Now in English

EL SISTEMA SOLAR VISTO DESDE MARTE

INDICE

EL SISTEMA PLANETARIO INTERIOR

Situados en Marte el sistema solar puede dividirse en dos zonas:
El sistema interior:formado por aquellos planetas que giran alrededor del Sol a distancias inferiores a 1.524 U.A.
El sistema exterior formado por aquellos planetas cuya órbita es superior a 1.524 U.A.
El sistema interior estaría formado por Mercurio, Venus y la Tierra; y el exterior por Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón.

Como hipótesis de trabajo supondremos que las órbitas de los planetas poseen una excentricidad (e) igual a cero; lo cual es aceptable para todos los planetas excepto Mercurio (e=.2056) y Plutón (e=.2486).

La ocasión más favorable para observar los planetas interiores se produce en las proximidades de su máxima elongación.

Tal fenómeno se produce cuando el radio vector del planeta (r) forma un ángulo recto con la línea d que une los centros de Marte (M) y el planeta en cuestión (P); r designa la distancia del Sol al planeta. El ángulo OMP es la elongación del planeta. Todo ello se observa en la *figura 1*.

Figura 1

O:Sol
*P M:Marte
r d P:Planeta interno
O*...........................*M d:Dis(P,M)
1.524 UA r:Dis(O,P)

La elongación de un planeta interior oscila entre un valor mínimo el=0, en las conjunciones superior e inferior, y un valor máximo que definiremos en (1); el valor de la elongación máxima depende del tamaño y forma de la órbita y de la distancia del observador.

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

sen(el)=r(UA)/1.524 **(1)**

Haciendo uso de (1) obtengo los valores de la elongación máxima de los planetas interiores y que expresados en la tabla I son:

TABLA I

PLANETA	r(UA)	el máx.	el (Tierra)
Mercurio	0.387	(11.7) 14.7 (17.9)	(18) 22.8 (28)
Venus	0.723	28.3	46.3
Tierra	1.000	41.0	----

Los valores entre paréntesis en la elongación máxima de Mercurio se introduce para poner de manifiesto el efecto de la excentricidad en este planeta. El primer valor corresponde a la situación menos favorable cuando la máxima elongación se produce en el perihelio de Mercurio, y el segundo valor entre paréntesis corresponde a la más favorable coincidiendo con el afelio del planeta.

Se observa en la *tabla I* que la máxima elongación de Venus desde la Tierra es muy parecida que ésta desde Marte.

Figura 2

```
+P d O:Sol
M:Marte
  r   1.524UA P:Planeta interno
O++----------------++M d:Dis(P,M)
r:Dis(P,O)
```

Puede observarse el planeta *P* en una posición arbitraria de su órbita. Al ángulo *OPM* se conoce con el nombre de ángulo de *fase (f)* y corresponde a la fracción iluminada del disco del planeta visible desde Marte (k), matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$k=\cos^2(f/2) \quad \mathbf{(2)}$$

Tanto la elongación como el ángulo de fase varían con el tiempo, y por tanto, darán lugar al *fenómeno de las fases*.

Figura 3

```
                 2. Pos. f        k
           3.      O*    .1        .M 1  180   0
         4.                 2    90     0.5
3    0      1.0
4   90      0.5
```

Se observa las diferentes fases que se observarían desde Marte el planeta interior, *P*. Las mejores condiciones serían con fases de cuarto creciente o menguante y con una fracción iluminada del 50%.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

TAMAÑO APARENTE DE LOS PLANETAS INTERIORES

Figura 4

```
Figura 4     R CP:Centro del planeta
s R:Radio del planeta
   CP                          d:Dis(CP,M)
+--------d------+*M      s:Ang(R,M,CP)
```

En la *figura 4* se muestra la relación existente entre el semidiámetro angular del planeta *(s)*, su radio *(R)* y la distancia Marte-Sol *(d)* del mismo.

Supondremos que la observación de estos planetas se realiza en las mejores condiciones que corresponden a la máxima elongación. Considerando la *figura 1* tenemos que en la elongación máxima la distancia Marte-planeta viene dada por:

$$d=r/\tan(el) \quad \mathbf{(3)}$$

donde d y r vienen dadas en UA.

Mediante la expresión de la figura 4 y (3) obtenemos el semidiámetro aparente del planeta:

$$\tan(s)=R(Km)/(d*1.495*10^8) \quad \mathbf{(4)}$$

Combinando *(3) y (4)* obtenemos la siguiente tabla:

TABLA II

Astro	R(Km)	r(UA)	d(UA)	s(")	d(")
Sol	695.980	1.524	-----	10'30"	21'00"
Mercu	2.440	0.387	1.474	2'28"	4'57"
Venus	6.052	0.723	1.341	6'23"	12'46"
Tierra	6.378	1.000	1.150	7'65"	15'30"

A la vista de la tabla II el diámetro solar disminuye unos 10', Mercurio se presenta parecido al diámetro de Urano y el de Venus y la Tierra parecidos al de Saturno, por supuesto debe ser un espectáculo precioso el observar estos dos planetas y sobre todo la Tierra ya que se podría ver perfectamente los cambiantes fenómenos de nuestra atmósfera, así como los mares y los continentes, todo un espectáculo.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

---

MAGNITUD DE LOS PLANETAS INTERIORES

Vamos a calcular la magnitud de los planetas interiores vistos desde Marte. Nos basaremos para empezar en la *fórmula de Pogson:*

$$mv-mv_0=-2.5\log(e/e_0) \quad \textbf{(5)}$$

que relaciona dicha magnitud *(m)* con el flujo de radiación luminosa *(e),* que procedente de dichos planetas es recibida sobre la superficie de Marte. Tal flujo viene expresado por la siguiente formula:

$$e=2*pi*R^2*kAvE_0/(4*pi*d^2) \quad \textbf{(6)}$$

donde *k i*ndica la fracción iluminada del disco del planeta visible desde Marte, Av describe la fracción de energía (en las longitudes de onda del visible) reflejada por el planeta hacia todas las direcciones del espacio respecto de la energía solar incidente sobre el mismo *(albedo de Bond)* y Eo es el flujo de energía solar recibido sobre la superficie del planeta, el cual viene dado por:

$$E_0=L_0/4*pi*r^2 \quad \textbf{(7)}$$

siendo Lo la luminosidad balométrica del Sol y r la distancia heliocéntrica del planeta.
Consideremos como hipótesis de trabajo que el planeta a estudiar se halla a 1 UA tanto del Sol (r=1) como de Marte (d=1) y que muestra su disco completamente iluminado (k=1), hipótesis irreal, pero tiene la gran ventaja de acortar cálculos. Debido a la fórmula de Pogson que requiere dos medidas diferentes de flujo, *e* y *eo*, resulta inevitable la elección de algún valor de referencia para la medida de flujo luminoso.
Bajo estas condiciones, el flujo procedente del planeta captado por un observador sobre Marte es:

$$e_0=(2*pi*R^2*A_v*E'_0)/4pi \quad \textbf{(8)}$$

$$E'_0=L_0/4*pi \quad \textbf{(9)}$$

La magnitud del planeta correspondientes a las condiciones anteriores la denotamos por mv_0.
Combinando (6) y (8) obtenemos:

$$e/e_0=((E_0/E'_0)*k)/d^2 \quad \textbf{(10)}$$

por otra parte, de (7) y (9) obtenemos:

$$E_0/E'_0=1/r^2 \quad \textbf{(11)}$$

de donde sustituyendo (11) en (10) tenemos la relación de flujo que es:

$$e/e_0=(1/r^2*k)/d^2 \quad \textbf{(12)}$$

Se observa que únicamente depende de la fracción iluminada visible desde Marte y la relación de distancias de Marte al planeta y de estos al Sol. Si sustituimos (12) en la fórmula de Pogson obtenemos la siguiente relación:

$$mv=mv_0+5\log(dr)-2.5\log(k) \quad \textbf{(13)}$$

El último sumando corresponde a una corrección que tiene en cuenta la fase que nos muestra, y que cambia con el movimiento orbital del planeta y Marte.
En este caso, nos encontramos en la situación de elongación máxima, por tanto, k=0.5. Con estos datos la expresión (13) se reduce a:

$$mv=mv_0+0.75+5\log(dr) \quad \textbf{(14)}$$

Mediante la expresión *(14)* y conocidas mvo de los planetas en cuestión, la magnitud que nos muestra desde Marte viene dada en la tabla III.

TABLA III

Planeta	mvo	r(UA)	d(UA)	mv
Mercurio	-0.38	0.387	1.474	-0.83
Venus	-4.29	0.723	1.341	-3.61
Tierra	-3.90	1.000	1.150	-2.84

Se observa un parecido entre Venus y la Tierra muy superiores a alfa Canis Majoris de magnitud -1.4, con la particularidad de que aparece más brillante Venus que se halla más lejos de Marte que la Tierra, debido principalmente a su densa atmósfera. Mercurio se presenta muy interesante en la observación de sus fases.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

BRILLO DE LOS PLANETAS EXTERIORES

La observación más favorable para observar los planetas exteriores tiene lugar con una elongación el=180°.

Figura 5

```
+-----1.524UA----++-----------d---------+
          S*                .M                    .P
+---------------------r-----------------+
```

En la *figura 5* se muestra la posición del Sol, Marte y un planeta exterior; como el ángulo de fase f=0 aplicando (2) obtenemos que la fracción iluminada del disco k=1, con lo cual en la oposición, el planeta se presenta "lleno".
Aplicando k=1 en la fórmula (13) obtenemos:

$$mv=mv_0+5\log(dr) \quad \textbf{(15)}$$

donde al igual que en la anterior, hemos eliminado el término correspondiente a la corrección debida a la fase. De la *figura 5* se desprende la relación entre d y r que es:

$$d=r-1.524 \text{ (UA)} \quad \textbf{(16)}$$

donde d y r vienen dadas en UA.
Finalmente sustituyendo (16) en (15) obtenemos:

$$mv=mv_0+5\log r(r-1.524) \quad \textbf{(17)}$$

Aplicando (17) y conocidas las mvo puede calcular las magnitudes que presentan los planetas exteriores en la oposición y que vienen dadas en la *tabla IV*.

TABLA IV

Planeta	*mvo*	*r(UA)*	*mv*
Júpiter	-9.46	5.052	-3.21
Saturno	-9.00	9.554	0.42
Urano	-7.15	19.218	5.50
Neptuno	-6.90	30.109	7.77
Plutón	-1.01	39.533	14.87

Se observa que el brillo de los planetas exteriores aumenta en relación con la magnitud vista desde la Tierra, en este caso es ventajosa trasladarse al planeta rojo; aunque Plutón sigue presentándose inaccesible para los telescopios de los aficionados.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

TAMAÑO APARENTE DE LOS PLANETAS EXTERIORES

```
                    r-1.524UA
  +-----------------+ R:Radio del planeta
M* CP CP:Centro del  planeta
M:Marte
s:Ang(R,M,r-1.524)
                                    R
```

En la oposición, el semidiámetro angular aparente del planeta viene dado por:

$$\tan(s)=R/(r-1.524) \quad \textbf{(18)}$$

o también de la siguiente forma:

$$\tan(s_0)=R(Km)/(r-1.524)*1.495*10^8 \quad \textbf{(19)}$$

Utilizando (19) obtengo los siguientes resultados:

TABLA V

Planeta	Radio(Km)	r-1.524	s(")	d(")
Júpiter	71.398	3.679	26.78	53.55
Saturno (dis)	60.000	7.850	10.55	21.09
Saturno (ani)	136.200	7.850	23.94	47.88
Urano	24.760	17.514	1.95	3.90
Neptuno	24.300	28.405	1.18	2.36
Plutón	2.150	37.829	0.08	0.16

A la vista de los resultados Neptuno y Plutón se presentan muy parecidos que en la Tierra, sobre todo Plutón que en su diámetro no llega ni a dos décimas de segundos de arco; el resto de los planetas se presentan ligeramente superior destacando Júpiter con un diámetro de casi 1'.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

SISTEMA TIERRA-LUNA

La Luna tiene la particularidad de que su período de traslación coincide con el período de rotación sobre su propio eje de tal forma que presenta la misma cara de su superficie para un observador terrestre.

Por otra parte, desde Marte la Luna tiene la particularidad de ser el único satélite inferior, y como tal, desde Marte tanto la Tierra como la Luna presentan fases diferentes en función de la disposición del Sol y el sistema Tierra-Luna.

Figura 7

```
                    +L                   O:Sol
  f1                +T        f2              M:Marte
                                              T:Tierra
O*                        *M       L:Luna
                                          f1:Ang(OLM)
                                       f2:Ang(OTM)
```

En la figura 7 muestra la disposición relativa que el sistema Tierra-Luna presenta para un observador en Marte *(M)* con respecto al Sol *(O)* en un instante arbitrario.
d indica la distancia entre Marte y la Tierra, *l* la de Marte a la Luna, *ls* la de la Luna al Sol, *f1* el ángulo de fase lunar y *f2* el ángulo de fase terrestre.

Por otra parte, como el período sideral de la Luna es considerablemente menor que el terrestre, un observador marciano detectaría una completa variación de las fases de la Luna durante el cual la fase de la Tierra apenas variaría.

Figura 8

```
              RL:Radio Luna
D               RT:Radio Tierra
        RL                    h:Dis. geocéntrica de Luna
       B      s      hd:Dis. superfic. Tierra-Luna
    h  hd       a            C:Centro de la Tierra
                  f               D:Centro de la Luna
       RT A          s:Ang(DMB)
          C                   f:Ang(BMA)
              a:Ang(DMC)
```

La *figura 8* nos muestra la disposición telescópica del sistema Tierra-Luna observado desde Marte, en la que la dirección del vector Tierra-Luna es perpendicular a la recta que une los centros de la Tierra y Marte, s es el semidiámetro lunar aparente desde Marte (M), f la separación angular entre las superficies de ambos astros y a la distancia angular entre los centros de la Tierra y la Luna.

Debido a las enormes distancias consideramos los ángulo ACM y DBM como rectos, bajo esta hipótesis el semidiámetro aparente lunar se obtiene a partir de la expresión (4) introduciendo el radio lunar, d corresponde al instante de la máxima elongación del Planeta Tierra; también nos permite calcular las distancias angulares f y a. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla VI.

TABLA VI

Diámetro lunar aparente	4'17"	h=384.403Km
Diámetro terrestre aparente	15'30"	hd=375.927Km
Dis. angular superficies	15'02.00"	RT=6.378Km
Dis. angular centros	15'22.34"	RL=1.738Km

A la vista de los resultados, el diámetro lunar aparente disminuye considerablemente, siendo ligeramente superior el de Urano visto desde Marte, por otra parte, la distancia angular entre las superficies es considerablemente suficiente como para distinguir ambos cuerpos con telescopios, debe ser impresionante observar un sistema doble formado por un planeta azul y una componente blanca de magnitud variable.

Las fases de la Luna se observarían no sin dificultad desde Marte observándose una variación de la magnitud del satélite. Dicha variación vendrá descrita a través del término de corrección debido a la fase que aparece en la expresión (13). Expresando la fracción iluminada del disco (k) en términos del ángulo de fase por medio de la fórmula (2) obtenemos la magnitud lunar mediante la siguiente expresión:

$$mv=mv_0-5\log(\cos(f/2))+5\log(hd*l) \quad \textbf{(20)}$$

Como primera aproximación tomamos hd=1 y l=d. Suponiendo que las observaciones se realizan próximas a la máxima elongación de la Tierra; d la tomamos como d=1.150UA y sustituyendo estos valores en (20) obtenemos la fórmula:

$$mv=0.51-5\log\cos(f/2) \quad \textbf{(21)}$$

de donde mv_0 *lunar* corresponde a +0.21.

Para estudiar la variación de la fase lunar consideramos a la Tierra inmóvil en el espacio y a la Luna orbitando en torno a ella describiendo una trayectoria circular, aunque resulte un tanto forzada dicha posición resulta conveniente para simplificar cálculos.

Figura 9

```
                                            T:Tierra
          C+            +B                    M:Marte
               *T                            O:Sol
          D+            +A                     f1:Ang(MAO)
O*                             *M              f2:Ang(MBT)
                                            f3:Ang(TCO)
                                            f4:Ang(TOM)
```

En la *figura 9* se muestra la posición de la Tierra en la máxima elongación y la órbita lunar entorno a ella. Las posiciones A, B, C, y D corresponden a cuatro configuraciones características de la Luna a lo largo de su órbita. Los ángulos de fases correspondientes son *f1, f2, f3 y f4* respectivamente.

El ángulo de fase mostrado por la Tierra en la elongación máxima será de 90. Por tanto, los ángulos de fases lunares f2 y f4 pueden considerarse en primera aproximación como ángulos rectos debido a la gran distancia existente entre Marte y el sistema.

Figura 10

```
          C+                                 M:Marte
               *T                            T:Tierra
                       +A                    a:Ang(OAT)
O*                             *M              b:Ang(TOA)
                                            d:Dis(AT)
```

En la *figura 10 d* denota la distancia geocéntrica lunar. Como los triángulos COT y AOT son iguales verifica que *a=f3*, observando la figura se puede advertir que *f1=180º-a.* Por otra parte, dado que la suma de los ángulos de un triángulo es igual a dos rectos se verifica la relación entre a y b, a+b-90º. El ángulo *b* puede determinarse a partir de la tangente del triángulo rectángulo AOT, de manera que:

$$b=\tan^{-1} d/1.495 \cdot 10^{8}= 0.147^\circ \quad \textbf{(22)}$$

por tanto:

$$a=90-b=89.853^\circ \quad \textbf{(23)}$$

Finalmente los ángulos de fases buscados son:

$$f_3=a=89.853^\circ \quad \textbf{(24)}$$

$$f_1=180^\circ-a=90.147^\circ \quad \textbf{(25)}$$

Sustituyendo los valores obtenidos para los ángulos de fases en la fórmula (21) se obtiene los valores de la magnitud lunar en las posiciones A, B, C y D indicadas en la tabla VII

TABLA VII

Pos. orb.	Ang. f(º)	mv
A	90.147	1.265
B	90.000	1.263
C	89.853	1.260
D	90.000	1.263

A la luz de los resultados vemos que la fase lunar varía muy poco debido a su movimiento orbital alrededor de la Tierra. En realidad, debido al movimiento de traslación terrestre alrededor del Sol durante un período sidéreo lunar, estas variaciones de fases se verán ligeramente incrementadas respecto a los valores de la Tabla VII.

La detección de la variación de las fases de la Luna exigiría la técnica fotométrica capaz de apreciar diferencias del orden de milésimas. Por tanto, la magnitud lunar puede presentarse constante o igual a la magnitud de +1.26; cuando en estos casos la Tierra presenta un brillo de -2.84. Todo un espectáculo garantizado.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos

SISTEMA DEIMOS-FOBOS

El período orbital de Fobos es de 7h.39m., esto conlleva que un observador situado en Marte vería salir a Fobos por el oeste, moviéndose rápidamente, y desplazándose hacia el este; en cambio, Deimos con un período de 30h.18m. se desplazaría de este a oeste en aproximadamente 60h.

Como las órbitas de estas dos lunas están sobre el plano del ecuador marciano y muy cerca de la superficie ninguno de los dos satélites sería visible desde los polos; para observar Deimos el observador debe estar a una latitud inferior a 82° y para ver Fobos inferior a 69°.

Consideramos como hipótesis de trabajo que la observación de estos satélites se efectúa en la oposición en relación con el Sol, por tanto, observaríamos a primera vista Deimos y Fobos "llenos" aunque se da las circunstancias que en la oposición la distancia de ambas lunas a la superficie de Marte es inferior a la sombra que proyecta el planeta en su órbita, por tanto, observaríamos continuos eclipses de lunas.

La figura correspondiente a lo descrito anteriormente es equivalente a la *figura 5,* haciendo uso de k=1 en la expresión (13) se obtiene (15), de la figura se desprende que d representa la distancia existente entre las lunas y la superficie de Marte. La distancia heliocéntrica a las lunas será:

$$r=1.524+d \quad \textbf{(26)}$$

donde r y d se dan en UA.

Aplicando (26) en (15) se obtiene:

$$mv=mv_0+5\log d(1.524+d) \quad \textbf{(27)}$$

Aplicando (27) y conociendo la magnitud de referencia mvo calculamos la magnitud aparente de las lunas vistas desde un punto del ecuador de Marte que queda reflejado en la tabla VIII.

TABLA VIII

Luna	mvo	d(Km)	r(UA)	mv
Fobos	13.68	5.900	1.5240	-7.42
Deimos	14.51	19.800	1.5241	-3.96

Puede observarse que desde la superficie de Marte, Fobos se presenta muy brillante del orden de varias magnitudes inferior al brillo de la Luna, por otra parte, Deimos luce una magnitud muy semejante a la de Venus vista desde la Tierra, debe ser impresionante y llamativo observar desde la superficie de Marte estas dos lunas.

Ambas lunas asteroidales se asemejan no sin dificultad a elipsoides con dimensiones que en Fobos son 27x21x19 Km y en Deimos son de 15x12x11 Km de diámetro; ambas lunas giran sincrónicamente en su revolución en torno a Marte, es decir, presentan la misma cara para un observador situado en la superficie de Marte.

Para calcular el semidiámetro angular aparente de las lunas nos basaremos en la observación de los satélites en la oposición o fase "llena" de estas.

El semidiámetro vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$\tan(s)=R/d \quad \textbf{(28)}$$

donde d representa la distancia entre las lunas y la superficie de Marte. Ambos satélites tienen forma elipsoide para ello como presentan la misma cara al planeta consideramos a Fobos con un radio de 10.5Km y a Deimos de 6.0Km.

Aplicando (28) obtengo los siguientes resultados:

TABLA IX

Luna	Radio(Km)	d(Km)	s(")	d(")
Fobos	13.5x10.5x9.5	5.900	6'07.08"	12'14.16"
Deimos	7.5x6.0x5.5	19.800	1'02.05"	2'05.01"

Los resultados indican que en la superficie de Marte se observa diámetros angulares pequeños sobre todo el de Deimos, aunque no por ello resta expectacularidad a la observación principalmente telescópica de ambas lunas, mirando sucesivos y rápidos cambios de fases.

Incluyendo en cada fase sucesivos eclipses de lunas llenas, todo un fenómeno de diversificación.

El sistema planetario interior	Tamaño aparente de los planetas interiores	Magnitud de los planetas interiores	Brillo de los planetas exteriores	Tamaño aparente de los planetas exteriores	Sistema Tierra-Luna	Sistema Deimos-Fobos