster, técnica usada para clasificación sobre todo al contar con múltiples variables. Su análisis de cluster no quiso hacerlo con demasiado detalle dado que si afinas al máximo acabaría dando una categoría para cada asteroide individual, pero quiso darle el suficiente detalle como para que se diferenciases grandes saltos en sus características. Primero tuvo que elegir las variables a tener en cuenta en su análisis por clusters, teniendo dificultades para diferenciar la variable albedo de la variable color. Al ser el albedo la variable más relativa empezó por el color para luego sobre esa clasificación añadir el albedo, con el color tuvo un alto índice de correlación ya que el asteroide más rojo en la banda del rojo será también el más rojo en el resto de bandas de colores. Así surgieron los grupos(S,D...) que tenían claras distinciones de color pero en el grupo C tuvo que tener en cuenta el albedo. Así hizo la primera partición para más tarde añadir como variable la distancia media al centro del cluster y usando la técnica de 3 nearest neighbours ( 3 vecinos cercanos), usada por ejemplo también para modelizar bloques en programas de minería. Como último paso se deshizo del ruido y valores muy distorsionados como en el caso de 4 Vesta, 349 Dembowska y 1862 Apolo que fueron categorizados como U al ser muy distintos tanto al resto como entre ellos. Con todo lo explicado el resultado es la famosa taxonomía de Tholen, que se usará más adelante para clasificar 121 Hermione. En las siguientes tablas se puede apreciar la taxonomía según los asteroides estudiados en el ECAS.

Mean Color Indices, Ranges, and Standard Deviations  
for the Twelve Spectral Classes

Spectral Class		s-v	u-v	b-v	v-w	v-x	v-p	v-z
No. in sample								
A class 4	High	1.106	0.836	0.434	0.339	0.276	0.214	0.130
	Low	0.937	0.703	0.332	0.277	0.166	0.056	-0.083
	Mean	1.015	0.779	0.381	0.305	0.240	0.141	0.034
	Std. Dev.	0.083	0.058	0.042	0.068	0.051	0.073	0.096
B class 6	High	0.233	0.125	0.002	0.022	-0.012	-0.029	-0.045
	Low	0.167	0.060	-0.032	-0.060	-0.088	-0.106	-0.197
	Mean	0.192	0.098	-0.015	-0.011	-0.038	-0.062	-0.100
	Std. Dev.	0.025	0.027	0.017	0.027	0.028	0.034	0.055
C class 88	High	0.380	0.247	0.078	0.069	0.075	0.080	0.144
	Low	0.098	0.062	-0.040	-0.042	-0.038	-0.070	-0.093
	Mean	0.245	0.155	0.024	0.003	0.019	0.019	0.028
	Std. Dev.	0.064	0.044	0.025	0.025	0.029	0.033	0.045
D class 26	High	0.279	0.214	0.136	0.194	0.321	0.431	0.487
	Low	0.044	0.059	0.025	0.098	0.183	0.231	0.226
	Mean	0.128	0.103	0.067	0.153	0.273	0.340	0.367
	Std. Dev.	0.052	0.038	0.027	0.024	0.031	0.055	0.066
F class 13	High	0.088	0.050	-0.025	0.027	0.031	0.013	-0.006
	Low	-0.070	-0.073	-0.079	-0.017	-0.046	-0.074	-0.176
	Mean	0.020	-0.014	-0.049	0.008	-0.013	-0.032	-0.066
	Std. Dev.	0.045	0.036	0.016	0.014	0.025	0.029	0.050
G class 5	High	0.454	0.327	0.098	0.021	-0.001	0.023	0.029
	Low	0.391	0.263	0.047	-0.052	-0.014	-0.023	-0.031
	Mean	0.420	0.290	0.069	-0.020	-0.005	-0.002	-0.003
	Std. Dev.	0.026	0.025	0.021	0.030	0.005	0.022	0.025

Tabla 2: clasificación de Tholen.

Fuente: tesis de Tholen 1984.

### 2.2.2. Descubrimientos recientes

Es posible que a diferencia de cómo se pensaba hasta hace poco puedan existir asteroides en el Sistema Solar provenientes de otro Sistemas.

A continuación se explican dos casos interesantes que puede corroborar esta teoría.

#### **2.2.2.1. Oumuamua**

Hasta este año 2018 se creía que los asteroides se encontraban todos en el Sistema Solar. Pero el descubrimiento de Oumuamua por parte de los investigadores del Panoramic Survey Telescope Rapid Response System (Pan-STARRS) ha cambiado el paradigma científico en este aspecto.

Desde su descubrimiento ha sido difícil clasificarlo y entenderlo porque hubo muy poco tiempo de observación debido a su inmensa velocidad. En la última publicación en el diario Nature, los investigadores lo han catalogado como cometa, pero la incógnita sigue debido a que no tiene cola. Aun no se sabe de dónde vino el objeto de 800m. El arco descrito por el objeto no se puede explicar debido a la atracción gravitatoria del Sol. Al clasificarlo como un cometa explicaría su movimiento y su aceleración ya que los cometas pueden ser propulsados por los gases que expulsan. Su clasificación se basa en la incapacidad de explicar su aceleración aunque hay diversas teorías como: interacción magnética con los vientos solares, presión de la radiación solar, fuerzas de fricción... Con lo que podría tratarse de un asteroide interestelar el primero jamás visto.



**Figura 8.- Representación de Oumuamua.**

Fuente ESO/M. Kornmesser/PA

#### **2.2.2.2. 2015 BZ509**

Este cuerpo celeste ha sido clasificado como asteroide interestelar al igual que podría serlo Oumuamua, la diferencia es este lleva en la órbita compartida con Júpiter durante  $4,5 \times 10^9$  años.

Fue descubierto en Noviembre de 2014 también por Pan-STARRS y lo mas llamativo es que su órbita es retrógrada queriendo decir que se mueve alrededor del Sol en sentido contrario a Júpiter, la Tierra y la gran mayoría de objetos celestes del Sistema Solar. Hasta hace poco había sido un misterio porque se comportaba de esta manera, hasta que Namouni y coautora Helena Morais de la universidad de Sao Paulo realizaron simulaciones por ordenador para ver como orbitaba en el pasado hasta hace  $4,5 \times 10^9$  años. Hasta ese momento el Sistema Solar no podía producir orbitas retrogradas así que la única opción posible que queda es que sea de otro sistema.

## 2.3. Instrumentación astronómica

### 2.3.1 La historia del telescopio

La invención del telescopio marcó fue un hito en la evolución de la astronomía y la ciencia en general. Se tiene constancia que el primer telescopio fue creado por el fabricante de lentes Hans Lippershey en Países Bajos, durante principios del siglo XVII. Según una de las historias asociadas al descubrimiento más plausible, los hijos de Lippershey jugaban con un par de lentes en su taller cuando se percataron que, con cierta combinación de ellas, el tamaño de los objetos lejanos se ampliaba. Lippershey observó ese fenómeno y ofreció el invento en total secretismo a la corona de su país, dado su indiscutible valor estratégico y científico.

En las demostraciones que siguieron se hallaba un amigo de Galileo Galilei, que a su regreso a Italia le transmitió lo que había visto en ellas. Esto sucedió en Noviembre de 1609, y Galileo habiendo imaginado cómo se podría lograr el mismo efecto, comenzó a experimentar con las lentes de un amigo suyo, fabricante de anteojos. Así fue como en poco tiempo consiguió el mismo efecto de ampliación de imágenes, pensando en emplearlo para estudiar la bóveda celeste.



**Figura 9.- Telescopio de Galileo**

Fuente: Carlos Roque Sánchez

Para montar las lentes de su primer instrumento, Galileo usó un antiguo tubo de órgano, y en la noche del 6 de enero de 1610 estrenó su telescopio al apuntarlo a la Luna, las estrellas y el planeta Júpiter. Además de ser el primer hombre en ver los cráteres de la Luna, y cientos de estrellas de escasa magnitud jamás vistas antes, su descubrimiento más importante fue el de los satélites de Júpiter, cuya observación durante varios días confirmó la teoría heliocéntrica de Copérnico y le hizo escribir su famoso tratado “Sidereus Nuncius” que de inmediatamente se hizo popular por toda Europa. De esta manera surgió la astronomía moderna.

Galileo construyó varias decenas de telescopios parecidos, fabricados con una lente objetivo convexa, de unos tres centímetros de diámetro, y otra lente cóncava y más pequeña, llamada ocular por ser la más cercana al ojo del observador. Este tipo de telescopio, compuesto por lentes, es denominado un refractor.

Posteriormente, el alemán Johannes Kepler mejoró el instrumento de Galileo utilizando como ocular una lente convexa, lo que aumentaba considerablemente el campo del telescopio, aunque invertía la imagen aumentada. Debe aclararse que la mejora introducida por Kepler era relativa, ya que aunque proporcionaba un campo mayor, provocaba en la imagen resultante una mayor aberración esférica respecto al diseño de Galileo, que en cierta forma compensaba ese efecto.

El holandés Christiaan Huygens, a mediados del siglo XVII, trató de combatir la aberración esférica alargando la distancia focal de sus objetivos, con lo que lograba además un aumento de la imagen proporcionalmente mayor; gracias a ello pudo constatar que Saturno, el “planeta triple”, descrito anteriormente por Galileo, no era tal, sino que en realidad estaba circundado por un brillante anillo. En 1655, Huygens también descubrió a Titán, el primer satélite conocido de Saturno.

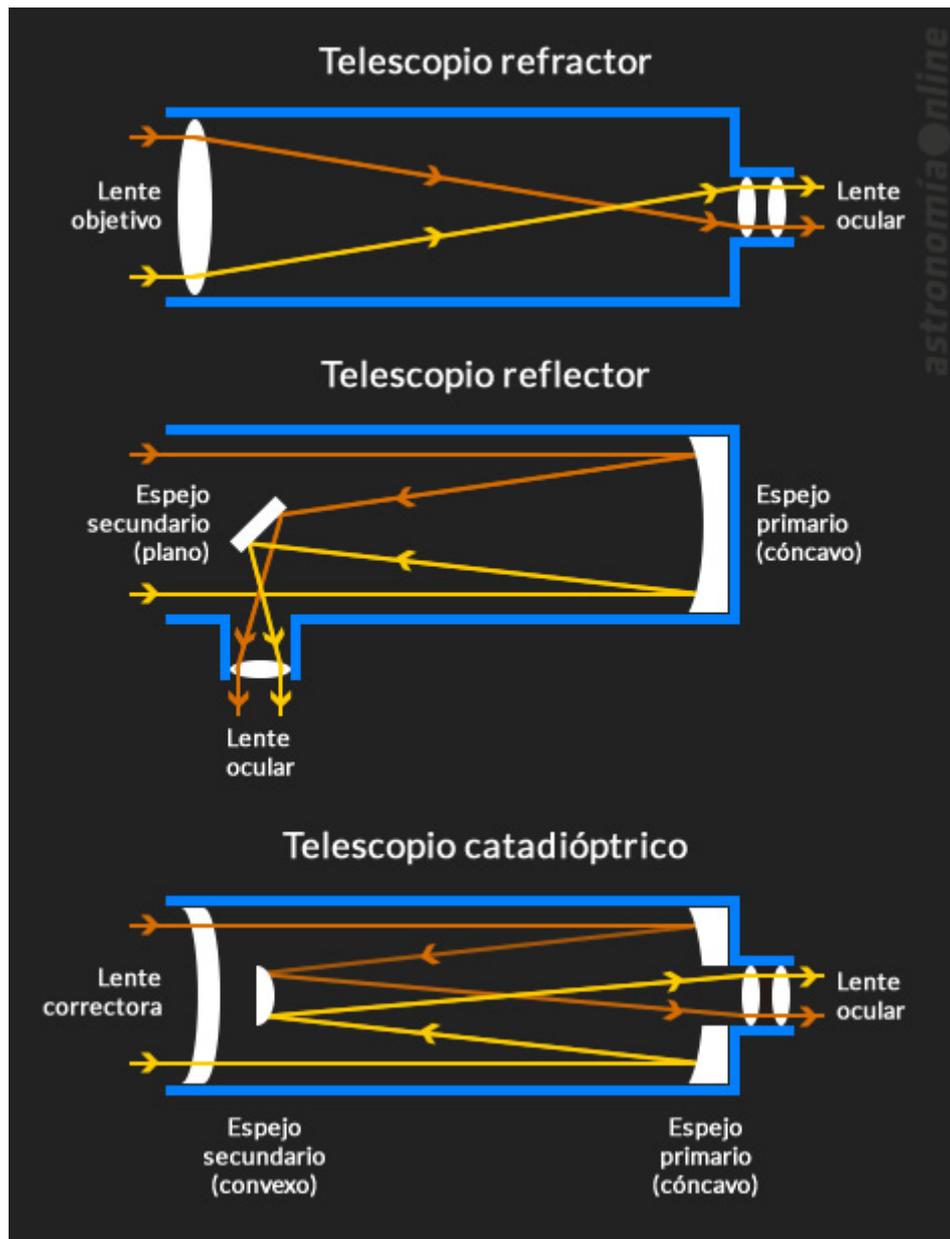
Años después el inglés Isaac Newton, que afirmaba que la aberración esférica no podría corregirse nunca, ideó otro tipo de telescopio, el reflector, que se constituía de una serie de espejos. El razonamiento de Newton era simple y brillante: si la luz no atravesaba ninguna lente, la aberración esférica dejaría de ser un problema. Gracias a este invento ingresó en la Academia de Ciencias de Inglaterra.



**Figura 10.- Primer telescopio reflector construido por Isaac Newton, presentado en la Royal Society en 1671.**

Fuente: Arauco.org

Al mismo tiempo que Newton, el francés Guillaume Cassegrain inventaba el telescopio reflector que lleva su nombre, y el escocés James Gregory ideaba otro sistema similar; por desgracia, este tipo de telescopios, conocidos actualmente como catadióptricos, requerían de espejos con superficies curvas que ningún óptico podía fabricar en esa época, y en ambos casos, recién pudieron ser construidos hacia fines del siglo XIX. La variante más popular en la actualidad es la Schmidt-Cassegrain, denominada así ya que en 1930 el astrónomo estonio Bernard Schmidt agregó al diseño del francés una lente con la que logró corregir la aberración propia de ese tipo de telescopios.



**Figura 11.- Esquema interior de los tipos de telescopio**

Fuente: astronomiaonline.com

En la época de Cassegrain surgió en Inglaterra John Dollond, defensor de Newton en la discusión con Huygens sobre la aberración esférica. Para corroborar la teoría de Newton, Dollond construyó telescopios con toda variedad de lentes. Pero para su sorpresa, descubrió que combinando ciertos

tipos de vidrio y de curvaturas, la aberración esférica sí podía corregirse. Así surgieron en el siglo XVIII los objetivos acromáticos y con ellos, el telescopio de Newton dejó de usarse, ya que los telescopios volvieron a ser en su mayoría refractores.

La siguiente gran mejora la logró el francés León Foucault, quien fabricó sus espejos con vidrio en lugar de metal de campana como Newton, e inventó un procedimiento químico para platearlos. De ese modo, los telescopios reflectores se volvieron más prácticos y se inició una competencia contra los refractores, construyéndose instrumentos cada vez más grandes y potentes de los dos tipos. El refractor más grande terminó siendo el de Yerkes, construido a fines del siglo XIX en Estados Unidos, con poco más de un metro de diámetro.



**Fig 12: telescopio de 40 pulgadas del observatorio de Yerkes, en Chicago, construido en 1895 y estuvo activo hasta 1987.**

Fuente: [spalenkaletters.com](http://spalenkaletters.com)

En la foto Albert Einstein posa frente al telescopio en su visita del 6 de Mayo de 1921, rodeado por el personal del laboratorio

Ya en el siglo XX, y ante la imposibilidad física de construir telescopios refractores más grandes por el elevado peso de sus lentes, los reflectores terminaron triunfando. Entre los más importantes podemos citar el observatorio de Monte Wilson de 2,5 metros de diámetro, con el que Edwin Hubble descubrió la expansión del universo con la detección de ondas de radar, y más tarde el de Monte Palomar, de 5 metros de diámetro, que fue el mayor del mundo hasta 1970.

En los últimos veinte años se han construido telescopios de hasta 8,4 metros de diámetro con espejos monolíticos, y de hasta 10 metros de diámetro con espejos segmentados, como los dos telescopios Keck instalados en Mauna Kea, Hawaii. En estos telescopios, los espejos primarios están soportados por actuadores controlados por ordenadores, con lo cual puede ajustarse la curvatura de los mismos para un máximo poder de resolución (sistemas activos) y también para contrarrestar las aberraciones producidas por la turbulencia de las capas atmosféricas (sistemas adaptativos). Gracias a ello y mediante el uso de detectores electrónicos CCD (Charge Coupled Devices, dispositivos de carga acoplada) de los que se entrará más en detalle en el apartado 2..3., se logran, con la ayuda de ordenadores para procesar las imágenes, resultados inimaginables hasta hace apenas unas décadas.



**Figura 13.- Vista aérea de los telescopios gemelos Keck I y II, ubicados en la cima de un volcán inactivo en Manua Kea, Hawaii. Los espejos primarios de ambos telescopios, de 10 metros de diámetro, son segmentarios.**

Fuente: astronomiaonline

A pesar del uso de sistemas de óptica activa y adaptativa, y de la división en segmentos de los espejos primarios, la única forma de seguir aumentando el poder de resolución de los telescopios sin aumentar todavía más su diámetro es utilizar técnicas de interferometría óptica. Esto consiste en captar la luz de dos telescopios alejados entre sí, y combinarla en una pantalla común para que produzcan un patrón de interferencia. Mediante la modificación de la distancia recorrida por los haces de luz y midiendo la visibilidad del patrón de interferencia resulta posible medir, entre otras cosas, el diámetro angular de estrellas lejanas.

Por ejemplo, los cuatro reflectores de 8,2 metros que componen el observatorio europeo VLT, instalado en Cerro Paranal, Chile, pueden combinarse con otros cuatro telescopios auxiliares de 1,8 metros para formar un telescopio/interferómetro con un diámetro virtual de 100 metros. La combinación de los haces de luz procedentes de los distintos telescopios genera un patrón de interferencia que poco tiene que ver con una imagen de alta de resolución, pero a partir de diversas mediciones realizadas sobre ese patrón de interferencia es posible reconstruir una imagen de alta resolución del objeto observado usando algoritmos especializados para procesar los datos. Los astrónomos consiguen alcanzar así una resolución angular extremadamente elevada, en el orden de las milésimas de segundo de arco.

Desde hace ya varias décadas, los astrónomos cuentan también con telescopios capaces de realizar observaciones en otras regiones del espectro electromagnético además de la luz visible.

En agosto de 1931, el ingeniero estadounidense Karl Jansky detectó por primera vez las ondas de radio que emanan del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea. El avance de la tecnología radar durante la Segunda Guerra Mundial facilitó la observación radiométrica del Universo.

La atmósfera terrestre no interfiere con la propagación de las ondas de radio generadas por fuentes astronómicas, pero los radiotelescopios son instalados en regiones alejadas de los centros urbanos a fin de reducir al mínimo la interferencia electromagnética generada por las actividades humanas.

A diferencia de las ondas de radio, la observación de fuentes astronómicas de rayos gamma, rayos X, luz ultravioleta y gran parte del espectro infrarrojo es imposible desde la superficie terrestre, ya que la atmósfera de nuestro planeta actúa como un filtro que evita que la radiación se propague en esas longitudes de onda. Esto llevó al astrofísico estadounidense Lyman Spitzer a proponer en 1946 la idea de instalar un telescopio en el espacio exterior, una década antes del lanzamiento del primer satélite artificial por la Unión Soviética (Sputnik 1).

El telescopio espacial con más fama es el Hubble, que fue puesto en órbita terrestre en 1990, y posee un espejo primario de 2,4 metros de diámetro. Si bien no fue el primer telescopio espacial, es uno de los más grandes y versátiles lanzados hasta el momento, y el único diseñado para tener mejoras y reparaciones en el espacio.

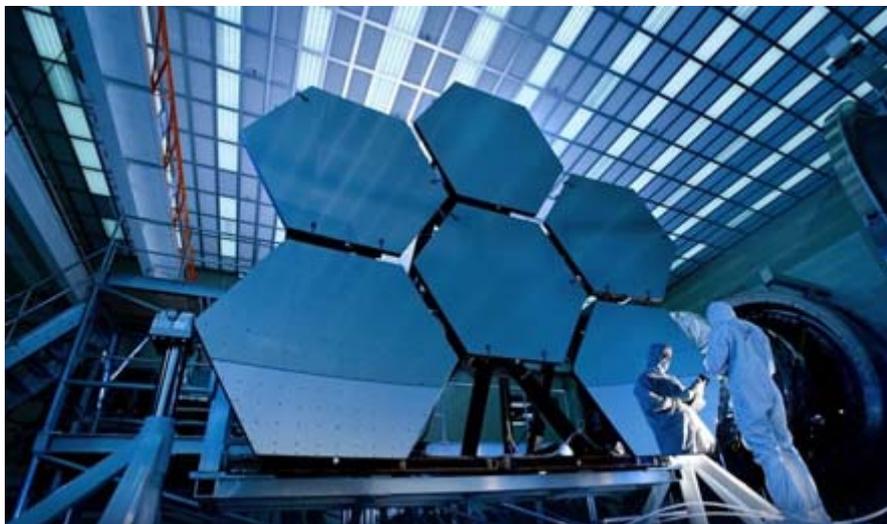


**Figura 13.- Foto del telescopio espacial Hubble**

Fuente: observatorio.info

Cinco misiones de servicio fueron enviadas al Hubble por la NASA. En cada una de ellas, luego de interceptar al telescopio y capturarlo mediante el brazo robótico del transbordador espacial, los astronautas pasaron varios días efectuando reparaciones, reemplazando componentes o instalando nuevos instrumentos antes de volver a desplegar al Hubble en su órbita.

La NASA planea lanzar en el año 2021 el Telescopio Espacial James Webb (JWST), que promete mejorar las capacidades del Hubble, ya que su espejo primario tendrá un diámetro mayor de 6,5 metros, y sus instrumentos estarán optimizados para realizar observaciones en longitudes de onda infrarrojas con una resolución y sensibilidad sin precedentes. Una vez ubicado en su órbita de halo alrededor del punto L2, donde se equilibran la gravedad del Sol y de la Tierra (como se explicó en mayor detalle en el apartado 2.2), a 1,5 millones km de nuestro planeta, se espera que el JWST sea capaz de observar la luz de las primeras estrellas nacidas en nuestro universo, la evolución de las primeras galaxias y los procesos de formación estelar y planetaria.



**Figura 14.- Ingenieros trabajando en uno de los 18 segmentos que conformarán el espejo primario del telescopio espacial James Webb.**

Fuente: astronomiaonline.com

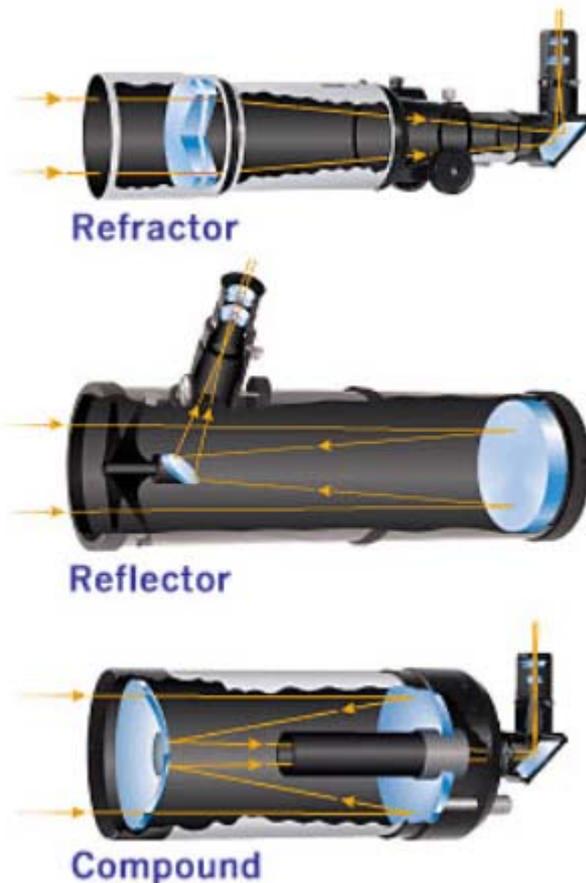
Debido a la evolución tecnológica de los telescopios modernos, la astronomía ha progresado a mayor velocidad en los últimos 40 años que en los 400 años transcurridos desde la aplicación por Galileo Galilei del telescopio a la observación del cielo nocturno. Todo apunta que esta tendencia no se detenga y cada vez seamos capaces de observar con mayor precisión la bóveda celeste.

### 2.3.2. Tipos de telescopios

Existen dos grandes tipos de telescopios: los refractores cuya óptica está basada en el empleo de lentes y los reflectores basados en espejos. Del empleo de uno u otro de estos dos esquemas ópticos, o de su combinación, surgen distintos diseños en su construcción:

- REFRACTORES
  - Refractor
- REFLECTORES
  - Reflectores NEWTONIANOS
  - Reflectores CASSEGRAIN
- CATADIÓPTRICOS
  - SCHMIDT-NEWTON
  - SCHMIDT-CASSEGRAIN
  - MAKSUTOV

Son muchas las características que diferencian a los distintos tipos de telescopios y que les proporcionan diferentes características, pero la más importante para la captación de imágenes es el diámetro del objetivo ( $D$ ). La razón es sencilla, cuanto más luz sea capaz de captar un telescopio mejor será la definición de la imagen que proporcione y podrán observarse muchos más detalles, incluso de objetos poco luminosos.



**Figura 15.- Tipos de telescopios: refractor, y catadióptrico (compound)**

Fuente: [astroaficion.com/](http://astroaficion.com/)

### ***2.3.2.1. Telescopio refractor***

Es el modelo de telescopio más antiguo y también el más conocido. Se puede denominar también telescopio galileano. Está compuesto por un conjunto de lentes que captan la luz y la concentran en el foco, donde colocaremos el ocular. Existen distintas configuraciones ópticas para este conjunto de lentes - dobletes, tripletes, diseño petzval, etc- y cada una ofrecerá una calidad y una corrección de las aberraciones ópticas diferente. El principal defecto de los refractores es su cromatismo, que se traduce en que aparecen un halo rojizo y otro azulado a ambos lados de los objetos más brillantes. Esta aberración óptica es producida por la refracción de la luz en las lentes del telescopio,

aunque pueda estar corregida en mayor o menor medida. Según este parámetro los refractores se clasifican en acromáticos, cuando el cromatismo es todavía muy elevado, y apocromáticos, cuando esta aberración es prácticamente invisible. A pesar de esta pequeña tara, las lentes tienen una gran calidad óptica y ofrecen imágenes muy nítidas y con estrellas muy puntuales.

#### ***2.3.2.2. Telescopio reflector***

Está compuesto por un espejo cóncavo situado en el extremo inferior del tubo, que concentra la luz y la dirige hacia un espejo secundario plano de menor tamaño situado en la boca del tubo, que rebota la luz a 45° y la dirige hacia el ocular. Hay que tener en cuenta que una parte del diámetro del objetivo queda tapado por el secundario, por lo que su área útil suele ser entre un 10 y un 20% inferior. Existen varios tipos pero el diseño más utilizado es el sistema Newton. Son más voluminosos que los refractores y su manejo es menos intuitivo, puesto que el ocular está situado cerca de la boca del telescopio. Estos telescopios sufren de coma y otro tipo de aberraciones menos apreciables pero aún así, presentes. Su calidad óptica es, por norma general, inferior a los refractores, aunque en los últimos años se están consiguiendo unas calidades muy elevadas. A pesar de ello, las estrellas aparecen menos puntuales.

#### ***2.3.2.3. Telescopios catadióptricos***

Están formados por lentes y espejos, cuyo propósito es mejorar los resultados de los tipos anteriores. El objetivo es un espejo cóncavo pero en la apertura hay una lente correctora que sostiene un espejo secundario, que dirige la luz hacia un hueco en el centro del espejo principal en el final del tubo. Este diseño hace que la distancia focal de este tipo de telescopios sea muy grande, mientras que el tubo tiene un tamaño muy ajustado. Son tubos relativamente cortos y pesados pero fáciles de transportar por su escasa longitud. Su calidad óptica es buena pero no llegan a superar a la de un refractor de alta gama y se

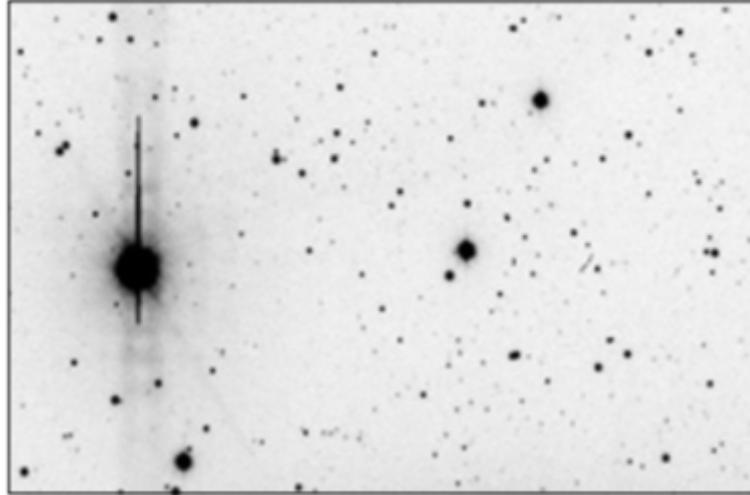
quedan a medio camino entre ambos diseños, convirtiéndose en un telescopio todoterreno sin un campo concreto en el que destacar. Existen distintos diseños y configuraciones ópticas: Smicht-Cassegrain, Maksutov-Cassegrain, Ritchey-Chrétien, etc.

El telescopio empleado en este trabajo es un telescopio del tipo catadióptrico Smicht-Cassegrain.

### 2.3.3. Cámara CCD

CCD o Dispositivo de Carga Acoplada, son dispositivos electrónicos muy sensibles, ideados para captar la luz y formar una imagen a partir de ella, pero al mismo tiempo son muy frágiles, sobre todo si deben actuar en el hostil ambiente del espacio, donde la radiación hace estragos. Las cámaras del Telescopio espacial Hubble, por ejemplo, deben ser cambiadas cada cierto tiempo, circunstancia que se aprovecha para mejorar sus capacidades.

Los píxeles de la cámara CCD responden de manera lineal a los fotones que captan: un fotón es igual a  $X$  cuentas, donde  $X$  es una constante (definida por la ganancia) hasta cierto punto. Una de las cosas más importantes que se debe saber sobre el sensor CCD de la cámara es que cada píxel solo puede almacenar una cierta cantidad de luz para ofrecer una lectura precisa. Si supera esta cantidad (llamada "capacidad del píxel"), los píxeles saturados verterán electrones a los píxeles contiguos de su misma columna, creando un efecto vertical llamado derrame ("blooming") en el que los picos parecen ir verticalmente hacia arriba y hacia abajo del píxel saturado. Antes de llegar a ese punto, la respuesta de los píxeles a los fotones también puede cambiar, ofreciendo entonces lo que se denomina una "respuesta no lineal".



**Figura 16.- Imagen en negativo mostrando el efecto de derrame  
“blooming”**

Fuente: guía aavso de fotometría

Algunas cámaras CCD están diseñadas con un sistema antiderrame (“antiblooming gate” o ABG) para evitar que suceda esa contaminación de los píxeles adyacentes. Eso es ideal para eliminar los poco estéticos picos de las bonitas imágenes de galaxias, pero puede ser negativo para la fotometría, ya que puede destruir la linealidad del sensor y, por tanto, ofrecer resultados inexactos.

Los sensores CCD son de poco ruido, proporcionando una excelente calidad de imagen, pero son necesarios voltajes de alimentación altos y el consumo de corriente se dispara.

La mayoría de las cámaras CCD son en blanco y negro, acompañadas de filtros (comparativamente mejores que las CCD a color directamente) Para producir imágenes en color hay que tomar 3 exposiciones, una a través de un filtro rojo, otra con verde y otra con azul, que después se fusionan en el computador mediante un procesador de imágenes.

Actualmente los observatorios reemplazaron en sus telescopios las cámaras fotográficas por sistemas de CCD (más sofisticadas que las de aficionado, claro

está. Consisten en una placa semiconductor electrónica fotosensible, con cientos de filamentos ordenados en malla, creando cientos de diminutos fotodiodos sensibles a la luz que capta el telescopio y que definen el elemento básico de la imagen: el pixel, que al ser estimulados por la energía luminosa, liberan electrones y producen la imagen.

Por un lado, las ventajas de la cámara CCD son:

- Se puede ajustar el tiempo de exposición debido a que la imagen se obtiene al instante sin esperar el revelado.
- La sensibilidad puede alcanzar valores muy elevados, es decir, que podemos obtener imágenes de cielo profundo sin necesidad de exponer demasiado tiempo.
- La imagen se puede descargar y posteriormente realizarle ajustes de brillo, color, etc.
- Se puede obtener fotos del infrarrojo cercano.
- Se puede programar el ordenador para multiexposición en diversos eventos.
- Permite realizar un seguimiento automático.
- Posibilidad de escoger la imagen adecuada, desechando las no útiles.
- Las fotos obtenidas se pueden transferir fácilmente a dispositivos de memoria.

Por otro lado, las desventajas de la cámara CCD son:

- La foto sale en blanco y negro, para el color es necesario sacar tres fotos con los filtros fundamentales RGB.
- La resolución suele ser pequeña.
- Para exposiciones individuales de más de un segundo, es necesario enfriar la cámara, \*precisándose  $-10^{\circ}\text{C}$  para 2 minutos de exposición.
- Debemos hacer varias fotos y sumarlas para evitar la saturación.

Utilidad de la cámara CCD:

Las cámaras CCD son excelentes herramientas que nos permiten hacer no sólo astrofotografía, sino también labores más específicas y técnicas (ej. fotometría de estrellas variables). Su principal ventaja consiste en su alta sensibilidad y la obtención de una imagen digital posible de ser procesada y manipulada de muchas formas, con lo cual el resultado mejora apreciablemente

Eso sí, aparte que las CCD son un accesorio usualmente caro, requieren acoplarse a un telescopio e idealmente a una ordenador portátil para sacarle el máximo provecho.

#### **2.3.4. Monturas de telescopio**

La montura de un telescopio es la parte mecánica que une el trípode o base al instrumento óptico. Existen varios tipos de monturas, variando en su grado de complejidad y diseño.

El objetivo principal de la montura es proveer movimiento al telescopio dado que en muchos casos, lo que se busca es la observación durante un tiempo prolongado del objeto celeste para tener mayor volumen de datos con los que trabajar. Un factor de mucha importancia es la firmeza y suavidad de los movimientos, para que la observación no se vea afectada y las astrofotografías perfectas. Las monturas se clasifican en dos grandes grupos, según los planos de referencia que utilicen (coordenadas).

La más sencilla es la montura altacimutal, que realiza movimientos horizontales y verticales (acimut y altura, respectivamente). Este tipo de diseño el que viene por defecto en telescopio de pequeño tamaño, por lo general telescopios refractores de uso terrestre, dado que su uso tiene mayor simplicidad.

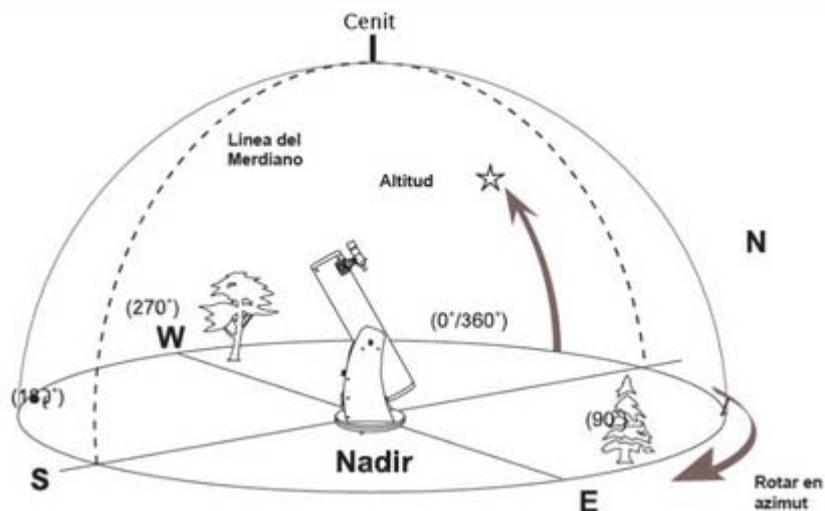
Le sigue la montura ecuatorial, que utiliza como plano fundamental el ecuador celeste (proyección del ecuador terrestre). Este tipo de montura requiere mayor nivel de complejidad logística.

#### **2.3.4.1. Monturas Altacimutales**

Las monturas altacimutales utilizan las coordenadas horizontales, las cuales son sistemas locales de posicionamiento, por lo tanto dependen de la posición del observador. Se utilizan dos planos: el horizonte, dividido en grados ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ , desde el Norte hacia el Este) y la altura desde el horizonte hasta el cenit, también en grados ( $0^\circ$  para el horizonte a  $90^\circ$  para el cenit). Para determinar estas posiciones los telescopios importantes con esta montura suelen traer incorporado círculos graduados, utilizados para ubicar objetos, o para saber la ubicación de estos.

Como nota aclaratoria el hemisferio sur el acimut, en teoría, se mide desde el Sur, hacia el Oeste, en vez de medirse desde el Norte hacia el Este. Pero por cuestiones de practicidad es extraño su uso, y todas las referencias y softwares muestran como  $0^\circ$  al Norte, sin importar en que hemisferio se esté observando.

Un telescopio con montura altacimutal se mueve en estos planos, acimut para el plano horizontal y altura para el plano vertical. Al ser coordenadas locales, la altura y el acimut de un astro cambian de momento a momento (por el movimiento de rotación de la Tierra) y también si se los observa el mismo objeto desde otra locación: al cambiar el punto de observación, las coordenadas de un objeto dado altacimutales cambiarán.



**Figura 17.-Esquema de movimiento de una montura altacimutal con telescopio**

Fuente: [cielosestrellados.net](http://cielosestrellados.net)

#### ***2.3.4.2. Montura ecuatorial.***

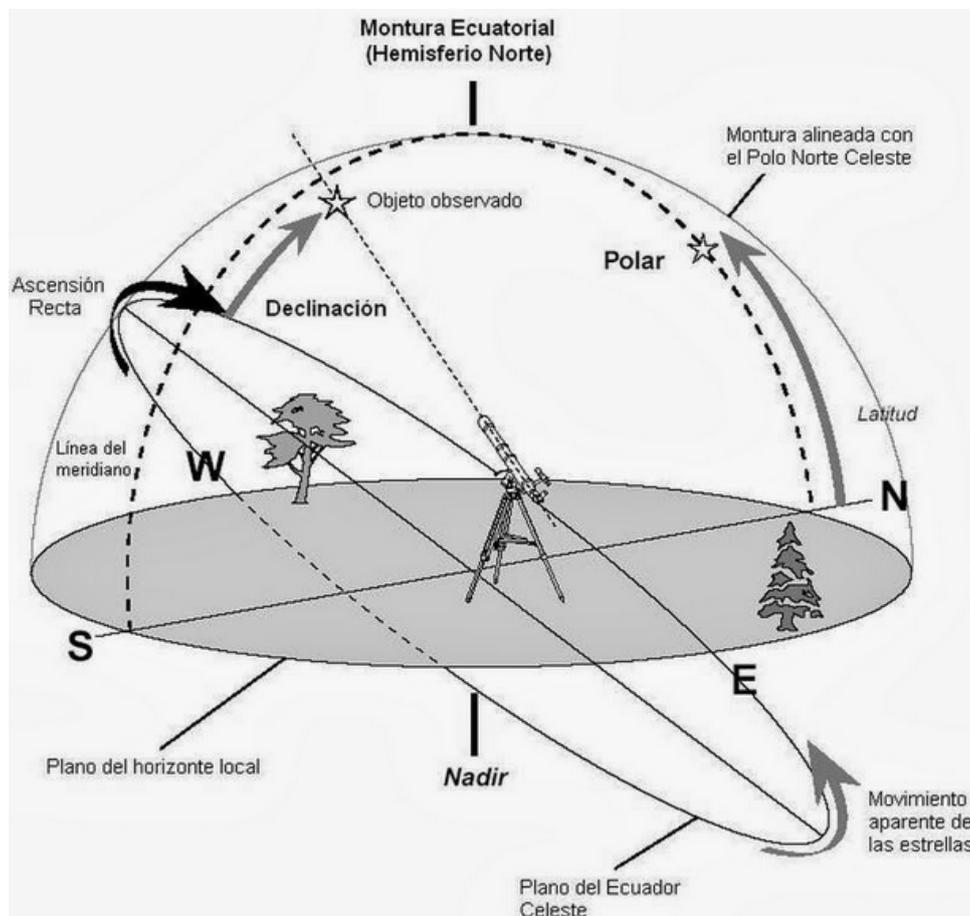
La montura ecuatorial es la más utilizada por los aficionados, dado que su mayor ventaja es la posibilidad de seguir a los objetos celestes con solo mover un eje. También puede ser motorizado, para que el seguimiento sea automático y los objetos se mantengan centrados en el campo visual.

Es más compleja que la altacimutal porque es de vital importancia que este correctamente alineada para que sea efectiva y porque en determinados momentos los movimientos no son los más naturales (como el vertical y el horizontal en el caso de las altacimutales). Los planos de movimiento en que se basa son el ecuador celeste (proyección del ecuador terrestre) y la declinación (distancia angular en grados desde el ecuador hasta el polo elevado) Aún así es la más recomendable para astronomía.

Lo que hace una montura ecuatorial es compensar el movimiento de rotación de la Tierra con el eje de ascensión recta (plano paralelo al ecuador celeste, dividido en 24 horas, desde el punto del equinoccio de primavera hacia el este)

Las monturas ecuatoriales utilizan el sistema ecuatorial de coordenadas. Este sistema es el presente en los catálogos de objetos y efemérides para representar la posición de ellos sobre la esfera celeste. Ya que el sistema ecuatorial no depende la la ubicación geográfica del observador, las coordenadas son válidas en cualquier sitio de observación.

El telescopio con el que se llevo a cabo el trabajo facilitado por la Escuela de Minas tiene este tipo de montura, ecuatorial.



**Figura 18.- Esquema de movimiento de una montura ecuatorial**

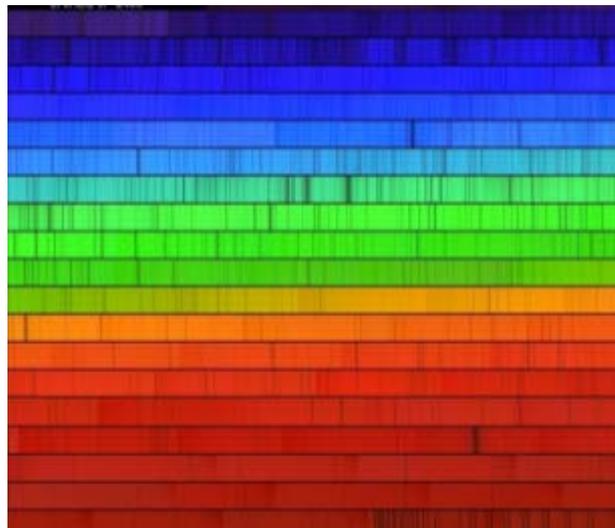
Fuente: [ftapinamar.blogspot.com/](http://ftapinamar.blogspot.com/)

### 2.3.5. Espectroscopia de reflexión

El objetivo de la espectroscopía es obtener las distribuciones espectrales de energía: el flujo de energía recibido de los objetos celestes respecto a la longitud de onda.

Mucho más exigente en tiempo de observación que la fotometría ya que es equivalente a una fotometría en banda estrecha en múltiples canales. Se obtiene una cantidad de información mucho mayor que con la fotometría con la que se pueden alcanzar objetivos más ambiciosos como: clasificar directamente estrellas y conseguir otro tipo de información (rotación, temperaturas. Abundancia de elementos en la atmósfera...)

Tiene gran cantidad de aplicaciones en ramas como química, medicina, física, biología, geología... Pero se centrará la atención en su importancia en la astrofísica.



**Figura 19.- Ejemplo de un espectro de luz solar.**

Fuente: Guia de uso del Lhires III

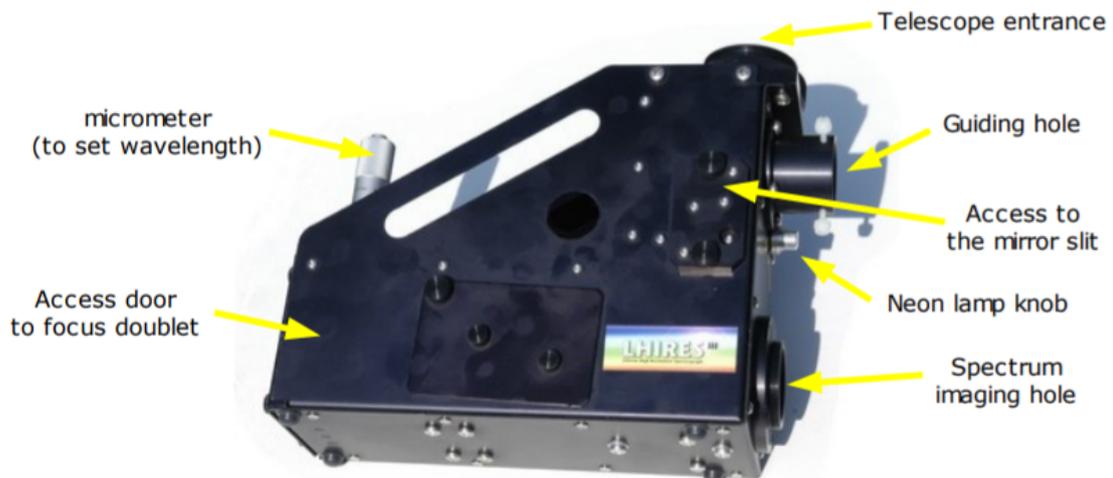
### 2.3.5.1 Espectrógrafo

Un espectrógrafo es un instrumento que transforma una forma de onda de dominio temporal entrante en un espectro de frecuencia, o generalmente en una secuencia de tales espectros. Hay varias clases de máquinas a las que se llama espectrógrafos, según la naturaleza de las ondas que se traten. Los primeros espectrógrafos usaban papel fotográfico como detector. La clasificación espectral de estrellas y el descubrimiento de la secuencia principal, la ley de Hubble y la secuencia de Hubble, se hicieron con espectrógrafos que usaban papel fotográfico. El pigmento vegetal fitocromo fue descubierto con un espectrógrafo que usaba plantas vivas como detectores. Los espectrógrafos más recientes usan detectores electrónicos, como cámaras CCDs que pueden usarse tanto para luz visible como para luz ultravioleta. La elección exacta del detector depende de las longitudes de onda de la luz que va a ser registrada.

El próximo Telescopio Espacial de James Webb contendrá un espectrógrafo cercano al infrarrojo (NIRSpec) y un espectrómetro en mitad del infrarrojo (MIRI).

Un espectrógrafo de escala usa dos rejillas de difracción, giradas 90 grados una respecto a la otra y colocadas cerca. Por lo tanto, se usa un punto de entrada y no una hendidura, mientras que un segundo chip CCD registra el espectro. Con este pequeño chip se consigue un espectro muy fino, y tiene como ventaja que la óptica colimadora no tiene que ser optimizada para coma o astigmatismo, ya que la aberración esférica puede ser establecida a cero.

El espectrógrafo que posee la Escuela de Minas es el Lhires III, el cual está optimizado para una espectroscopia de alta resolución. El poder de resolución expresado en  $\lambda/\Delta\lambda$  es alrededor de 17.000 en la red y por lo tanto capaz de conseguir un nivel de detalle de 0,4 Angstrom. También tiene integrada una lámpara de calibración.



**Figura 20.- Partes de una espectroscopio Lhires III.**

Fuente: guía de uso Lhires III

Lhires es un acrónimo para Littrow High Resolution Spectrograph. Un espectrógrafo con montura Littrow es aquel en el que el componente óptico (lente de 200mm) actúa tanto de colimador para mantener el reflejo paralelo como para traer un espectro enfocado al detector. Con este diseño se elimina la necesidad de separar lentes para colimar y enfocar.

		<b>Grating - Lhires III (lines/mm)</b>				
		<b>2400</b>	<b>1200</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>150</b>
<b>Dispersion (H<math>\alpha</math>)</b>	<i>nm/pix</i>	0.012	0.035	0.074	0.149	0.300
<b>Resolving power</b>		17000	5900	2800	1400	700
<b>Radial Velocity</b>	<i>Km/s</i>	5	17	35	75	150
<b>Field of view</b>	<i>nm</i>	8.5	25	55	110	230
<b>All visual domain in #</b>	<i>images</i>	45	15	7	4	2
<b>Limiting magnitude</b>		5.0	6.8	7.5	8.4	9.2

**Tabla 3.- Parámetros basados en el uso de un telescopio de 200mm f/10, 30 $\mu$ m de ranura, cámara KAF0400, 1 hora de exposición y nivel de ruido 100.**

Fuente: Guia de uso del Lhires III

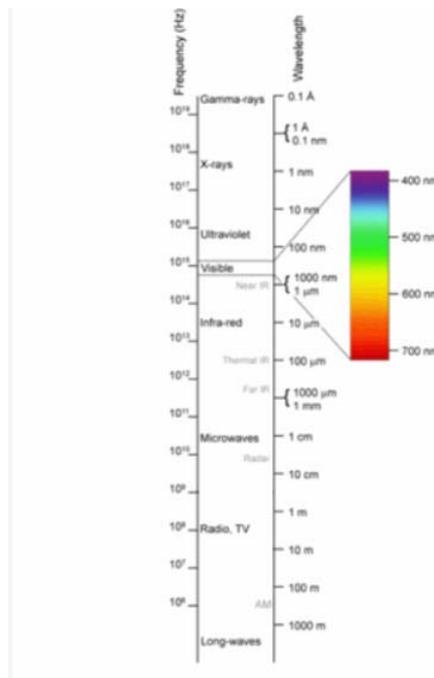
### 2.3.5.2 El problema de la dispersión con escasez lumínica

Cuando la cantidad de fotones es baja, el espectroscopio como dispersa la luz que le llega no tiene suficientes fotones para sacar las curvas de absorción. En estos casos se recurre a filtros como los que se ven a continuación en el apartado 2.3.6. y que se utilizaron en este proyecto

### 2.3.6. Filtros astronómicos

Un filtro es un elemento óptico que deja pasar unas longitudes de onda (colores) determinadas. Mediante esta técnica de filtrado podemos desechar gran parte del espectro electromagnético para concentrarnos en una sola banda.

La luz está recogida en el lo que se conoce como el espectro electromagnético, que se divide en: rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja y ondas radioeléctricas.



**Figura 21.- Clasificación del espectro electromagnético.**

Fuente: Louis E. Kleiner, Coastal Carolina University

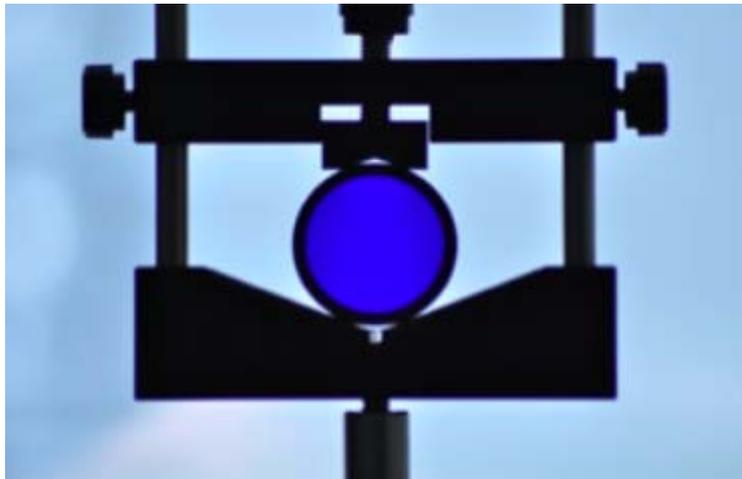
De ahí la importancia de los filtros ya que puedes eliminar la parte del espectro electromagnético que no te interesa como la contaminación lumínica.

Los filtros para la luz visible de entre 400nm y 700nm se pueden clasificar en:

#### **2.3.6.1. Filtros de color**

Un filtro de color es básicamente un cristal suficientemente plano, no vale cualquier tipo de cristal, y con las caras lo más paralelas entre sí posible. Si las caras no fuesen paralelas el cristal dispersaría la luz y veríamos la descomposición de la luz en sus colores; y si además no son planas nos deformaría la imagen.

A este cristal planoparalelo se le aplica una serie de tintes en una o sus dos caras y un tratamiento antirreflejante en los filtros de buena calidad. Mediante la combinación de tintes se consigue dejar pasar unos colores u otros. De esta forma podemos ver solamente el espectro del color verde, si se aplica un tinte que sólo deje pasar dicho color, azul, rojo, etc.



**Figura 22.- Filtro de color azul**

Fuente: Carlos Eugenio Tapia Ayuga, 2017

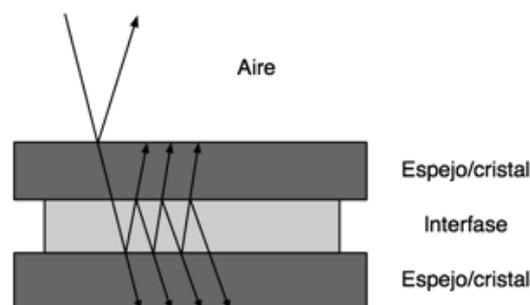
### 2.3.6.2. Filtros de paso ancho (multicapa)

Un filtro de paso ancho es un paso intermedio entre un filtro de color y uno interferencial. Un filtro de paso ancho se refiere en todo momento a aquellos que dejan pasar un amplio rango de longitudes de ondas, pero que funcionan por interferencia entre sus capas.

Estos filtros de paso ancho, como ya ha mencionado en el párrafo anterior, tienen un comportamiento basado en hacer interferir la luz entre distintos tratamientos que se aplica sobre todo a una de sus caras. Cuando damos un tratamiento muy específico parte de la luz se refleja en su superficie y parte se transmite. A su vez, esta luz transmitida se refleja en parte en el cristal y otra parte se transmite y es la que nos llega a nosotros. Si se aplican sucesivas capas de tintes de tal forma que se produzca interferencia entre ellas, seremos capaces de llegar a tener filtros mucho más restrictivos que los de color, aunque no hasta el punto de los interferenciales propiamente dichos.

### 2.3.6.3. Filtro Interferencial

Un filtro interferencial se basa en el efecto que ya se ha descrito en el apartado anterior 2.3.6.2. Pero, al contrario que en los filtros de paso ancho los interferenciales su construcción se basa en el siguiente esquema:



**Figura 23.- Funcionamiento de un filtro interferencial tipo Fabry - Perot**

Fuente: Carlos Eugenio Tapia Ayuga, 2017

Como se puede ver, en el montaje tenemos dos cristales planos y paralelos entre sí, separados por un medio, este medio puede estar compuesto por tratamientos antirreflejantes, aceite o inclusive aire.

Para que un filtro interferencial se adecue a nuestros intereses lo que se hace es controlar la distancia que separan los dos cristales paralelos y el índice de refracción del medio que está situado entre ellos. Como el medio de la interfase es normalmente fijo, lo que se hace es controlar su índice de refracción. Hablando de otra forma, como sabemos a priori el material de los cristales que componen el filtro, sólo tendremos que colocar una interfase de un índice de refracción determinado y una anchura determinada, de esta forma conseguiremos que el filtro se comporte de una forma interferencial (tal y como se ha explicado en el apartado anterior) y se filtrará exclusivamente la banda de luz (color) que nos interesa. Este funcionamiento es básicamente el de un interferómetro de Fabry - Perot. Por tanto, cuando tenemos un filtro interferencial, lo que tenemos en las manos es un interferómetro.

#### **2.3.6.4. Filtro sintonizable**

Cuando conseguimos variar de forma continua tanto la interfase como la separación de sus caras tenemos un filtro sintonizable (tunable filter). De esta forma con un único filtro podremos hacer un recorrido amplísimo en todo el espectro electromagnético y siempre con una anchura espectral muy pequeña. Un filtro de este tipo está montado en el telescopio GTC del Roque de los Muchachos (Islas Canarias).

## **2.4. Fotometría astronómica**

La fotometría es la medición de la intensidad de la luz de los cuerpos celestes.

Hay dos tipos de fotometría que se utilizan normalmente en astronomía pero nosotros solo usaremos la fotometría diferencial debido a su mayor simplicidad:

- Fotometría diferencial: en la que la magnitud que se obtiene para el cuerpo celeste se compara con la magnitud que se obtiene en ese mismo instante de otras estrellas con brillo conocido y situadas en un campo próximo, con lo que puede determinarse para esa variable una “magnitud normalizada”. Permite determinar la magnitud de una estrella sin tener que conocer previamente la constante instrumental ni el coeficiente de extinción para esa noche. Además permite trabajar en condiciones no tan favorables como las necesarias en fotometría absoluta (noches "fotométricas", es decir condiciones perfectas durante toda la noche). En este trabajo se empleará el software fotodif para esta tarea.
- Fotometría absoluta: un procedimiento más complicado, en donde las magnitudes de las estrellas se obtienen directamente utilizando los resultados de la calibración de nuestro sistema cada noche y las condiciones atmosféricas en ese momento, usando para ello un conjunto de estrellas fuera del campo de visión.

### 3. EMPRESAS DEL SECTOR

Hasta no hace tanto tiempo todas las empresas dedicadas a investigación espacial eran gubernamentales. Cada país o asociación de países financiaba estos programas espaciales como la NASA (National Aeronautics and Space Administration) o ESA (European Space Agency). Pero recientemente ha habido un cambio en la tendencia con la formación de empresas de financiación privada, revolucionando así el paradigma del sector sobre todo en los costes.

Aunque existen una gran cantidad de empresas privadas en este sector este trabajo se centrará en las 3 más destacadas para la investigación de asteroides.

#### 3.1. SpaceX

Empresa fundada en 2002 por Elon Musk que se dedica a diseñar, construir y lanzar, cohetes y naves espaciales. Emplea a más de 6000 personas en su sede principal en California. Ganó la atención del panorama mundial por una serie de logros:

- En 2010 consiguió que volviese una nave espacial desde la baja órbita terrestre
- En 2012 se convirtió en la primera empresa privada en reabastecer la Estación Espacial
- En 2017 fue la primera vez que se consiguió relanzar un cohete de clase orbital, llevándolo a cabo varias veces a continuación.



**Figura 24: Cohete Falcon Heavy siendo lanzado en Febrero de 2018.**

Fuente: spacex.com

SpaceX abarató los lanzamientos de cohetes y naves espaciales ya que fue capaz de reutilizarlos, convirtiéndose así en una referente a nivel mundial en el servicio de lanzamientos. Ha realizado 100 misiones con valor de más de 12 mil millones de dólares en contratos, desde lanzamientos de satélites hasta misiones de reabastecimiento. Es usada por empresas para la investigación de asteroides.

# CAPABILITIES & SERVICES

SpaceX offers open and fixed pricing for its **Falcon 9** and **Falcon Heavy** launch services. Modest discounts are available, for contractually committed, multi-launch purchases. SpaceX can also offer **crew transportation services** to commercial customers seeking to transport astronauts to alternate LEO destinations.

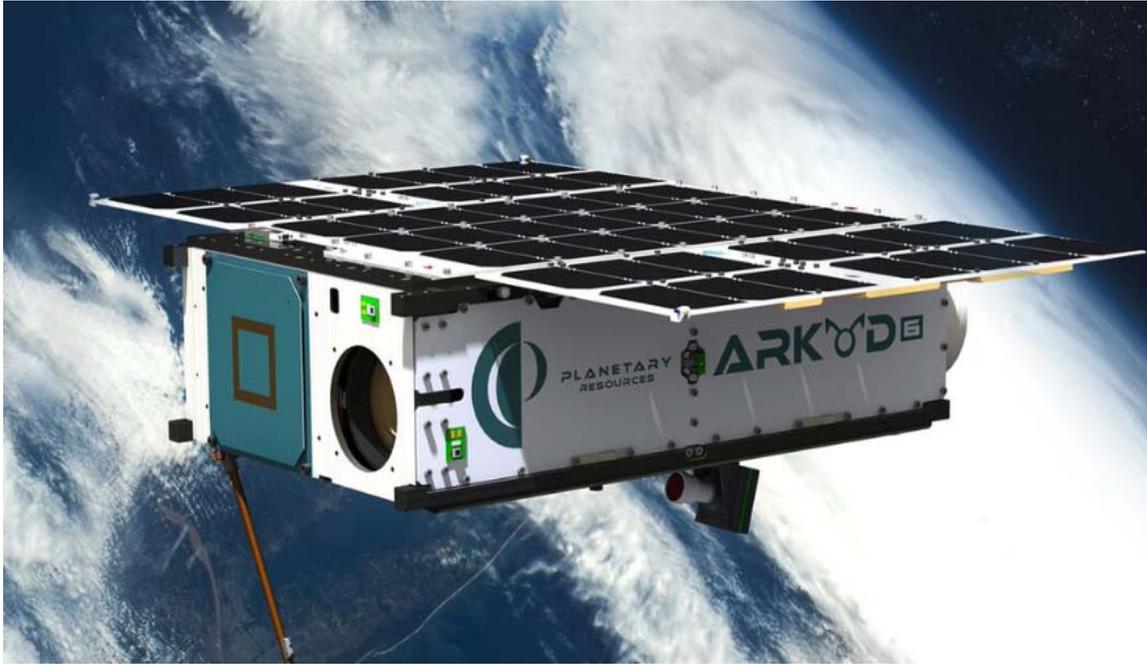
PRICE	FALCON 9	FALCON HEAVY
STANDARD PAYMENT PLAN (2018 LAUNCH)	\$62M Up to 5.5 mT to GTO	\$90M Up to 8.0 mT to GTO
DESTINATION	PERFORMANCE *	PERFORMANCE *
LOW EARTH ORBIT (LEO)	22,800 kg 50,265 lbs	54,400 kg 119,930 lbs
GEOSYNCHRONOUS TRANSFER ORBIT (GTO)	8,300 kg 18,300 lbs	22,200 kg 48,940 lbs
PAYLOAD TO MARS	4,020 kg 8,860 lbs	13,600 kg 29,980 lbs

**Figura 25.- En esta imagen SpaceX tiene una lista de precios para sus cohetes y la capacidad de carga hasta diferentes destinos (órbita baja terrestre, órbita de transferencia geoestacionaria y Marte).**

Fuente: spacex.com

### 3.2. Planetary Resources

Planetary resources es una empresa, fundada en 2010, centrada en identificar, extraer y procesar recursos de los asteroides cercanos a la Tierra. La primera gran demostración tecnológica de la compañía fue el lanzamiento del satélite Arkyd-3 (2015 en Cabo Cañaveral). También, en 2016, la compañía anunció su colaboración con el Gobierno de Luxemburgo. En 2018 lanzó el Arkyd-6, satélite cuyo objetivo es la detección de agua y recursos en los asteroides.



**Figura 26.- Satellite Arkyd-6**

Fuente: planetaryresources

La estrategia de la compañía en la actualidad consiste en recopilar información sobre los asteroides para seleccionar los idóneos para su explotación. Para ello consiste en 6 fases como se explica en la siguiente imagen: lanzamiento, despegue del satélite respecto al cohete, analizar a distancia, analizar con sondas, procesar los datos y enviarlos de vuelta a la Tierra.



**Figura 27: En esta imagen se aprecia el esquema de planificación de la empresa.**

Fuente: planetaryresources

### 3.3. Deep Space

Se trata de otra compañía dedicada a la futura explotación de asteroides. Planea para 2019 lanzar su satélite Explorer hasta la baja órbita terrestre que es más asequible en términos económicos para más tarde propulsionarse el mismo hasta fuera de la trayectoria terrestre, pudiendo llegar cerca de Marte. También poseen patentes interesantes como el Comet un propulsor para satélites que se alimenta a base de agua (200.000\$ de precio de venta).

Características del Explorer:

- Hasta 5000m/s con 10kg de carga
- Hasta 2,5 Unidades Astronómicas de distancia operacional desde la Tierra.
- Capacidad de generar hasta 500W de potencia a 1 Unidad Astronómica del Sol

- > 1 kbps capacidad de transferencia de datos desde 2 AU a la Tierra
- 64 GB de capacidad de almacenamiento.



**Figura 28.-** **Satélite Xplorer de la empresa Deep Space**

Fuente: [deepspace.com](http://deepspace.com)

## 4. 121 HERMIONE

En primer lugar se explicará porque se eligió este asteroide en concreto, para más tarde describir sus características y el cálculo de su periodo de rotación.

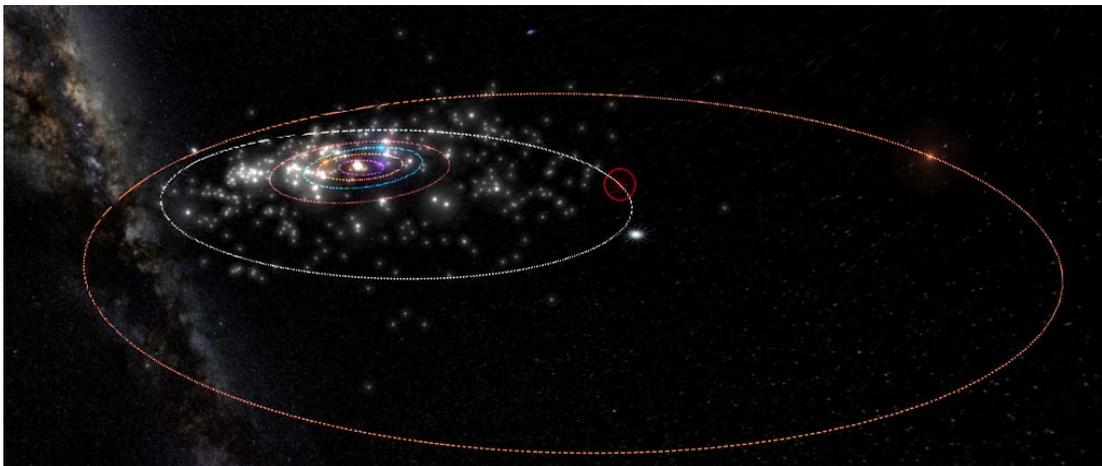
### 4.1. Motivos para su elección

En este apartado se explican las razones por las que fue elegido en concreto el asteroide 121 Hermione para este determinado estudio. Son 6 los factores principales para la elección:

- En primer lugar: magnitud, es la forma con la que se mide el brillo de un cuerpo celeste, los asteroides en general tiene una magnitud elevada (bajo brillo), debido en gran parte a que la luz que nos llega de ellos es reflejada y por su pequeño tamaño. Por lo tanto, al escoger el asteroide se eligió uno con una baja magnitud para que fuese más fácil la recolección de datos con el telescopio. En el valor de la magnitud tiene mucha influencia el tamaño, cabe destacar que 121 Hermione es el 2º más voluminoso dentro de la clasificación de asteroides binarios de los NEA (Marchis, Hestroffer, Descamps, Berthier, Laver, y De Pater, 2005).
- En segundo lugar: PERIODO=5,5513 horas. Es un periodo relativamente corto lo cual favorece que la recolección de los datos se pueda realizar en un tiempo menor (Marchis, Hestroffer, Descamps, Berthier, Laver, y De Pater, 2005) También cabe tener en cuenta que pretendemos medir variaciones de composición viendo variaciones del color del asteroide según este va rotando, y para eso es interesante un asteroide cuyo periodo de rotación no sea muy largo, ni muy lento, ya que cada set de 5 medidas nos requiere 30 minutos

- En tercer lugar, que se encuentre el Leo en esta época de año y por tanto que tengamos una ventana de observación lo suficientemente amplia para tomar medidas durante buena parte de la rotación.

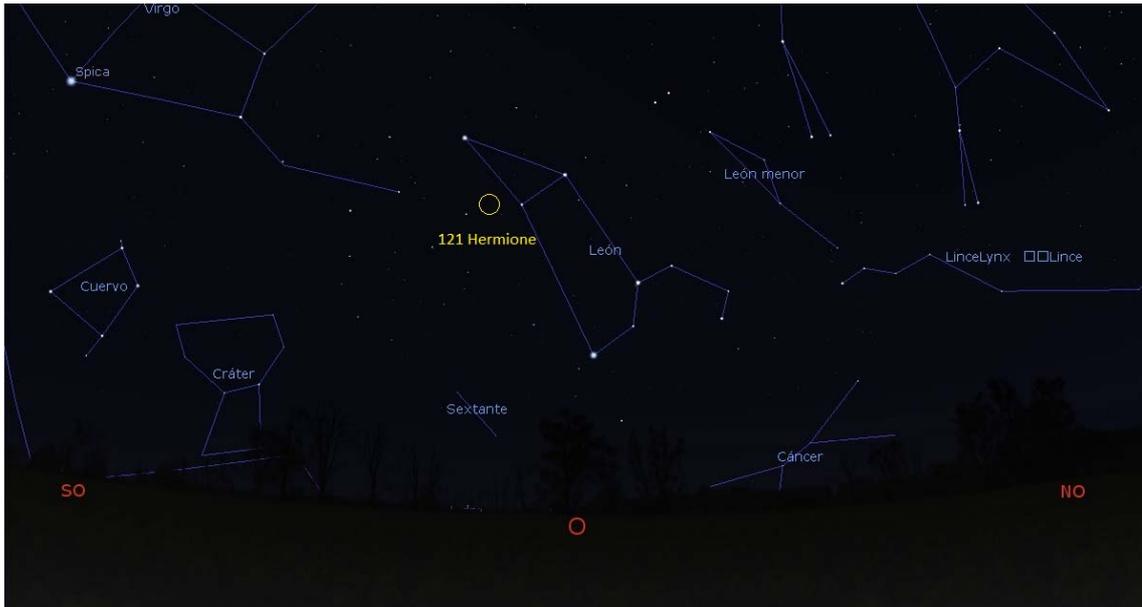
A continuación, se añade una imagen obtenida de la página de [asterank.com](http://asterank.com), donde se puede apreciar la posición de 121 Hermione (señalado en rojo) junto con el resto de planetas y sus orbitas marcadas cada una con un color diferente y otros asteroides (blanco).



**Figura 29: rodeado en rojo se encuentra 121 Hermione con su órbita en blanco**

Fuente: [asterank.com](http://asterank.com)

A continuación se puede apreciar la posición de 121 Hermione (amarillo) cercana a constelación Leo (León), obtenida a través del programa Stellarium.



**Figura 30.- Representación de la bóveda celeste con sus constelaciones y 121 Hermione (amarillo)**

**Fuente: obtenida con el programa Sterellium**

- En cuarto lugar el hecho de que sea BINARIO hace que sea interesante desde el punto de vista de la caracterización, ya que es probable que cada uno de los 2 cuerpos adheridos que forman Hermione 121 sean mineralógicamente diferentes y esto se pueda detectar con la rotación.
- En quinto lugar el hecho de que tenga luna lo hace más interesante al ser posible calcular su masa inferida por la órbita que describe la misma alrededor de 121 Hermione. Además sabiendo su volumen se puede tener una medida de su densidad para compararla con nuestra taxonomía de asteroide. Ya existen estudios sobre su luna para comparar.
- En sexto lugar que ya fue estudiado y clasificado por la taxonomía de Tholen en base los datos obtenidos por Chapman y Gaffey (1979) y McFadden, et al. (1984), con un fotómetro dual beam McCord de 26

filtros entre el rango de [0.32-1.08] micras. Esto favorece por el hecho de tener una referencia con la que comparar nuestros datos.

## 4.2. Características

121 Hermione fue descubierto el 12 de Mayo de 1872 por J.C. Watson y clasificado por Howell et al. (1979) como un asteroide tipo C con un diámetro de 209 km.

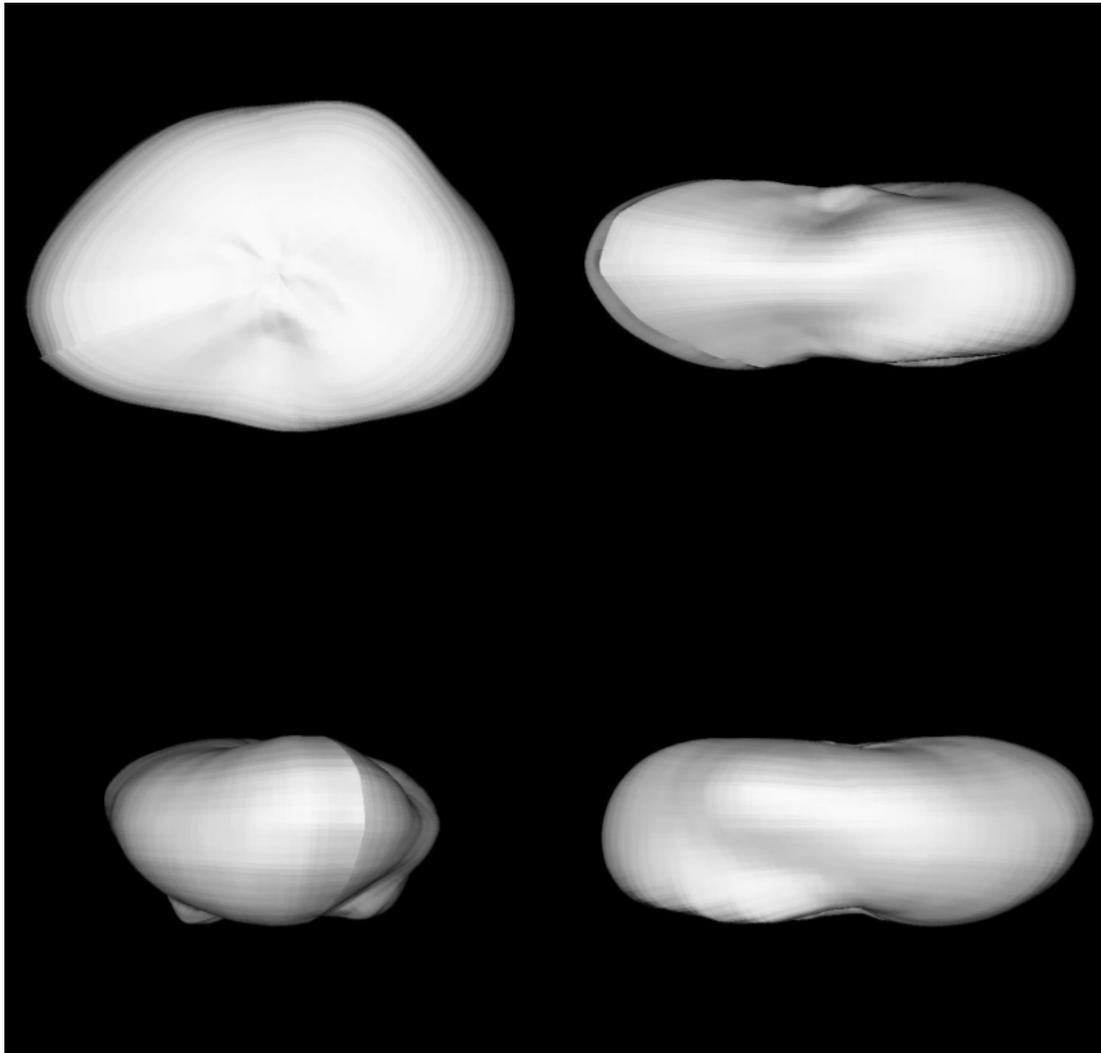
Su periodo ha sido estimado con diferentes valores a lo largo de los años:  $8,97 \pm 0,07$  horas por Ricardo Gil Hutton (1990), 6,1 horas indicado por Debehogne et al. (1978) y Di Martino et al. (1987) y  $9,238 \pm 0,01$  horas por C. Blanco, M. Di Martino, G. De Sanctis y D. Riccoli (1995). El más aceptado esta en torno a 5,5 horas (Marchis F., 2005).

El tamaño aceptado es:  $A=211,1$  km  $B=161,6$  km  $C=180$  km, P. Deschamps (2009), se encuentran diferentes valores para sus dimensiones en la bibliografía y se escogió el dato del estudio más actual. Es el segundo más masivo dentro de la clasificación binaria de asteroides. El más grande sería Hektor 624 pero al ser un asteroide troyano sería más difícil su observación dada su lejanía; Este factor es importante desde el punto de vista de captación de datos. Al tener mayor tamaño refleja mayor cantidad de fotones que un homologo más pequeño y por lo tanto facilita la obtención de su espectrometría.

121 Hermione pertenece a la familia Cibeles familia de unos 700 asteroides y ubicada entre las resonancias 1:2 y 3:5 con Júpiter con las siguientes características:

- $3,28 < a < 3,67$  UA (a: semieje mayor de la órbita)
- $i < 26^\circ$  (i: inclinación de la órbita)
- $e < 0,35$  (e: excentricidad de la órbita)

El asteroide que da nombre a la familia es 65 Cybele de 240 km de diámetro. Fue descubierto desde el observatorio de Marsella el 8 de marzo de 1861 por el astrónomo alemán Wilhelm Tempel. Se trata de un asteroide de tipo C. El nombre del asteroide se debe a la diosa frigia Cibele. Los Cybele según la teoría más aceptada procede de un antiguo objeto fracturado.



**Figura 31: forma polihedrica no convexa de 121 Hermione derivada de 40 observaciones d ecurvas de luz desde 1976 hasta 2007 y por el telescopio Keck desde Diciembre 2003 hasta 2007 mas Septiembre de 2005**

Fuente: New insights on the binary asteroid 121 Hermione

## 5. CASO PRÁCTICO

### 5.1. Cálculo del periodo de rotación

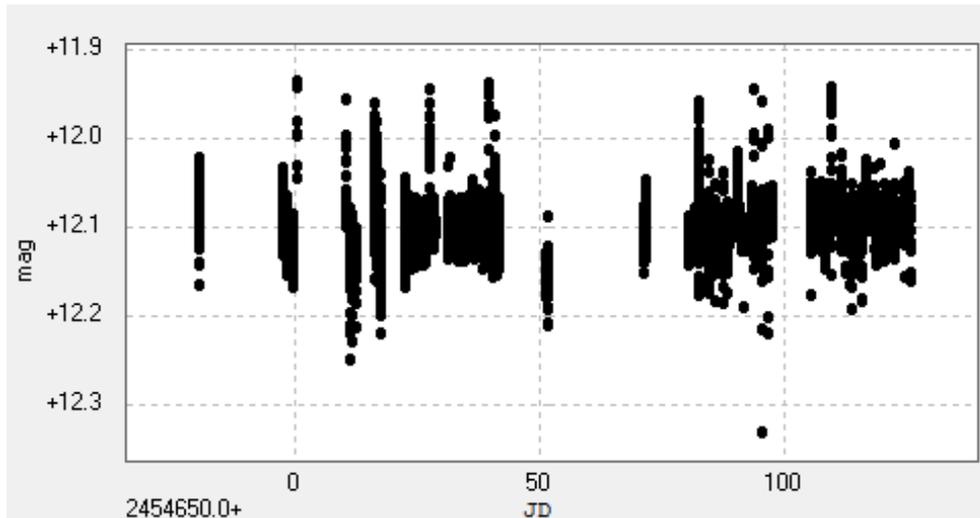
Para este cálculo usaremos los datos de 121 Hermione observados por el telescopio (survey de búsqueda de exoplanetas) SuperWASP entre las fechas HJD 2454630.529815 y 2455282.363009, un total de 1.786 años, con exactamente 6682 observaciones.

Para obtener el periodo de rotación a partir de los datos de SuperWASP, se han seguido los métodos habituales para la determinación de la rotación de enanas rojas de tipo M (E Diez Alonso et al, 2018).

Se ha procedido a realizar un detrend con splines de la curva, para eliminar las variaciones de magnitud por la distancia con el programa LCTools. Una de estas variaciones en la curva de luz no es debida a la rotación, si no a la distancia entre el asteroide y la Tierra, que va variando según estos se mueven por su órbita.

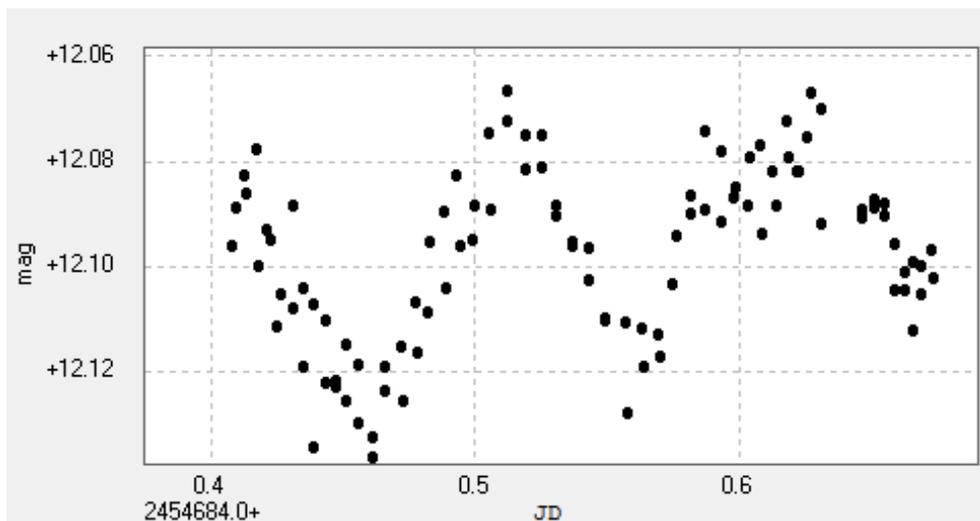
Se han utilizado las observaciones de la primera época, hasta HJD 2454782 (las de la segunda época tienen mucha más dispersión) y he descartado las comprendidas entre 2454704 y 2454719 porque se observan errores en la fotometría.

Se ha realizado una limpieza de outliers con Excell descartando los que estén a más de  $2.5\sigma$  clip del valor medio de la magnitud, y nos quedan un total de 4363 observaciones a lo largo de 145 días, que son las que se analizan. El valor promedio de la magnitud es de 12.096.



**Figura 32.- Representación de la magnitud en función del tiempo**

Fuente: programa Peranso



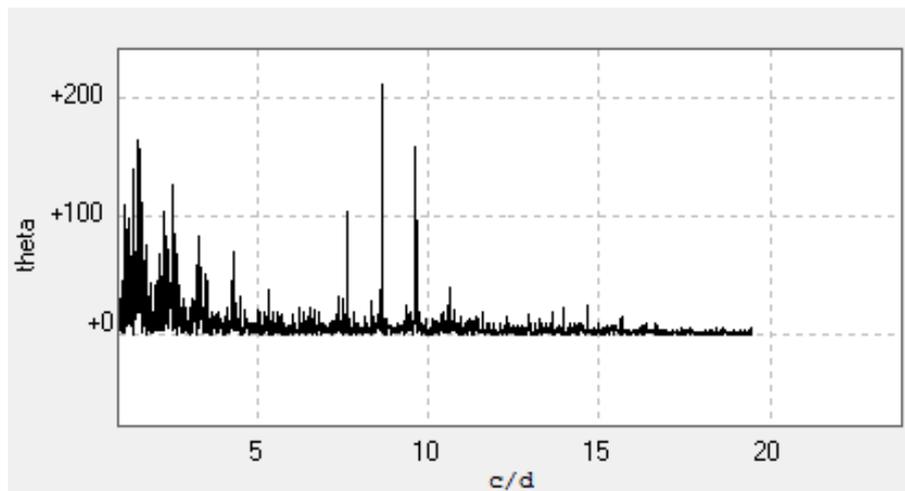
**Figura 33.- Representación de lamagnitud en función del tiempo ampliada**

Fuente: programa Peranso

A continuación analizaremos los datos a través de un periodograma, método usado para analizar frecuencias que mide aportaciones a la varianza total de la

serie de componentes periódicos de una frecuencia. Si el periodograma presenta un “pico” en una frecuencia, indica que dicha frecuencia tiene mayor importancia en la serie que el resto.

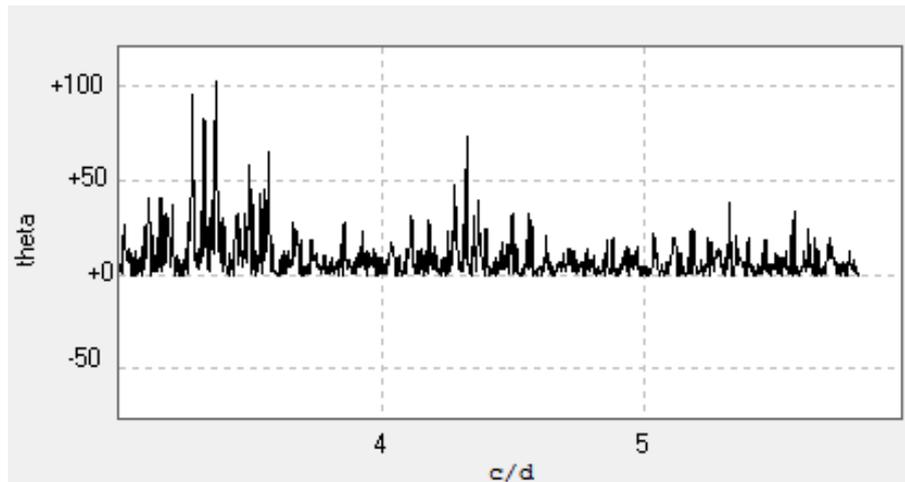
Se ha usado uno de los más habituales en astrofísica, el periodograma de Lomb - Scargle.



**Figura 34.- Representación del periodograma hasta 24 c/d**

Fuente: Peranso

Periodograma L-S buscando entre 1 y 24 c/d. El pico más alto está en 0.1156 días, pero es la mitad del período porque la curva tiene dos jorobas, al ser este un asteroide binario. El período real tiene que ser el doble. En esta ocasión ha sido útil que ya estuviese estudiado el asteroide para prevenir los fallos en las interpretaciones de los resultados.

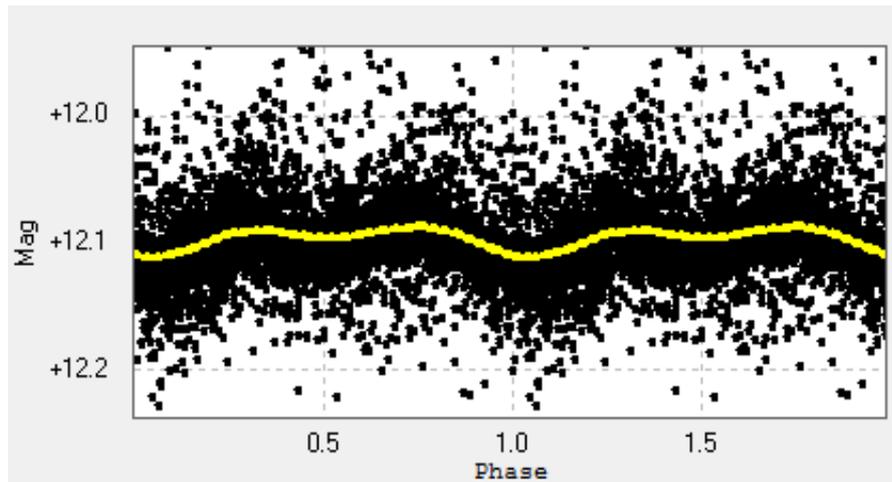


**Figura 35.- Representación del periodograma hasta 5 c/d**

Fuente: Peranso

Utilizando el periodograma Lomb-Scargle buscando entre 3 y 6 c/d y con una resolución de 5000. El pico que se corresponde a la rotación es el de 4.322 c/d ( $0.2314 \pm 0.0001$  días,  $5.554 \pm 0.002$  horas). Descartando el primer pico al orientarnos por la literatura puesto que sería demasiado corto su periodo.

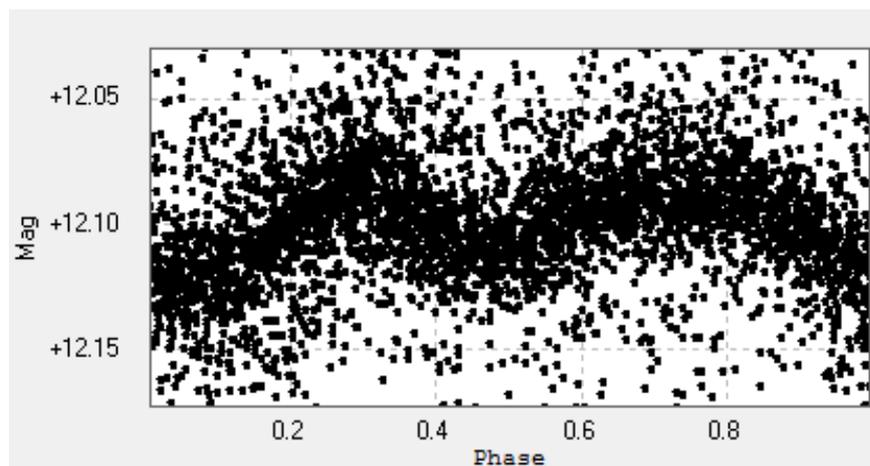
La curva de rotación se obtiene poniendo en fase todas las observaciones con el periodo de rotación que se ha obtenido de 5.55 horas. En la siguiente imagen donde se representa la curva de rotación hay que tener en cuenta que son 2 periodos de rotación.



**Figura 36.- Representación de la curva de rotación**

Fuente: Peranso

Se ha seleccionado un solo ciclo ampliando la figura 5:



**Figura 37.- Representación de la curva de rotación para un solo ciclo.**

Fuente:Peranso

La amplitud es  $\sim 0.1$  mag.

El diámetro del asteroide se puede estimar con la expresión  $\log D = 3.130 - 0.5 \log A - 0.2 H$ , siendo A el albedo y H la magnitud absoluta del asteroide (Yoshida et al. 2014). La magnitud absoluta de 121 Hermione es 7.31 y su

albedo es de 0,0482 de donde se puede estimar un diámetro de  $D=211$  km (valor de la Marchis,  $F$  es de  $209\pm 5$  km).

Para un asteroide que tenga forma elipsoidal, la amplitud de la curva de rotación está relacionada con el cociente entre el eje mayor y menor como:

$$\Delta m = 2.5 \cdot \log(a/b) \quad (\text{Binzel 1987})$$

En el caso de 121 Hermione, asumiendo una amplitud de 0.1 mag, obtenemos  $a/b = 1.1$ . Pero esto no es aplicable a 121 Hermione, aunque nos puede dar una idea de su irregularidad. Ya la curva de luz nos habla de una naturaleza claramente bilobular. Según se evidenció en 2003 con las imágenes obtenidas por el telescopio Keck.

## 5.2. Clasificación de Tholen para 121 Hermione

### 5.2.1 Calibrado

El calibrado de todos los instrumentos de medición es muy importante y en especial para las imágenes astronómicas CCD ya que existen muchos factores que influyen en la alteración de las imágenes, para así asegurarnos de la fiabilidad de los datos.

Existen 3 tipos de tomas de calibrados para telescopios según la guía de fotometría CCD de la AAVSO (p.26):

- Tomas Oscuras de tiempo de exposición nulo (“Bias Frames”). Deben efectuarse en la oscuridad con el obturador cerrado y/o con la entrada de luz del telescopio cubierta. El tiempo de exposición ha de ser cero segundos (o lo más corto posible). Tomaremos 100 imágenes y las promediaremos para crear una toma Oscura de tiempo de exposición nulo Maestra (“Master Bias”)
- Tomas Oscuras (“Dark Frames”). Deben efectuarse en la oscuridad con el obturador cerrado y/o con la entrada de luz del telescopio

cubierta. El tiempo de exposición debe ser el mismo (o superior) al de las imágenes astronómicas. Tomaremos 20 imágenes o más, restaremos a cada una la Toma Oscura de tiempo de exposición nulo Maestra (“Master Bias”) y las combinaremos todas juntas usando la mediana para crear una toma Oscura Maestra (“Master Dark”).

- Tomas Planas (“Flat Frames”). Tomaremos imágenes de una fuente luminosa uniforme o del cielo crepuscular. Nos aseguraremos de que el enfoque es correcto y el mismo que el de las imágenes astronómicas. El tiempo de exposición debe permitir llegar a completar aproximadamente la mitad de la capacidad total del píxel. Tomaremos 10 imágenes o más para cada filtro, las promediaremos (o combinaremos con la mediana), les restaremos la toma Oscura Maestra (“Master Dark”) y la toma Oscura de tiempo de exposición nulo Maestra (“Master Bias”) para crear una toma Plana Maestra (“Master Flat”).

Luego con los programas correspondientes en cada caso se usarán estas imágenes para calibrar y restar así los efectos de las fuentes de señal no astrofísicas.

### **5.2.2. Descripción del equipo**

Las observaciones se realizaron con la equipación del observatorio de la escuela de Minas. A pesar de situarse en el centro de la ciudad de Oviedo con abundante contaminación lumínica, para este tipo de observaciones de fotometría diferencial el instrumental es perfectamente válido.



**Figura 38.- Cúpula del telescopio situada en la azotea de EIMEN**

Fuente: MOMA



**Figura 39.- Cúpula abierta con vista del telescopio catadióptrico y montura ecuatorial**

Fuente: MOMA



**Figura 40.- Telescopio catadióptrico con montura ecuatorial y la cúpula abierta**

Fuente: MOMA

Un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura con una relación focal F6.3, sobre una montura ecuatorial computerizada.

Para la captura de las imágenes se utilizó una cámara CCD Luna qhy6, cámara monocroma con un sensor de 752\*582 píxeles.

Se usó un conjunto de 5 filtros fotométricos UBVRI montados sobre una rueda portafiltros situada entre el telescopio y la CCD.

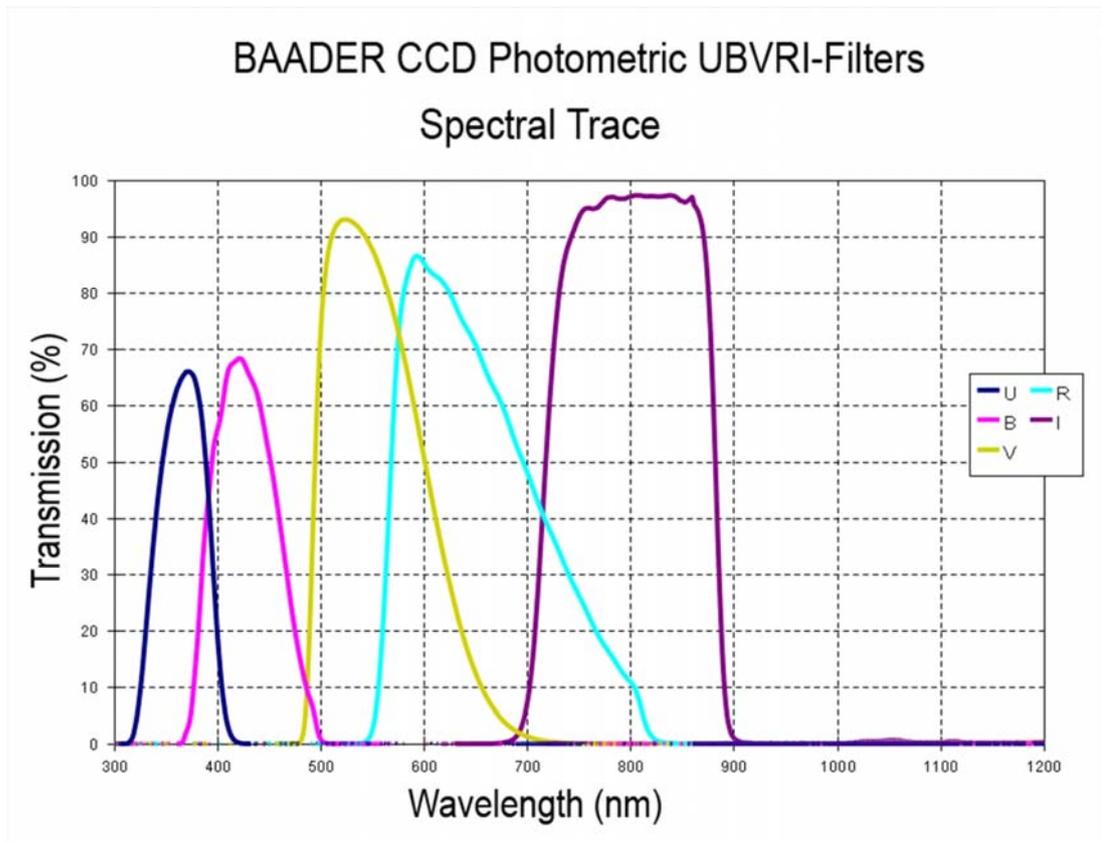
Para la toma de imágenes de larga exposición se usó un sistema de autoguiado con un telescopio de 50 mm de abertura en paralelo al telescopio principal y una cámara de guiado luna qhy5.

Las imágenes fueron tomadas y calibradas con el software Maxim, el control del telescopio se realizó mediante el software Carte du Ciel y el paquete EQMod.

La fotometría diferencial se realizó con el software fotodif.

Utilizaremos el sistema fotométrico conocido como UBVRI desarrollado por Johnson y Morgan en 1953

- U: Effective central wavelength 365.6nm, FWHM 34.0nm
- B: Effective central wavelength 435.3nm, FWHM 78.1nm
- V: Effective central wavelength 547.7nm, FWHM 99.1nm
- R: Effective central wavelength 634.9nm, FWHM 106.56nm
- I: Effective central wavelength 879.7nm, FWHM 289.2nm



**Figura 41.- Transmisión para cada filtro UBVRI**

Fuente: teleskop-express.de

### 5.2.3. Observación de 121 Hermione

En la noche del 05 de mayo de 2018 se realizó un seguimiento de 121 Hermione desde el observatorio astronómico del EIMEM.

Las observaciones se realizaron mediante un telescopio Smichdt – Cassegrain de 203 mm de apertura a F6, sobre una montura ecuatorial heq6, con autoguiado. Se empleó una cámara CCD qhy6 y un conjunto de filtros fotométricos U,B,V,R,I (baader).

Con esta configuración, la resolución del sistema es de 1.03 "/píxel. La FWHM media de las estrellas (seeing) es de 3".

Se realizó seguimiento de 121 Hermione desde las 22:30 T.U. del día 05 de mayo hasta la 01:00 T.U. del día 06 de mayo, tomándose exposiciones sucesivas en los filtros U (600 segundos), B (300 segundos), V (300 segundos), R (300 segundos) e I (300 segundos).

La señal en las exposiciones correspondientes al filtro U, a pesar de ser de 600 segundos, es demasiado baja, así que estas medidas no se han usado en el trabajo.

También se realizaron medidas de la estrella Landlot 107- 484 para calibrar nuestras propias medidas. Para ello se tomaron 5 exposiciones en cada filtro U,B,V,R,I y se obtuvo la fotometría de la estrella, que fue comparada con los valores tabulados para obtener las diferencias de nuestro sistema y calibrar.

Finalmente se obtuvieron imágenes de calibración (flats para cada filtro, darks y bias) como ya se explico en el apartado 3.1 Calibración.

La fotometría de 121 Hermione se obtuvo con el software fotodif, eligiendo estrellas con colores B-V ~ 0.5 (no muy rojas). También se verificó que no fueran variables, para lo cual se buscaron en el Variable Star Index (VSX) de la American Association of Variable Star Observers (AAVSO).

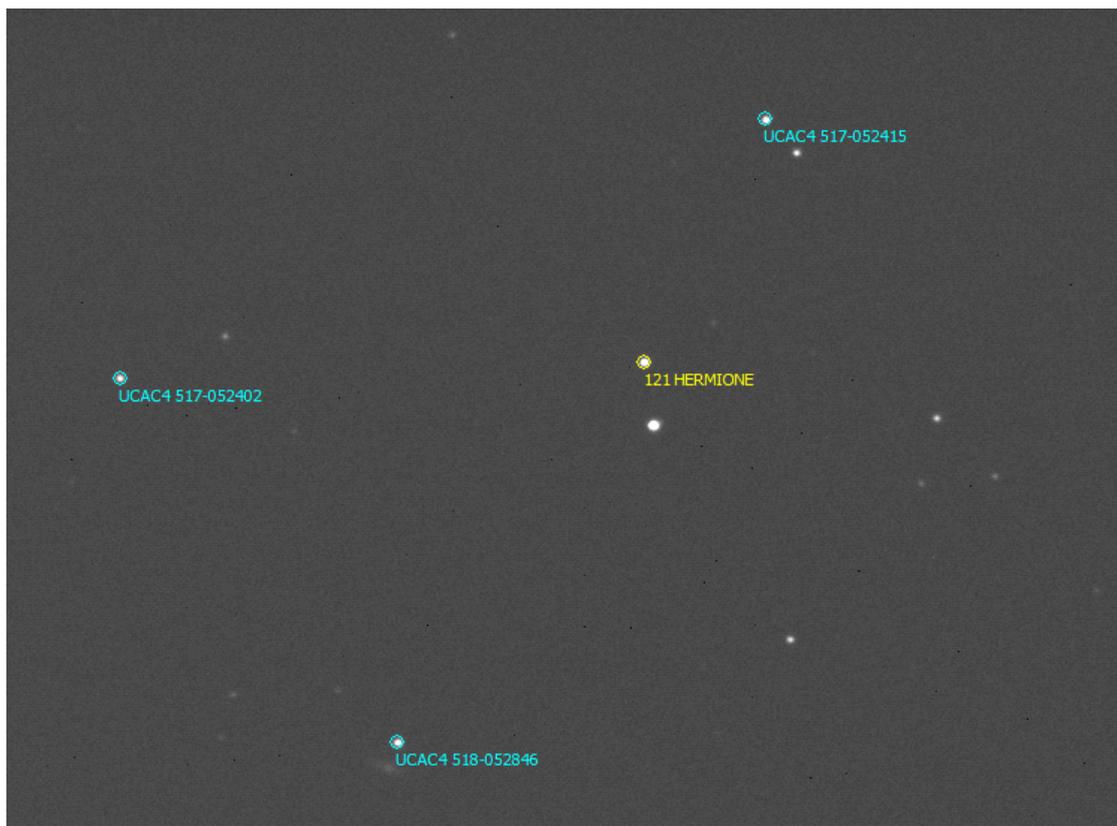
#### 5.2.4. Fotometría

Estrellas usadas para obtener la fotometría y su magnitud en diferentes bandas tomada del catálogo UCAC4 :

Estrella	mag B	mag V	mag R	mag I
UCAC4 518 052846	14.397	13.971	13.891	13.866
UCAC4 517 052415	14.528	13.945	13.837	13.684
UCAC4 517 052402	14.786	14.154	14.044	13.878

**Tabla 4.- Magnitud de las estrellas usadas para la fotometría diferencial**

Fuente: UCAC4



**Fig 42: Una de las imágenes tomadas con filtro V, indicando la posición de 121 Hermione y las estrellas usadas para calcular la fotometría del asteroide.**

Fuente: elaboración propia, fotodif

Las estrellas usadas para calcular la fotometría de Landlot 107 484 se presentan en la Tabla 5, junto con sus magnitudes en UCAC4:

Estrella	mag B	mag V	mag R	mag I
UCAC4 449 058875	14.516	13.902	13.727	13.556
UCAC4 449 058858	14.148	13.367	13.114	12.849
UCAC4 449 0588653	14.993	14.157	13.900	13.621

**Tabla 5.- Magnitudes de las estrellas: UCAC4 449 058875, UCAC4 449 058858 y UCAC4 449 0588653.**

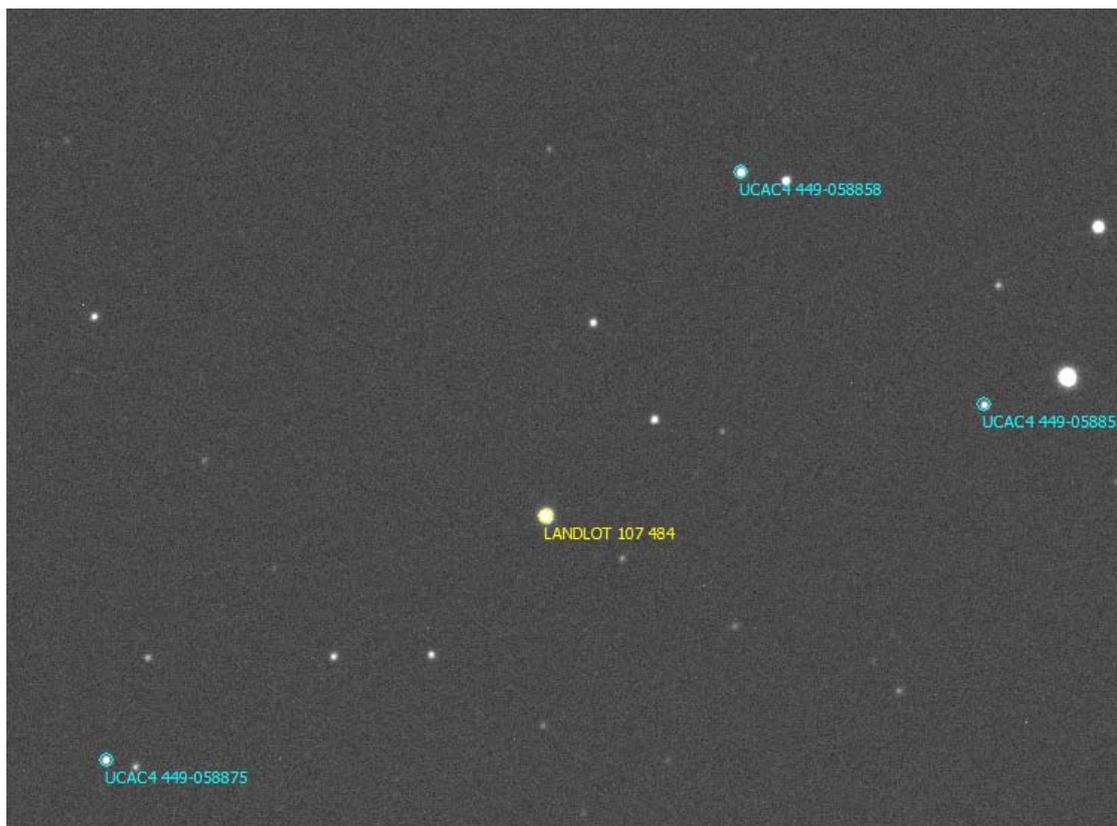
Fuente: UCAC4

En la Tabla 6 se presentan las magnitudes instrumentales obtenidas con nuestro equipo de la estrella Landlot 107 484, su valor medio, los valores tabulados para las magnitudes de esta estrella y las diferencias entre esos valores tabulados y los obtenidos con nuestro equipo. Estas diferencias las usaremos posteriormente para corregir las magnitudes calculadas con nuestro sistema del asteroide 121 Hermione:

Landlot_107 484	B	e_B	V	e_V	R	e_R	I	e_I
	12.499	0.014	11.315	0.005	10.9	0.004	10.495	0.007
	12.534	0.014	11.314	0.005	10.926	0.004	10.47	0.007
	12.588	0.014	11.319	0.005	10.911	0.004	10.501	0.007
	12.565	0.014	11.32	0.005	10.906	0.004	10.499	0.007
	12.478	0.014	11.315	0.005	10.913	0.004	10.485	0.007
Medias obtenidas:	12.5328		11.3166		10.9112		10.49	
Tabulados:	12.55		11.31		10.65		10.07	
Diferencia:	0.0172		-0.0066		-0.2612		-0.42	

**Tabla 6.- Magnitudes de Landlot 107 484 su valor medio, sus valores tabulados y la diferencia con los obtenidos con nuestro equipo.**

Fuente: UCAC4 y elaboración propia



**Fig 43: Imagen V de Landlot 107 484 con las estrellas de usadas para realizar la fotometría.**

Fuente: elaboración propia, fotodif

En la Tabla 7 se presentan los valores instrumentales obtenidos con nuestro sistema para 121 Hermione sin “corregir” con la fotometría diferencial:

Hora Central	B	e_B	V	e_V	R	e_R	I	e_I
22:45	14.254	0.012	13.46	0.005	13.323	0.006	13.145	0.01
23:15	14.196	0.012	13.46	0.005	13.316	0.006	13.149	0.01
23:45	14.251	0.013	13.471	0.005	13.32	0.006	13.187	0.01
0:15	14.257	0.014	13.496	0.006	13.328	0.006	13.182	0.011
0:45	14.239	0.014	13.509	0.006	13.354	0.006	13.211	0.011

**Tabla 7.- Índices de color de 121 Hermione sin “corregir”**

Fuente: elaboración propia, excel

La Tabla 8 presenta los valores de las magnitudes de 121 Hermione corregidos de las diferencias encontradas con Landlot 107 484:

Hora Central	B	e_B	V	e_V	R	e_R	I	e_I
22:45	14.2712	0.012	13.4534	0.005	13.062	0.006	12.725	0.01
23:15	14.2132	0.012	13.4534	0.005	13.055	0.006	12.729	0.01
23:45	14.2682	0.013	13.4644	0.005	13.059	0.006	12.767	0.01
0:15	14.2742	0.014	13.4894	0.006	13.067	0.006	12.762	0.011
0:45	14.2562	0.014	13.5024	0.006	13.093	0.006	12.791	0.011

**Tabla 8.- Magnitudes de 121 Hermione “corregidos”**

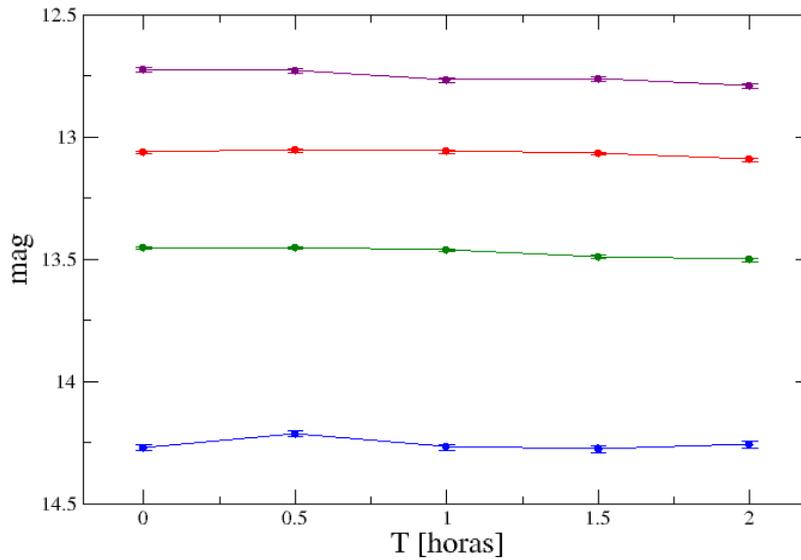
Fuente: elaboración propia, Excel

La Tabla 9 presenta las variaciones de los índices de color (ya corregidos) B-V y V-R a lo largo del tiempo de observación:

Hora Central	V-R	e_V-R	B-V	e_B-V
22:45	0.3914	0.011	0.8178	0.017
23:15	0.3984	0.011	0.7598	0.017
23:45	0.4054	0.011	0.8038	0.018
0:15	0.4224	0.012	0.7848	0.02
0:45	0.4094	0.012	0.7538	0.02
Valor medio	0.4054	0.0114	0.784	0.0184

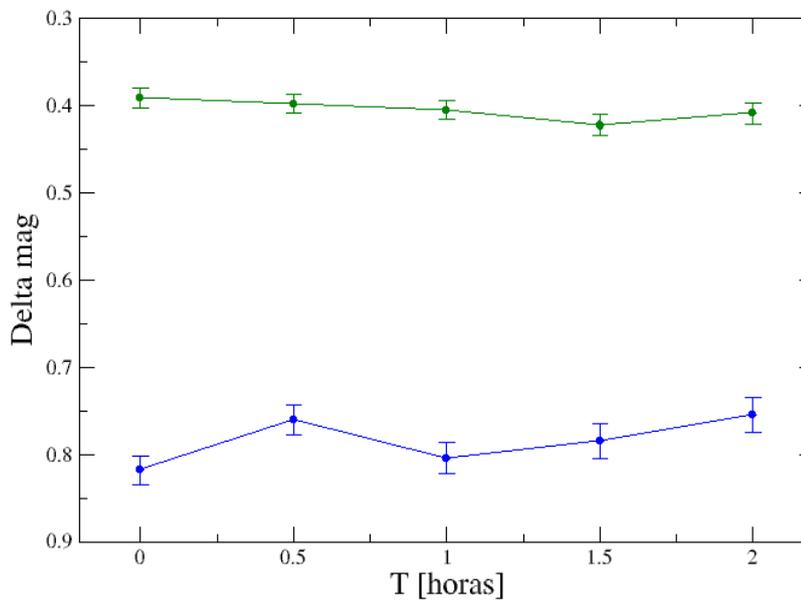
**Tabla 9.- Variaciones de los índices de color B-V y V-R con la corrección**

Fuente: elaboración propia, excel



**Fig 44: Variación de las magnitudes de 121 Hermione a lo largo del tiempo de observación en diferentes filtros (B azul, V verde, R rojo, I morado). Estas variaciones de magnitud son debidas a la rotación del asteroide.**

Fuente: elaboración propia, Excel



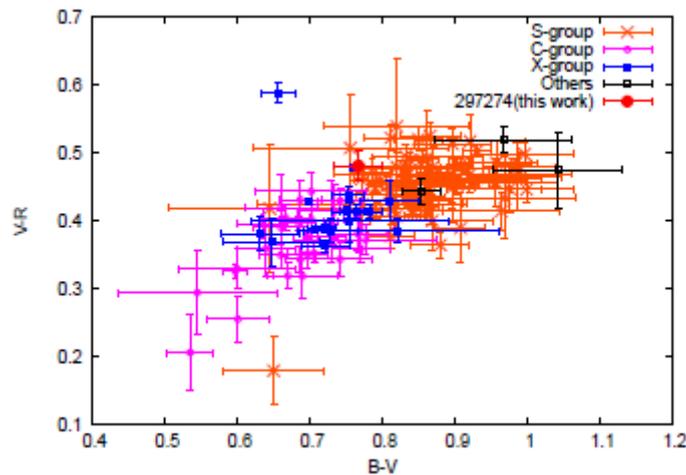
**Fig 45: Variación de los índices de color B-V (azul) y V-R (verde) a lo largo del tiempo de observación.**

Fuente: elaboración propia, excel

### 5.2.5. Interpretación de los resultados obtenidos

Una vez obtenidas las variaciones de los índices de color B-V Y V-R y con la información proporcionada la “base de datos de propiedades físicas y dinámicas de NEAs” publicada por European Asteroid Research Node, se puede clasificar nuestro asteroide 121 Hermione en uno de las siguientes grupos de la taxonomía de Tholen (S, C, G, B, F, A, D, T, E, M, P R, y V).

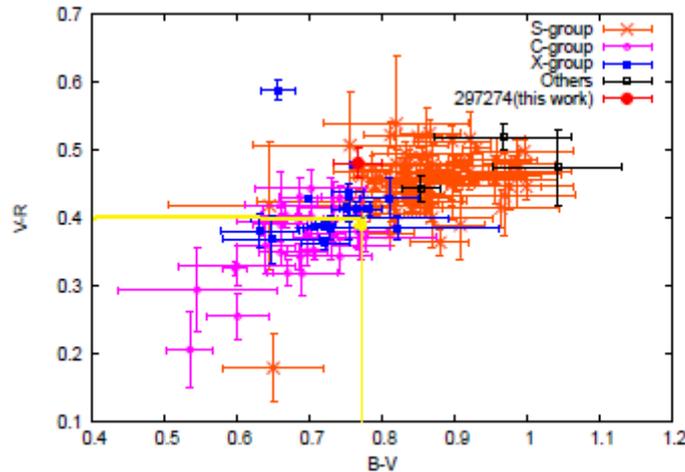
La “base de datos de propiedades físicas y dinámicas de NEAs” se ha dedicado clasificar los asteroides NEAs con índices de color B-V y V-R conocidos produciendo la siguiente gráfica:



**Fig 46: diagrama donde se relacionan los índices de color B-V y V-R con los grupos S, C, X y otros de clasificación de asteroides.**

Fuente: (Betzler et al. 2010; Carbognani 2008; Dandy et al. 2003; Hapke 2000; Hergenrother et al. 2009; Hicks et al. 2011a,b, 2012a,b,c,d,e,f,g,h; Hicks & Dombroski 2012; Hicks et al. 2013a,b; Jewitt & Hsieh 2006; Jewitt 2013; Karashevich et al. 2012; Pieters et al. 2000; Ye 2011).

Con los valores medios obtenidos en la tabla 6 y la figura 16 nuestro asteroide 121 Hermione cae en la región espectral del grupo C, cabe destacar que también cercano a la frontera con el grupo S.



**Fig 47.- La misma figura 46 pero añadiendo 121 Hermione (amarillo)**

Fuente: Paint 3D y (Betzler et al. 2010; Carbognani 2008; Dandy et al. 2003; Hapke 2000; Hergenrother et al. 2009; Hicks et al. 2011a,b, 2012a,b,c,d,e,f,g,h; Hicks & Dombroski 2012; Hicks et al. 2013a,b; Jewitt & Hsieh 2006; Jewitt 2013; Karashevich et al. 2012; Pieters et al. 2000; Ye 2011).

También cabe mencionar que la variaciones de los índices de color aunque no cambia su clase ,C, se podría deber a un cambio de composición del asteroide 121 Hermione. Caso probable al tratarse de un asteroide binario.

## 6. CONCLUSIONES

En conclusión se ha conseguido el objetivo principal que era reproducir la clasificación de Tholen a partir del análisis fotométrico de 5 bandas de colores realizado con un telescopio con cámara CCD, sentando así las bases para futuros trabajos con este tipo de equipamiento.

Este trabajo puede servir de guía para la clasificación de asteroides con este tipo de equipamiento.

El asteroide 121 Hermione se ha clasificado como tipo C (Carbonaceo) según la taxonomía de Tholen tanto en este trabajo como en muchos otros, esto quiere decir que al ser tipo C es muy probable que contenga agua en grandes cantidades aparte de otros elementos interesantes (níquel, hierro, cobalto, nitrógeno, hidrógeno...). El hecho de que contenga agua es vital para cualquier misión que se quiera llevar a cabo ya que sería el combustible de más importancia para la propulsión. Su gran tamaño es otra de las ventajas ya que facilitaría las maniobras en minería a llevar a cabo.

Por lo tanto es un candidato ideal para una misión tanto en materia de investigación como para su explotación.

Desde el punto de vista personal me ha servido para abrirme a una rama del conocimiento muy interesante en la cual no estaba nada versado. También para darme cuenta del potencial real que reside en la minería de asteroides y no solo como una utopía. Es una industria emergente con mucha inversión en la que se podrían obtener resultados rentables a medio o largo plazo.

## 7. LÍNEAS FUTURAS

- Se podrían realizar más observaciones para conseguir una caracterización más precisa. Como en el caso de usar telescopio mayor y mejor ubicado (por ejemplo se podrían conseguir datos en el espectro U o incluso llegar a usar el espectrógrafo).
- Extender el estudio a nuevos asteroides de interés
- Comparar los índices obtenidos para comparar los resultados con bases de datos existentes de minerales para llegar a obtener una caracterización más precisa.
- Proponer nuevos sistemas de clasificación análogos a Tholen pero más adecuados a instalaciones pequeñas con limitaciones como las existentes en el observatorio de EIMEM.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, C., MARTINO, M. DI, SANCTIS, G. DE Y RICCIOLI, D. 1996. Lightcurves, pole directions and shape of asteroids 121 Hermione, 236 Honoria, 287 Nephthys y 377 Campania. *Planetary, space and science*, vol. 44, no. 2, pp. 93-106.
- BROŽ M., VOKROUHLICKÝ D. 2008. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 390, Issue 2, pp. 715-732
- CALVO, G.; MUDD, G.; VALERO, A. y VALERO, A. 2016 Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality?. En *Resources* [en línea]. v.5, n°4. [consulta: 09-05-2018]. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2079-9276/5/4/36>
- GIL HUTTON, R. 1990. B+V photoelectric photometry of asteroids 121 Hermione, 254 Libussa y 354 Eleonora. *Bulletin of the minor planets section of the association of lunar and planetary observers*, vol. 17, no. 4, pp. 40-44.
- HASSELMANN, P.H.; FULCHIGNONI, M.; CARVANO, J.M.; LAZZARO, D.; Y BARUCCI, M.A. (2018). "Characterizing spectral continuity in SDSS u'g'r'i'z' asteroid photometry". En *Astronomy & Astrophysics* [en línea]. [consulta: 09-05-2018]. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1710.01180.pdf>
- LIN, C., IP, W., LIN, Z., FUMI, Y., CHENG Y., 2014. Detection of large color variation in the potentially hazardous asteroid (297274) 1996 SK. *Research in Astronomy and Astrophysics* [en línea], vol. 14, no. 3, pp. 311-318. ISSN 16744527. DOI 10.1088/1674. Disponible en: <http://stacks.iop.org/1674-4527/14/i=7/a=003>
- MARCHIS, F., HESTROFFER, D., DESCAMPS, P., BERTHIER, J., LAVER, C. y DE PATER, I., 2005. Mass and density of Asteroid 121 Hermione from an

analysis of its companion orbit. *Icarus*, vol. 178, no. 2, pp. 450-464. ISSN 00191035. DOI 10.1016/j.icarus.2005.05.003.

MARCHIS F., KAASALAINEN M., HOM E. F. Y., BERTHIER J., ENRIQUEZ J., HESTROFFER D., DE PATER I. (2006). Shape, size and multiplicity of main-belt asteroids I. Keck Adaptive Optics survey. *Icarus*, 185(1), 39–63.

MYERS G, SABO R., SILVIS G. 2014. Guía de fotometría CCD de la AAVSO. Capítulo 3 y 4: Adquisición y procesado de imágenes , pp. 14-44. Traducción por: BENAVIDES R., CEJUDO D., CELIA A., GONZALEZ J., LIMON F., RODRIGUEZ M. Y SALTO J.

THOLEN, D., 1984. ASTEROID TAXONOMY FROM CLUSTER ANALYSIS OF PHOTOMETRY . pp 25-30

DESCAMPS P., MARCHIS F., DURECH J., EMERY J., HARRIS A.W., KAASALAINEN M., BERTHIER J., TENG-CHUEN-YU J.P., PEYROT A., HUTTON L., GREENE J., POLLOCK J., ASSAFIN M., VIEIRA-MARTINS R., CAMARGO J.I.B., BRAGA-RIBAS F., VACHIER F., REICHART D.E., IVARSEN K.M., CRAIN J.A., NYSEWANDER M.C., LACLUYZE A.P., HAISLIP J.B., BEHREND R., COLAS F., LECACHEUX J., BERNASCONI L., ROY R., BAUDOIN P., BRUNETTO L., SPOSETTI S., MANZINI F. 2009. New insights on the binary asteroid 121 Hermione.

NAMOUNI F. MORAIS M.; An interstellar origin for Jupiter's retrograde co-orbital asteroid, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 477, Issue 1, 11 June 2018, Pages L117–L121, <https://doi.org/10.1093/mnrasl/sly057>

Apuntes de la universidad autónoma de Madrid, económicas

## ENLACES WEB

<http://www.areaciencias.com/astronomia/planetas-del-sistema-solar.html>

<http://www.todoelsistemasolar.com.ar/ssolar.html>

<https://geofrik.com/2014/01/27/objeto-transneptuniano/>

[https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/comets\\_bkgd\\_sp.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/comets_bkgd_sp.html)

<http://www.marmet-meteorites.com/id47.html>

<http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2011/09/meteoroides.html>

<http://www.todoelsistemasolar.com.ar/ssolar.htm>

<http://notaculturaldeldia.blogspot.com/2012/05/los-troyanos-son-un-grupo-de-asteroides.html>

<https://solarsystem.nasa.gov/small-bodies/asteroids/in-depth/>

<https://www.space.com/41015-interstellar-visitor-oumuamua-comet-after-all.html>

<https://www.space.com/40643-first-interstellar-immigrant-asteroid-jupiter-orbit.html>

<http://2.bp.blogspot.com/-wCYt8ufDLQ8/UEmNKOU-PYI/AAAAAAAAAKs/5Aly2hQvnoI/s400/galileo+y+telescopio.jpg>

<https://www.astronomiaonline.com/2013/09/la-historia-del-telescopio/>

<https://astroaficion.com/2011/02/22/tipos-de-telescopios/>

<http://www.astronom.net/astronom/temas/telesco/telesco.htm>

[https://www.ecured.cu/C%C3%A1mara\\_CCD](https://www.ecured.cu/C%C3%A1mara_CCD)

[http://bin.aaeivissa.com/Recortes/Familia\\_Asteroides.pdf](http://bin.aaeivissa.com/Recortes/Familia_Asteroides.pdf)

<https://tienda.lunatico.es/Luna-QHY-6-camara-CCD-con-accesorios>

<http://www.aip.de/en/research/facilities/stella/instruments/data/johnson-ubvri-filter-curves>

<http://www.johnstonsarchive.net/astro/astmoons/am-66391.html>

<https://www.minorplanetcenter.net/>

<https://www.aavso.org/ccd-photometry-guide-spanish>

<http://www.spacex.com/>

<https://www.planetaryresources.com/company/timeline/>

<https://deepspaceindustries.com/xplorer/>

<https://cielosestrellados.net/astrofotografia-tecnica-2/>

<http://ftapinamar.blogspot.com/2014/01/monturas-polares-1.html>

<http://www.astrosurf.com/astronosur/monturas.htm>

<https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/espectro-electromagnetico.htm>

[http://www.carlostapia.es/fisica/filtros\\_astronomicos.html](http://www.carlostapia.es/fisica/filtros_astronomicos.html)

[http://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TEA/tea\\_05.pdf](http://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TEA/tea_05.pdf)

[https://www.news-medical.net/life-sciences/Spectroscopy-Applications-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/life-sciences/Spectroscopy-Applications-(Spanish).aspx)

[https://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/IA/IA\\_12\\_espectrometros.pdf](https://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/IA/IA_12_espectrometros.pdf)

<https://www.espectrometria.com/espectrometros>

<http://astro.if.ufrgs.br/levato/instrum9/echelle7.htm>

<https://enroquedeciencia.blogspot.com/2009/09/el-telescopio-de-galileo.html>

<http://www.arauco.org/SAPEREAUDE/optica/imgs/optica2/collections.html>

<http://spalenkaletters.blogspot.com/2012/12/yerkes-observatory-wisconsin-science.html>

<http://observatorio.info/2001/08/el-telescopio-espacial-hubble-en-rbita/>

<https://observatori.uv.es/images/stories/instrum/lhires.pdf>

[https://www.teleskop-express.de/shop/product\\_info.php/language/en/info/p7017\\_Baader-1-25--photometrischer-V-Filter.html](https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/language/en/info/p7017_Baader-1-25--photometrischer-V-Filter.html)

<http://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TRABAJOS/VARIABLES/Monica/fotometria.html>