Universitat Oberta de Catalunya

www.uoc.edu

ANEXO:

- AMPLIACIÓN DE ALGORITMOS ASTRONÓMICOS
- GUÍAS DE USO DE LOS PROGRAMAS

Germán Núñez Ordiz

Consultor: Xavier Navarro Esteve

Ingeniería Técnica en Informática – 2011/12

Índice

Anexo I: Ampliación de algoritmos astronómicos

1.- El tiempo:

1.1- La fecha Juliana:

La fecha juliana o día juliano (JD) es el cómputo de días y fracciones transcurridos desde el año -4713 (4713 a.C.) a las 12 del mediodía (puesto que en esa época los días empezaban en mediodía), hasta una fecha y hora determinada. Con él podremos representar una época astronómica en forma de fecha juliana con 1 milisegundo de precisión.

En 1582 ocurre la Reforma Gregoriana por la que se suprimen como años bisiestos los años seculares no divisibles por 400 (así 1700, 1800 y 1900 dejan de ser bisiestos) y además se suprimen 10 días, los que van del 4 al 14 de octubre de 1582. El calendario es el juliano si la fecha es anterior al 04/10/1582 y el gregoriano si es posterior al 15/10/1582. Por ello el algoritmo ha de diferenciar entre si la fecha que está transformando en fecha juliana corresponde al calendario juliano o al calendario gregoriano.

A continuación se muestra el algoritmo que da la fecha juliana “JD”;

1. Se asignarán los siguientes valores a variables de tipo **double** como sigue:

$$Y = número\ del\ año.$$

$$M = al\ número\ de\ mes\ (para\ enero\ M = 1, \dots, para\ diciembre = 12)$$

$$D = al\ día\ y\ la\ hora\ del\ mes\ expresada\ en\ fracciones\ de\ día.$$

   Si *“M”* es menor a 2 se remplaza *“Y”* por *“Y-1”* y *“M”* por *“M+12”*, sino, *“Y”* y *“M”* se dejan inalteradas.

2. Habrá que distinguir entre si la fecha a calcular pertenece al calendario juliano o gregoriano:
   a. Si la fecha es posterior al 04/10/1582, entonces el calendario es gregoriano y se tiene que:

$$B = 2 - A + INT\left(\frac{A}{4}\right)$$

   Donde:

$$A = INT\left(\frac{Y}{100}\right)$$

b. Si la fecha es anterior al 04/10/1582, entonces el calendario es juliano y se tiene que:

$$B = 0$$

3. La fecha juliana "JD" se calculará mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{JD = INT\big(365.25 * (Y + 4716)\big) + INT\big(30.6001 * (M + 1)\big) + D + B - 1524.5}$$

Donde la expresión *"INT( )"* se refiere a coger la parte entera del resultado de la operación que se le asocie, es decir, a la operación de truncar a la parte entera de un número.

1.2.- Pasar de fecha Juliana a fecha de calendario:

El presente apartado describe el algoritmo a seguir para pasar de una fecha Juliana dada a la fecha de calendario que le corresponda y además indicar el día de la semana que tiene esta.

Este algoritmo es válido tanto para años positivos (después de Cristo) como negativos (antes de Cristo) siempre y cuando produzcan fechas Julianas positivas (nunca negativas). A continuación se muestra el algoritmo implementado en el siguiente método estático escrito en C#:

```
        private static DateTime CalcularFecha(double JD)
         {
             DateTime Fecha = new DateTime();
             double Alf, A, B, C, D, E, F, Z, dia, mes, ano,
hora, minuto, segundo;
             dia = mes = ano = 0;
             JD = JD + 0.5D;
             Z = Mates.Truncar(JD);
             F = JD % 1;
             if (Z >= 2299161D)
             {
                 Alf   =   Mates.Truncar((Z   -   1867216.25D)   /
36524.25D);
                 A = Z + 1D + Alf - Mates.Truncar(Alf / 4);
             }
             else
             {
                 A = Z;
             }
             B = A + 1524D;
             C = Mates.Truncar((B - 122.1D) / 365.25D);
             D = Mates.Truncar(365.25D * C);
             E = Mates.Truncar((B - D) / 30.6001D);
             dia = B - D - Mates.Truncar(30.6001D * E) + F;
```

```
            if (E < 14D)
            {
                mes = E - 1;
            }
            else if (E == 14D || E == 15D)
            {
                mes = E - 13D;
            }
            if (mes > 2)
            {
                ano = C - 4716D;
            }
            else if (mes == 1D || mes == 2D)
            {
                ano = C - 4715D;
            }
            hora = (dia - Mates.Truncar(dia)) * 24d;
            minuto = (hora - Mates.Truncar(hora)) * 60d;
            segundo = (minuto - Mates.Truncar(minuto)) * 60d;
            Fecha    =    new    DateTime(Convert.ToInt32(ano),
Convert.ToInt32(mes),       Convert.ToInt32(Mates.Truncar(dia)),
Convert.ToInt32(Mates.Truncar(hora)),
Convert.ToInt32(Mates.Truncar(minuto)),
Convert.ToInt32(Mates.Truncar(segundo)));
            return Fecha;
        }
```

1.3.- UTC y TD:

La hora *UTC* viene de; *Universal Time Coordinated,* mientras que la hora *TD* es el; *"Tiempo dinámico"* o también conocido como *TDT (Tiempo Dinámico Terrestre)* o a veces abreviado a *TT (Tiempo Terrestre).* La diferencia entre uno y otro es crucial para aplicar los modelos de predicción de la posición de los astros que en apartados posteriores se explicarán.

El tiempo universal coordinado, consiste en el tiempo real (el que sucede) pero referido a la posición de la tierra con los otros astros y muy especialmente con el Sol medio, esto hace que cada *x* período de tiempo deba de ajustarse el tiempo "real" con el observado, por ello se deberán añadir o restar a este una cantidad de tiempo para *coordinar* el tiempo real con el que aparentemente debería de estar sucediendo. Sin embargo, como estamos usando un modelo matemático de predicción de los astros en el que el tiempo se toma como algo continuo no podremos encontrar saltos temporales en determinados puntos y es por esto que el tiempo *UTC* no servirá en la mayoría de los cálculos a realizar para obtener las efemérides de los astros, lo que supone que tendremos que convertirlo a otro denominado como *TD* o *TDT*.

El TD o TDT es el "*Tiempo Dinámico* o "*Terrestrial Dynamic Time"*, antiguamente denominado tiempo de Efemérides, este es, aquel que sucede realmente. Es decir, es el tiempo contado de forma continua por un reloj atómico. Es decir, no hay saltos, siempre será constante y por ello no se añadirán ni quitarán segundos para hacer coincidir eventos astronómicos con el tiempo civil, como era el caso del UTC.

El salto temporal que se produce en UTC se denomina como *"Delta de T"* (ΔT) y es aquella porción de tiempo que hay que añadir al tiempo UTC para convertirlo en TD, es decir:

$$\Delta T = TD - UTC\ [seg.]$$

Predecir ΔT con exactitud no es posible, pero si existen modelos de predicción para intervalos de tiempos futuros no muy lejanos que dan una aproximación lo suficientemente válida como para ser usados.

El programa utiliza el tiempo expresado en TD como sistema de referencia para calcular las efemérides de los astros, sin embargo, como el usuario no tiene porqué conocer este, ni el valor de ΔT, el propio programa es capaz de dada una fecha UTC convertirla a TD para poder trabajar con ella. Para esto, se aplica una tabla de valores históricos conocidos de ΔT para fechas comprendidas en años pasados y para los años venideros, se obtiene ΔT aplicando un modelo de predicción publicado por la NASA que calcula ΔT hasta el año 2150 con una precisión de aproximadamente ± 2 segundos, mientras que a partir del 2150 el modelo puede inducir un error mucho mayor.

La tabla de valores históricos conocidos de ΔT (expresada en segundos) que la aplicación utiliza es la siguiente:

Año	**ΔT**	**Año**	**ΔT**	**Año**	**ΔT**	**Año**	**ΔT**
1620	121	1676	18	1838	5.3	2000	63.8
1622	112	1678	16	1840	5.4	2001	64.09
1624	103	1680	14	1842	5.6	2002	64.3
1626	95	1682	12	1844	5.9	2003	64.47
1628	88	1684	11	1846	6.2	2004	64.57
1630	82	1686	10	1848	6.5	2005	64.69
1632	77	1688	9	1850	6.8	2006	64.85
1634	72	1690	8	1852	7.1	2007	65.15
1636	68	1692	7	1854	7.3		
1638	63	1694	7	1856	7.5		
1640	60	1696	7	1858	7.6		
1642	56	1698	7	1860	7.7		
1644	53	1700	7	1862	7.3		
1646	51	1702	7	1864	6.2		
1648	48	1704	8	1866	5.2		
1650	46	1706	8	1868	2.7		
1652	44	1708	9	1870	1.4		
1654	42	1710	9	1872	-1.2		
1656	40	1712	9	1874	-2.8		
1658	38	1714	9	1876	-3.8		
1660	35	1716	9	1878	-4.8		
1662	33	1718	10	1880	-5.5		
1664	31	1720	10	1882	-5.3		
1666	29	1722	10	1884	-5.6		
1668	26	1724	10	1886	-5.7		
1670	24	1726	10	1888	-5.9		
1672	22	1728	10	1890	-6		
1674	20	1730	10	1892	-6.3		
1676	18	1732	10	1894	-6.5		
1678	16	1734	11	1896	-6.2		
1680	14	1736	11	1898	-4.7		
1682	12	1738	11	1900	-2.8		
1684	11	1740	11	1902	-0.1		
1686	10	1742	11	1904	2.6		
1688	9	1744	12	1906	5.3		
1690	8	1746	12	1908	7.7		
1692	7	1748	12	1910	10.4		
1694	7	1750	12	1912	13.3		
1696	7	1752	13	1914	16		
1698	7	1754	13	1916	18.2		
1700	7	1756	13	1918	20.2		
1702	7	1758	14	1920	21.1		
1704	8	1760	14	1922	22.4		
1706	8	1762	14	1924	23.5		

1708	9	1764	14	1926	23.8
1710	9	1766	15	1928	24.3
1712	9	1768	15	1930	24
1714	9	1770	15	1932	23.9
1716	9	1772	15	1934	23.9
1718	10	1774	15	1936	23.7
1720	10	1776	16	1938	24
1722	10	1778	16	1940	24.3
1724	10	1780	16	1942	25.3
1726	10	1782	16	1944	26.2
1728	10	1784	16	1946	27.3
1730	10	1786	16	1948	28.2
1732	10	1788	16	1950	29.1
1734	11	1790	16	1952	30
1736	11	1792	15	1954	30.7
1738	11	1794	15	1956	31.4
1740	11	1796	14	1958	32.2
1742	11	1798	13	1960	33.1
1744	12	1800	13.1	1962	34
1746	12	1802	12.5	1964	35
1748	12	1804	12.2	1966	36.5
1750	12	1806	12	1968	38.5
1752	13	1808	12	1970	40.2
1754	13	1810	12	1972	42.2
1756	13	1812	12	1974	44.5
1758	14	1814	12	1976	46.5
1760	14	1816	12	1978	48.5
1762	14	1818	11.9	1980	50.5
1764	14	1820	11.6	1982	52.2
1766	15	1822	11	1984	53.8
1768	15	1824	10.2	1986	54.9
1770	15	1826	9.2	1988	55.8
1772	15	1828	8.2	1990	56.9
1774	15	1830	7.1	1992	58.3
1776	16	1832	6.2	1994	60
1778	16	1834	5.6	1996	61.6
1780	16	1836	5.4	1998	63

(Para los años que no aparezcan en la tabla y los cuales queden comprendidos dentro de los años tabulados en la tabla; ΔT se calculará interpolando entre los años anterior y posterior más próximos que sí aparezcan en la anterior tabla.)

Para calcular el valor de ΔT en fechas futuras se utiliza el modelo de predicción de la NASA, anteriormente mencionado, que a continuación se explica:

1. Se calcula "y", como sigue:

$$y = A + \frac{M - 0.5}{12}$$

Donde:

$A = número\ del\ año\ en\ que\ se\ quiere\ predecir\ \Delta T.$
$M = número\ del\ mes\ del\ año\ en\ que\ se\ quiere\ predecir\ \Delta T.$

2. Hasta el año 2050, ΔT se calcula como:

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 * \varphi + 0.005589 * \varphi^2 \quad [seg.]$$

$Donde;$
$\varphi = y - 2000$

3. A partir del año 2050 y hasta el año 2150, se calculará como:

$$\Delta T = -20 + 32 * \left(\frac{y - 1820}{100}\right)^2 - 0.5628 * (2150 - y) \quad [seg.]$$

4. Y a partir del año 2150, se calculará como:

$$\Delta T = -20 + 32 * \left(\frac{A - 1820}{100}\right)^2 \quad [seg.]$$

Donde *A* se define como en el punto 1.

1.3.1.- JD y JDE:

Como se ha explicado en el anterior apartado, es distinta una fecha expresada en UTC a otra igual pero expresada en TD. Así pues;

18/08/2009 17:21:06 [UTC]

18/08/2009 17:21:06 [TD]

Son dos fechas distintas, ya que corresponderán a instantes de tiempo diferentes, que a su vez se diferenciarán el uno del otro por lo que valga en ese momento ΔT (ver apartado anterior). Obsérvese que tan solo expresarán el mismo instante de tiempo si se da la casualidad que para ese momento; $\Delta T = 0$.

Pues bien, si convirtiéramos las dos fechas anteriores a fechas julianas (tal y como se explicó en el **punto 1.1**) obtendríamos el mismo valor numérico, puesto que las dos en valor son idénticas y tan solo se diferencian en la escala de tiempo usada. Esto significaría que no podríamos diferenciar cuál de las dos fechas julianas correspondía a la UTC y cual a la TD, lo que nos podría inducir errores en muchas ocasiones. Para evitar esta clase de confusiones y otras varias, a partir de ahora se usará la siguiente nomenclatura al expresar el valor de una *fecha juliana*:

- $\boldsymbol{JD}$: cuando la fecha que pasemos a *fecha juliana* venga de una fecha dada en UTC.

- $\boldsymbol{JDE}$: cuando la fecha que pasemos a *fecha juliana* venga de una fecha dada en TD.

Así pues, para el ejemplo anterior tendríamos:

18/08/2009 17:21:06 [UTC] → *2455062,22298611* $[\boldsymbol{JD}]$

18/08/2009 17:21:06 [TD] → *2455062,22298611* $[\boldsymbol{JDE}]$

Por tanto, si dada una fecha UTC queremos calcular su JDE, deberemos de pasarla primero a TD (mediante lo explicado en el **punto 1.3**), y luego, de esta, calcular la fecha JDE que le corresponda mediante el algoritmo de cálculo de la fecha juliana explicado en apartados anteriores. Y viceversa, si dada una fecha en TD queremos calcular su JD deberemos de pasarla primero a UTC (mediante lo explicado en el **punto 1.3**), y luego, de esta, calcular la fecha JD que le corresponda mediante el algoritmo de cálculo de la fecha juliana explicado en apartados anteriores.

<u>*Por ejemplo*</u>: Si queremos hallar la fecha juliana expresada en JDE (tiempo dinámico) de la fecha dada 18/08/2009 17:21:06 $[UTC]$, deberíamos operar de la siguiente forma:

1. Calculamos ΔT para el momento dado. De lo que obtenemos según lo explicado en el **punto 2.3:**
$$\Delta T = 67\ [seg.]$$
2. Calculamos la fecha TD que le corresponde a la fecha UTC dada, ya que:
$$\Delta T = TD - UTC\ [seg.]$$

Entonces:

$$TD = UTC + \Delta T = 18/08/2009\ 17:22:13\ [TD]$$

3. Por último calculamos la *fecha juliana*, expresada en JDE, que le corresponde a la fecha TD hallada en el paso anterior, resultando:

$$\boxed{18/08/2009\ 17:22:13\ [TD] \Rightarrow \mathbf{2455062,22376157}\ [\boldsymbol{JDE}]}$$

Como se puede apreciar del anterior ejemplo, el distinguir un tipo de *fecha juliana del* otro tipo es trivial para evitar caer en confusiones y resultados erróneos al operar con ellas.

1.3.2.- J2000.0:

La posición de un astro se suele calcular a partir de la posición conocida del mismo en un momento dado (al menos en lo que se refiere a astros muy lejanos o que sigan órbitas muy regulares), este momento en astronómica recibe el nombre de *equinoccio de referencia*. A lo largo de la historia de la astronomía encontramos varios equinoccios de referencia, no obstante el más actual y utilizado por su mayor fiabilidad y contemporaneidad es el equinoccio; "*J2000.0*".

J2000.0 se define como aquel momento que sucedió el **1 de enero del año 2000 a las 12h. TD**. Por tanto la *fecha juliana* expresada en *JDE* (puesto que proviene de una fecha dada en *tiempo dinámico*) asociada a este momento, será la que marcará el valor de tiempo de *J2000.0*:

$$01/01/2000\ 12:00:00\ [TD] \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{J2000.0 = 2451545.0\ [JDE]}}$$

Obsérvese que por lo explicado en apartados anteriores también podríamos definir *J2000.0* como aquel momento que sucedió el **1 de enero del año 2000 a las 11:58:56 [UTC]** (en este caso se ha pasado la fecha de la definición anterior de TD a UTC con el método de conversión explicado en el apartado anterior)**.**

1.3.3.- Tiempo Sidéreo:

El tiempo sidéreo se define como el ángulo horario del *equinoccio vernal* o *primer punto de Aries* (aquel punto de la eclíptica donde la declinación del Sol pasa de negativa a positiva, o también, como aquel punto en que la longitud celeste del Sol es cero; "momento en que entra la primavera"). El tiempo Sidéreo es el tiempo referido a las estrellas.

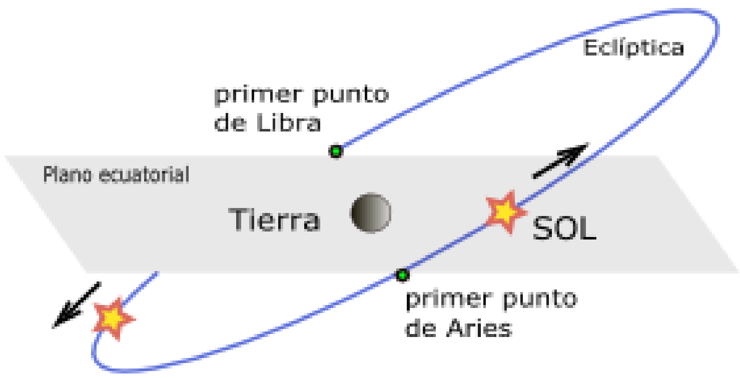


Figura I.1.1 – Representación de la Eclíptica.

El tiempo Sidéreo vale 0^h en el momento que el *equinoccio vernal* culmina en el meridiano local. Se recuerda que el meridiano local es aquel sobre el que se haya el observador. Por ello el día Sidéreo se define como el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del *equinoccio vernal* por el meridiano del lugar y este tiene valor variable que no tiene por qué coincidir con las 24^h de duración del día Civil (día referido al *Sol Medio*).

El año Sidéreo se define como el número de días Sidéreos transcurridos entre dos pasos consecutivos de la Tierra por un mismo punto de la órbita.

El tiempo Sidéreo está referido a las estrellas, mientras que el tiempo Solar únicamente al Sol.

Un día sidéreo no tiene igual duración en todos los días del año, esto es esencialmente debido a los fenómenos de precesión y nutación que sufre la Tierra (más adelante se trata el tema). No obstante, la idea principal que debe quedar clara es que el *día Solar verdadero* y *día Sidéreo* son distintos ya que el primero se cuenta con respecto al Sol y el segundo con respecto al *primer punto de Aries* o *equinoccio vernal*, es decir, sobre las estrellas. A continuación se ilustra la desigualdad entre día Solar verdadero y día Sidéreo:

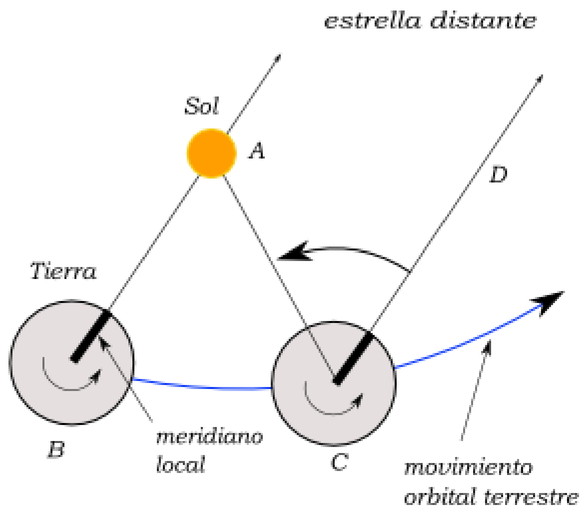


Figura I.1.2 - Desigualdad del día Sidéreo con respecto el día Solar verdadero.

En la anterior figura se puede apreciar lo siguiente; con la Tierra en el punto B, culminan simultáneamente en el meridiano local, el Sol y una estrella distante. Al llegar la Tierra a C culmina de nuevo la estrella, pero el Sol no. La estrella adelanta al Sol. El retraso del Sol (DCA) es igual al avance de la Tierra en su órbita (BAC).

De forma promedio, se dice, que el día Sidéreo dura 4 minutos menos que el día Solar medio, lo que hace que al cabo de un año, el año Sidéreo tenga aproximadamente 1 día más que el Solar. De forma promedio se dice que:

- Un año Solar Medio tiene: 365,256363 días solares medios.
- Un año Sideral tiene; 366,256436918716 días siderales.

La realidad es que el día Sidéreo adelanta al día Solar, en una cantidad de tiempo variable para cada momento, debido, a los efectos de precesión y nutación de los equinoccios.

Para calcular el tiempo sidéreo o $\boldsymbol{hGA}$ el programa utiliza el siguiente algoritmo mejorado que tiene en cuenta los efectos de precesión y nutación de los equinoccios:

1. Se calcula el JD del momento mediante los procedimientos explicados en apartados anteriores.

2. Se calculará el valor de la centuria Juliana (*T)*, tal y como sigue:

$$T = \frac{JD - 2451\,545.0}{36525}$$

3. Se hallará el horario de Greenwich de Aries (*hGA)* mediante la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{hGA = 280.460\,618\,37 + 360.985\,647\,366\,29 * (JD - 2451\,545.0) + 0.000\,387\,933 * T^2 - \frac{T^3}{38\,710\,000} + \Delta\psi * \cos(\varepsilon)}\ [\,º\,]$$

Donde;

$\Delta\psi * \cos(\varepsilon)$ = a este término se le denomina como *"nutación en ascensión recta"*.

$\Delta\psi$ = es el valor de la *nutación en longitud* para el momento dado (explicado en el apartado de *Cálculo de la nutación*).

ε = es el valor de la *oblicuidad de la eclíptica* para el momento dado (explicado en el apartado de *Cálculo de la oblicuidad de la eclíptica*).

4. Si se desea expresar el hGA en horas en vez de en grados, deberá dividirse el valor obtenido en el punto anterior por 15.

El anterior algoritmo calcula el hGA con una precisión muy elevada, del orden de una o dos décimas de segundo de arco.

2.- Cálculo de la nutación:

La nutación (del latín "*nutare*", cabecear u oscilar) es un movimiento ligero irregular en el eje de rotación de objetos simétricos que giran sobre su eje. Ejemplos comunes son los giroscopios, los trompos y los planetas. Más exactamente, una nutación pura es el movimiento del eje de rotación que mantiene el primer ángulo de Euler (precesión) constante.

Para el caso de la Tierra, la nutación es la oscilación periódica del polo de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste, debida a la influencia de fuerzas externas sobre el planeta, similar al movimiento de una peonza (trompo) cuando esta pierde fuerza y está a punto de caerse.

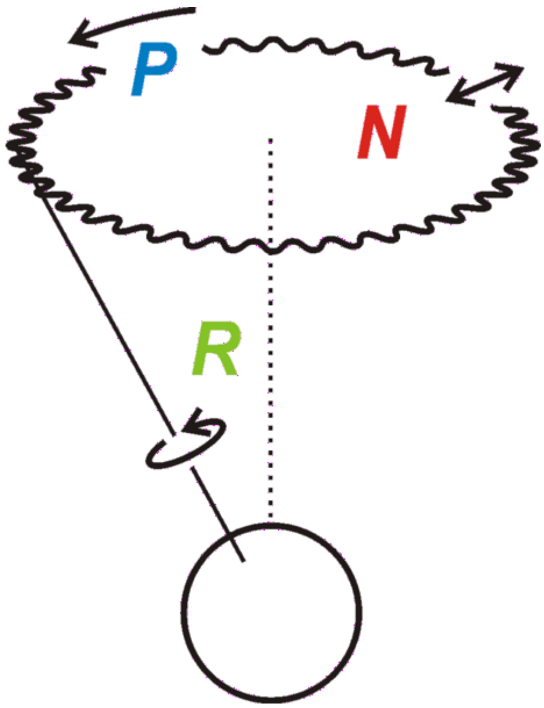


Figura I.2.1 - P (precesión), N (nutación), R (rotación).

La nutación es causada principalmente por la Luna y puede ser descrita como una suma de términos periódicos. El efecto de nutación es máximo al transcurrir el periodo de 6798.4 días (18.6 años) desde el último máximo conocido, por ello el término periódico de mayor relevancia tendrá este periodo, no obstante, habrá términos de menor relevancia que tendrán periodos menores a 10 días.

Se han utilizado un total de 63 agrupaciones de términos periódicos (dispuestos cada uno de ellos en una fila distinta de la tabla que sigue) para el cálculo de la nutación, que se presentan en la tabla siguiente:

Argumento del seno/coseno					*Para $\Delta\psi$*		*Para $\Delta\varepsilon$*	
D	**M**	**M'**	**F**	**ρ**	**f**	**g**	**h**	**I**
0	0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
-2	0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5
0	0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
0	1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	0	1	0	0	712	0.1	-7	0
-2	1	0	2	2	-517	1.2	224	-0.6
0	0	0	2	1	-386	-0.4	200	0
0	0	1	2	2	-301	0	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	217	-0.5	-95	0.3
-2	0	1	0	0	-158	0	0	0
-2	0	0	2	1	129	0.1	-70	0
0	0	-1	2	2	123	0	-53	0
2	0	0	0	0	63	0	0	0
0	0	1	0	1	63	0.1	-33	0
2	0	-1	2	2	-59	0	26	0
0	0	-1	0	1	-58	-0.1	32	0
0	0	1	2	1	-51	0	27	0
-2	0	2	0	0	48	0	0	0
0	0	-2	2	1	46	0	-24	0
2	0	0	2	2	-38	0	16	0
0	0	2	2	2	-31	0	13	0
0	0	2	0	0	29	0	0	0
-2	0	1	2	2	29	0	-12	0
0	0	0	2	0	26	0	0	0
-2	0	0	2	0	-22	0	0	0
0	0	-1	2	1	21	0	-10	0
0	2	0	0	0	17	-0.1	0	0
2	0	-1	0	1	16	0	-8	0
-2	2	0	2	2	-16	0.1	7	0
0	1	0	0	1	-15	0	9	0
-2	0	1	0	1	-13	0	7	0
0	-1	0	0	1	-12	0	6	0
0	0	2	-2	0	11	0	0	0
2	0	-1	2	1	-10	0	5	0
2	0	1	2	2	-8	0	3	0
0	1	0	2	2	7	0	-3	0
-2	1	1	0	0	-7	0	0	0
0	-1	0	2	2	-7	0	3	0
2	0	0	2	1	-7	0	3	0
2	0	1	0	0	6	0	0	0
-2	0	2	2	2	6	0	-3	0
-2	0	1	2	1	6	0	-3	0

2	0	-2	0	1	-6	0	3	0
2	0	0	0	1	-6	0	3	0
0	-1	1	0	0	5	0	0	0
-2	-1	0	2	1	-5	0	3	0
-2	0	0	0	1	-5	0	3	0
0	0	2	2	1	-5	0	3	0
-2	0	2	0	1	4	0	0	0
-2	1	0	2	1	4	0	0	0
0	0	1	-2	0	4	0	0	0
-1	0	1	0	0	-4	0	0	0
-2	1	0	0	0	-4	0	0	0
1	0	0	0	0	-4	0	0	0
0	0	1	2	0	3	0	0	0
0	0	-2	2	2	-3	0	0	0
-1	-1	1	0	0	-3	0	0	0
0	1	1	0	0	-3	0	0	0
0	-1	1	2	2	-3	0	0	0
2	-1	-1	2	2	-3	0	0	0
0	0	3	2	2	-3	0	0	0
2	-1	0	2	2	-3	0	0	0

NOTA: La unidad de la tabla en las columnas f, g, h, i. Es la de 0.0001 segundos de arco, es decir, los valores expresados en estas columnas vienen multiplicados por 10^4 [″].

La nutación se ha calculado mediante la teoría de 1980 "*IAU Theory of Nutation*" que da una precisión de cálculo de al menos 0.0003 segundos de arco.

Así pues, el cálculo del efecto de la nutación terrestre se ha implementado siguiendo el siguiente algoritmo:

1. Se calcula la fecha julia JDE **referida a tiempo dinámico** para el momento dado, como se explicó en apartados anteriores.
2. Se calcula la centuria juliana "T" para la *Época J2000.0*

$$T = \frac{JDE - 2451545}{36525}$$

3. Calculamos los siguientes términos:
    a. Elongación media de la Luna con respecto del Sol, "D"

$$D = 297.85\,036 + 445\,267.111\,480 * T - 0.00197\,142 * T^2 + T^3/189\,474\ [\,º\,]$$

    b. Anomalía media del Sol desde la Tierra, "M"

$$M = 357.52\,772 + 35\,999.050\,340 * T - 0.0001\,603 * T^2 - T^3\,/\,300\,000\ [\,º\,]$$

    c. Anomalía media de la Luna, " M' "

$$M' = 134.96\,298 + 477\,198.867\,398 * T + 0.0086\,972 * T^2 + T^3 / 56\,250 \ [\,º\,]$$

d. Argumento de latitud de la Luna, “F”

$$F = 93.27\,191 + 483\,202.017\,538 * T - 0.0036\,825 * T^2 + T^3 / 327\,270 \ [\,º\,]$$

e. Longitud del nodo ascendente de la Luna de la órbita media de la eclíptica, medido desde el equinoccio medio de la fecha dada, “ρ”

$$\rho = 125.04\,452 - 1934.136\,261 * T + 0.0020\,708 * T^2 + T^3 / 450\,000 \ [\,º\,]$$

4. Por último, calculamos la nutación en longitud ($\Delta\psi$) y la nutación en oblicuidad ($\Delta\varepsilon$), como el sumatorio de todos los términos periódicos presentados en la tabla anterior dispuestos del siguiente modo:

$$\boxed{\boldsymbol{\Delta\psi} = \left(\sum \left(\boldsymbol{A} * \boldsymbol{sen}(\boldsymbol{B})\right)\right) * \frac{\mathbf{10^{-4}}}{\mathbf{3600}} \ [\,º\,]}$$

$$\boxed{\boldsymbol{\Delta\varepsilon} = \left(\sum \left(\boldsymbol{A'} * \boldsymbol{cos}(\boldsymbol{B})\right)\right) * \frac{\mathbf{10^{-4}}}{\mathbf{3600}} \ [\,º\,]}$$

Donde;

A = coeficiente que multiplica el seno, que se calcula como la suma de los dos términos periódicos que correspondan en cada iteración para la columna de nutación en longitud ($\Delta\psi$). En ella se debe de tener en cuenta que todos los términos que aparezcan en la columna **g** deberán ser multiplicados por **T** (calculada en el punto 2) antes de sumarse con los de **f,** para así producir **A.**

A’= coeficiente que multiplica el coseno, que se calcula como la suma de los dos términos periódicos que correspondan en cada iteración para la columna de nutación en oblicuidad ($\Delta\varepsilon$). En ella se debe de tener en cuenta que todos los términos que aparezcan en la columna **i** deberán ser multiplicados por **T** (calculada en el punto 2) antes de sumarse con los de **h**, para así producir **A'.**

B = es el argumento de la razón trigonométrica que se tenga (seno para $\Delta\psi$ y coseno en $\Delta\varepsilon$), que se calcula como la combinación lineal de las cinco variables calculadas en el *punto 3* con los coeficientes que les correspondan para el término periódico en el que se esté.

<u>Por ejemplo;</u> para la tercera fila (tercera agrupación de términos periódicos) de la tabla, las expresiones que habría que sumar a las dos primeras ya calculadas tendrían la siguiente forma;

$$Para\ Longitud;\ \ (-2274 - 0.2 * T) * sen(2 * F + 2 * \rho)$$
$$Para\ Oblicuidad;\ (977 - 0.5 * T) * \cos(2 * F + 2 * \rho)$$

2.1.- Cálculo de la oblicuidad de la eclíptica:

En Astronomía se denomina oblicuidad de la eclíptica (ε, algunas veces simplemente llamada oblicuidad) a la inclinación que presenta el eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de la eclíptica.

Se suele aproximar a un valor medio de $23\,º\,27'.0$ pero en realidad este valor cambia continuamente por efecto de la nutación terrestre y por ello, debe de ser calculado en cada momento.

A continuación se explica cómo obtener el valor de la oblicuidad de la eclíptica (ε) para cualquier momento dado teniendo en cuenta el efecto de nutación terrestre:

1. Debemos calcular la nutación en oblicuidad $(\Delta\varepsilon)$ para el momento dado, tal y como se explicó en el **punto 2** del anexo.

2. Obtendremos la oblicuidad de la eclíptica $(\boldsymbol{\varepsilon})$, con una precisión de 0".01 entre los años 1000 y 3000 d.C. y con un error de pocos segundos a partir del año 10.000 d.C., del siguiente modo:

$$\boxed{\boldsymbol{\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon}\ [\,º\,]}$$

Donde;

$$\varepsilon_0 = 23º26'21.448 - 4\,680".93 * U - 1".55 * U^2 + 1\,999".25 * U^3 - 51".38 * U^4 - 249".67 * U^5 - 39".05 * U^6 + 7".12 * U^7 + 27".87 * U^8 + 5".79 * U^9 + 2".45 * U^{10} \quad [\,conviertase\ el\ resultado\ a\ grados\,]$$

$U = T/100$

$T =$ Calculada en el primer paso del algoritmo explicado en el **punto 2** del anexo.

3.- Momento de la meridiana de un astro:

3.1.- Idea general del momento de la meridiana:

El momento de la meridiana de un astro sucede cuando éste pasa justo por el meridiano superior del lugar (msl) del observador. Este momento es clave para la situación astronómica ya que gracias a él nos podremos situar con relativa exactitud dentro del globo sin necesidad de conocer nuestra situación estimada. Por tanto, podremos usar el momento de la meridiana de cualquier astro para conocer donde nos encontramos. Para ello necesitaremos tener obligatoriamente los siguientes elementos;

- Un sextante.

- Un reloj en horario UTC, ó en su defecto, otro que marque en otra hora de la que conozcamos su zona horaria, a fin de poderla pasar a hora UTC que le corresponda. También es válido un reloj en horario TD.
- Un almanaque o una aplicación informática como SPAC que de la declinación y horario de Greenwich del Sol para el momento dado.

No obstante sería útil conocer los siguientes datos;

- Longitud estimada de nuestra situación, a fin de poder calcular una hora aproximada fiable del momento de la meridiana del astro.
- Capacidad de calcular dicha hora, es decir, o bien un *software* informático como es SPAC, o bien, un almanaque astronómico en que aparezca tabulada (en este último caso la hora calculada será menos fiable que la calculada por SPAC ya que se realizará una interpolación además de que se estará supeditado a la resolución decimal que tenga nuestro almanaque, que por lo general, no es muy alta).

En el momento de la meridiana el astro está justamente pasando por nuestro meridiano, o lo que es lo mismo; por nuestro *meridiano superior del lugar* (msl), por lo que la altura de este es la máxima de todo el día y el azimut será siempre, ó bien; Sur verdadero, ó bien; Norte verdadero. Esto significa que de forma empírica podemos detectar este momento cómo aquel en el que observando continuamente el astro nos lo encontramos con la máxima la altura tomada de todo el día. Por ejemplo, si queremos encontrar el momento de la meridiana del Sol podemos ir mirando el azimut de este (si tenemos una brújula, sino habrá que mirar durante todo el día a menos que conozcamos alguna referencia cardinal como; una enfilación o algún punto de orientación) y cuando este cercano al Sur ó Norte verdaderos (deferirán de los magnéticos por declinación y desvió por lo que no hay que esperar que el azimut del Sol sea alguno de estos puntos sino ir observado al Sol cuando este esté cercano a alguno de estos dos) y entonces tomar lo más frecuentemente posible la altura de este e ir anotándolas junto a la hora UTC en que se tomaron (a ser posible tomarlas cada pocos segundos). En el momento que las alturas dejen de crecer (empiecen a descender en valor) entonces, dicho momento será el máximo valor de la altura del astro del día lo que nos indicará el momento de su meridiana. Una vez conocido este momento y su altura asociada a él, entonces conocer nuestra longitud y latitud será muy sencillo, calculándola del siguiente modo;

$$\boxed{\boldsymbol{l = d - z}\ [º]}$$
$$donde; \boldsymbol{z} = \pm(\boldsymbol{90º - a_v})\ [º]$$

$$\boxed{\boldsymbol{L = -hG_W}\ [º]}$$
$$o\ bien;$$
$$\boxed{\boldsymbol{L = 360º - hG_E}\ [º]}$$

<u>Para la latitud:</u>

"$\boldsymbol{l}$" es la latitud observada, es decir en aquella que se halla el observador.

La distancia cenital ***"z"*** tendrá valor positivo si se observa el astro hacia el norte (se dice; cara al norte), implica que su azimut es norte verdadero, y tendrá valor negativo si se observa el astro hacia el sur (se dice; cara al sur), implica que su azimut es sur verdadero.

El programa permite que el usuario indique si el astro ha sido observador cara al norte o cara al sur. No obstante, si se conociese la situación estimada en el momento de la observación y se introdujese, el programa calcularía de forma automática si el astro se observó cara al norte o cara al sur, evitando así que lo hubiese de entrar el usuario.

<u>Para la longitud:</u>

"$\boldsymbol{L}$" es la longitud observada, esta corresponde al horario de Greenwich del astro pero expresado en el formato de la longitud terrestre, es decir; expresado de 0 a 180 grados y con el signo que le corresponda; positivo si es este (E) ó negativo si es oeste (W). Dado que el horario de Greenwich de un astro se cuenta de 0 a 360º grados siempre hacia el oeste, la conversión al formato de longitud terrestre se debe de realizar del siguiente modo;

- Si el $\boldsymbol{hG}$ dado para el momento de la meridiana **es menor o igual a 180º** (condición expresada en la fórmula como $\boldsymbol{hG_W}$) entonces la longitud asociada para ese momento es el mismo hG pero con signo negativo puesto que corresponde a una longitud terrestre oeste.
- Si en cambio el $\boldsymbol{hG}$ dado para el momento de la meridiana **es mayor de 180º** (condición expresada en la fórmula como $\boldsymbol{hG_E}$) entonces este hG se restará a 360º y el resultado obtenido será siempre positivo, o lo que es lo mismo, el correspondiente a una longitud este.

Una vez hechos todos estos razonamientos entraremos, en el siguiente apartado, en cómo SPAC resuelve estas situaciones.

3.2.- Algoritmos utilizados para el cálculo del momento de la meridiana:

Para calcular el momento de la meridiana mediante SPAC podemos encontrarnos en dos situaciones;

- *No se conoce la longitud estimada/real en la que nos hallamos;* entonces SPAC calculará el momento de la meridiana para el meridiano de Greenwich.
- *Si se conoce la longitud estimada/real en la que nos hallamos;* entonces SPAC calculará el momento exacto en que el astro culminará (tendrá su meridiana) para el meridiano (longitud) en la que nos hallemos (msl).

En el momento de la meridiana se cumplirán siempre las siguientes dos condiciones;

- El astro se encontrará en la mayor altura de todo el día (lo observaremos en el punto más alto entre su orto y ocaso).

- El astro tendrá horario del lugar igual a cero (solo si nos encontráramos en Greenwich también tendría horario de Greenwich igual a cero).

SPAC utiliza la segunda condición (la del horario local nulo) para calcular el momento de la meridiana y lo hace del siguiente modo;

1. Calcula al inicio y mitad del día en curso (del que queremos conocer el momento de la meridiana) el hL del astro a buscar la meridiana.

2. Si en esta primera mitad del día el astro ha pasado por el punto de $hL = 0º$ entonces la meridiana se hallará en esta primera mitad del día, por lo que el anterior punto de la mitad del día pasa a ser ahora el de la cuarta parte del día en curso (la mitad del mediodía). Si por contra en esta primera mitad de día el astro no ha pasado por $hL = 0º$ entonces; el anterior punto de inicio del día pasará a ser ahora el del mediodía y el punto inicial del mediodía pasará a ser ahora el del fin del día.

3. Se repite el punto 2 hasta hallar el momento en que se cumpla la condición de; $hL = 0º$.

El anterior algoritmo, algo abstracto, es conocido también como **algoritmo de búsqueda dicotómica.** Este tipo de algoritmo se puede aplicar a sucesiones de elementos ordenados por alguna razón de ordenación, en este caso dicha razón sería la evolución natural del horario local del astro (sigue un orden creciente a lo largo del día hasta llegar a valer 360º o lo que es lo mismo; $hL = 0º$, es decir, momento de la meridiana y a partir del cual empieza a descender). Este tipo de búsqueda optimiza el número de iteraciones (cálculos) a necesitar hacer antes de hallar el valor buscado, con respecto la búsqueda secuencial (en este caso la que miraría unidad de tiempo a unidad de tiempo del día hasta encontrar el valor que satisfaga la condición de $hL = 0º$) a razón del logaritmo de base dos. Es decir; en el peor de los casos (coste asintótico) tendríamos que;

$$- \, Para \; el \; algorimtmo \; de \; búsqueda \; dicotómica; \boldsymbol{O}(\mathbf{log_2 \, n})$$
$$- \, Para \; el \; algoritmo \; de \; búsqueda \; secuencial; \boldsymbol{O}(\boldsymbol{n})$$

Donde;

$n =$ Número de iteraciones máximas ha haber de realizar para calcular el momento de la meridiana de un astro con precisión de la unidad de tiempo elegida (resolución).

Ahora suponemos, que queremos calcular con una precisión del segundo el momento de la meridiana de un astro, entonces;

$$n = número \; de \; segundos \; en \, un \; día = 24^h * \frac{3600^{seg}}{1^h} = \mathbf{86400} \; [\boldsymbol{seg.}]$$

Para la búsqueda dicotómica tendríamos;

$$O(\log_2 \mathrm{n}) \Rightarrow \mathbf{\log_2 86400 = entre\ 16\ y\ 17\ iteraciones}$$

Esto significa que tras realizar, en el peor de los casos, de 16 a 17 cálculos de la posición del astro (iteraciones) al que buscar la meridiana, encontraremos, con la precisión de un segundo de tiempo, el momento de la meridiana del astro para ese día. Ahora veremos cuál es el número de cálculos (iteraciones) de la posición del astro a realizar con una búsqueda secuencial, en el peor de los casos, para hallar con igual precisión (error de un segundo de tiempo) el momento de la meridiana.

Para la búsqueda secuencial tendríamos:

$$O(n) \Rightarrow \boldsymbol{n = 1^{día} * \frac{24^h}{1^{día}} * \frac{3600^{seg}}{1^h} = 86400\ iteraciones}$$

Al cambiar el algoritmo de búsqueda del dicotómico al secuencial nos encontramos que en el peor de los casos para hallar el momento de la meridiana de un astro con precisión de un segundo, **será necesario realizar 86400 cálculos de la posición del astro a lo largo del día,** una infinidad más de cálculos comparados con los tan solo; 16 a 17 cálculos (iteraciones) a tener que hacer en el caso de emplear el algoritmo de búsqueda dicotómica.

Por todo ello SPAC calcula los momentos de la meridiana de los astros **mediante el uso del algoritmo de búsqueda dicotómica con la precisión de un segundo de tiempo.**

Antes de acabar este apartado, diremos que SPAC siempre calculará la hora de la meridiana para la longitud en la que nos encontremos y no realizará aproximaciones, muy frecuentemente utilizadas en almanaques astronómicos, tales como las de suponer que la hora de la meridiana para nuestra longitud es igual a la hora de la meridiana en Greenwich del astro ($L = 0º$; hora en que el astro observado culminó en Greenwich) pero convertida a tiempo local para nuestra longitud actual. Dicha aproximación es válida siempre y cuando no queramos precisar más allá de unas pocas decenas de segundo en la predicción de la hora de meridiana de un astro, pero por la importancia de la meridiana a la hora de situar al marino SPAC calculará siempre exactamente el momento en que sucede la meridiana para la longitud en la que este se encuentre. Fundamentalmente los errores entre este tipo de aproximación y la hora real de la meridiana local, se deben al efecto de la nutación terrestre y tal y como hemos visto SPAC tendrá en todo momento en cuenta este efecto, corrigiendo así el resultado y dando el más acertado.

3.3.- Hora de la meridiana del Sol para el meridiano móvil del buque:

Si no conociéramos la longitud estimada en el momento de la meridiana pero si la longitud estimada que se tenía al haber realizado la observación previa a la de la meridiana y el rumbo y velocidad seguidos por el buque desde entonces, podremos hallar la hora en que sucederá la meridiana (PmL) mediante la siguiente expresión:

$$PmL = UTC_1 + \frac{P_E}{900 + \Delta L_{1\mathrm{h}}} \quad [horas]$$

Dónde:

UTC_1 = es la hora UTC en que se realizó la observación previa a la de la meridiana del Sol, expresada en horas.

P_E = ángulo en el polo oriental, expresado en minutos de arco, que se obtuvo en la observación previa a la meridiana del Sol.

$\Delta L_{1\mathrm{h}}$ = incremento de longitud en un hora y expresado en minutos de arco. Se calcula haciendo una estima directa tomando el rumbo y la velocidad seguida por el buque a partir de la observación previa a la de la meridiana del Sol, de forma tal que $\Delta L_{1\mathrm{h}}$ vale:

$$\Delta L_{1\mathrm{h}} = (\mathrm{L_f} - \mathrm{L_1})\ \mathrm{x}\ 60 \quad [\ ‘\ ]$$

$$\mathrm{L_f} = \mathrm{L_1} + \frac{\mathrm{D} * \sin(\mathrm{R})}{60 * \cos(\mathrm{lm})} \quad [\ º\ ]$$

$$lm = \frac{2 * l_1 + \left(\frac{\Delta a_1 * \cos(Z_1)}{60}\right)}{2} \quad [\ º\ ]$$

Donde;

R = rumbo del buque expresado en grados y en notación de; 0º a 360º.

D = distancia recorrida en una hora por el buque en minutos de arco (esta será igual a la velocidad del buque cuando esta viene expresada en nudos).

$\mathrm{L_1}$ = longitud estimada en la observación previa a la de la meridiana del Sol y expresada en grados. Las longitudes este se entrarán como positivas y las longitudes oeste se entrarán como negativas.

l_1 = latitud estimada en la observación previa a la de la meridiana del Sol y expresada en grados. Las latitudes norte se entrarán como positivas y las latitudes sur como negativas.

900 = 900 minutos de arco por hora (900 $['/h.]$), que es la velocidad media de rotación de la tierra, puesto que:

$$\frac{15º}{1h.} x \frac{60'}{1º} = 900\ ['/h.]$$

4.- Ampliación del algoritmo de cálculo de las coordenadas de las estrellas:

El cálculo de las coordenadas de las estrellas es una tarea bastante larga y compleja, por lo que a continuación se ha intentado explicar de la forma más sintética y esquemática posible el algoritmo seguido por SPAC para realizar dicho cálculo:

1. Calculamos el intervalo desde $J2000.0$, en centurias julianas, hasta el momento de la observación, que denominaremos como "t";

   $$t = \frac{JDE - J2000.0}{36525}$$

   Donde;

   $JDE =$ Fecha juliana de efemérides (la que viene del tiempo en TD) para el momento que queremos calcular las coordenadas de la estrella.

   $J2000.0 = 2451545.0$ (valor constante).

2. Multiplicamos el movimiento propio de la estrella en ascensión recta $(pmRA)$ y en declinación $(pmDec)$ dado con respecto al equinoccio de referencia de $J2000.0$ (obtenidos ambos valores del catálogo estelar) por las centurias julianas (t) pasadas hasta el momento de la observación, pero, convertidas a años julianos, ya que, los movimientos propios de las estrellas nos vienen dados en segundos de arco por año con respecto este momento de referencia $(J2000.0)$;

   $$\Delta pmRA = pmRA * t * 100 \ ['']$$
   $$\Delta pmDec = pmDec * t * 100 \ ['']$$

3. Ahora aplicamos la anterior diferencia de movimientos propios en sus respectivos componentes de ascensión recta y declinación nominales para $J2000.0$;

   $$\alpha_0 = RAJ2000.0 + \Delta pmRA$$
   $$\delta_0 = DECJ2000.0 + \Delta pmDec$$

4. Las anteriores coordenadas ecuatoriales son las calculadas para el momento deseado, es decir, son las coordenadas ecuatoriales reales, pero no son las coordenadas ecuatoriales aparentes para dicho momento. Para saber las aparentes, que son las que nos interesan por ser con las que se verá el astro desde dentro de la Tierra, habremos de tener en cuenta el efecto de la aberración, de la precesión y de la nutación. Para resolver el primer problema SPAC utiliza las expresiones del modelo de cálculo de la aberración de ***"Ron-Vondrák"*** el cual da un nivel de precisión en el cálculo del efecto de la aberración para un momento dado muy elevado. Para ello tenemos que calcular los siguientes términos, todos ellos expresados en radianes;

   $$L2 = 3.1761467 + 1021.3285546 * t;$$
   $$L3 = 1.7534703 + 628.3075849 * t;$$

$$L4 = 6.2034809 + 334.0612431 * t;$$
$$L5 = 0.5995465 + 52.9690965 * t;$$
$$L6 = 0.8740168 + 21.3299095 * t;$$
$$L7 = 5.4812939 + 7.4781599 * t;$$
$$L8 = 5.3118863 + 3.8133036 * t;$$
$$L' = 3.8103444 + 8399.6847337 * t;$$
$$D = 5.1984667 + 7771.3771486 * t;$$
$$M' = 2.3555559 + 8328.6914289 * t;$$
$$F = 1.6279052 + 8433.4661601 * t;$$

5. Mediante la siguiente tabla se calcularán las tres componentes de velocidad respecto el centro de masas de la Tierra, denominados aquí como; $X', Y' y \ Z'$:

L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L'	D	M'	F	SIN X'		COS X'		SIN Y'		COS Y'		SIN Z'		COS Z'	
	1										-1719914	-2	-25		25	-13	1578089	156	10	32	684185	-358
	2										6434	141	28007	-107	25697	-95	-5904	-130	11141	-48	-2559	-55
			1								715		0		6		-657		-15		-282	
							1				715		0		0		-656		0		-285	
	3										486	-5	-236	-4	-216	-4	-446	5	-94		-193	
				1							159		0		2		-147		-6		-61	
										1	0		0		0		26		0		-59	
							1		1		39		0		0		-36		0		-16	
			2								33		-10		-9		-30		-5		-13	
	2		-1								31		1		1		-28		0		-12	
	3	-8	3								8		-28		25		8		11		3	
	5	-8	3								8		-28		-25		-8		-11		-3	
2	-1										21		0		0		-19		0		-8	
1											-19		0		0		17		0		8	
					1						17		0		0		-16		0		-7	
	1		-2								16		0		0		15		1		7	
						1					16		0		1		-15		-3		-6	
	1		1								11		-1		-1		-10		-1		-5	
2	-2										0		-11		-10		0		-4		0	
	1		-1								-11		-2		-2		9		-1		4	
	4										-7		-8		-8		6		-3		3	
	3		-2								-10		0		0		9		0		4	
1	-2										-9		0		0		-9		0		-4	
2	-3										-9		0		0		-8		0		-4	
				2							0		-9		-8		0		-3		0	
2	-4										0		-9		8		0		3		0	

	3	-2									8	0	0	-8	0	-3
							1	2	-1		8	0	0	-7	0	-3
8	-12										-4	-7	-6	4	-3	2
8	-14										-4	-7	6	-4	3	-2
		2									-6	-5	-4	5	-2	2
3	-4										-1	-1	-2	-7	1	-4
	2		-2								4	-6	-5	-4	-2	-2
3	-3										0	-7	-6	0	-3	0
	2	-2									5	-5	-4	-5	-2	-2
							1	-2			5	0	0	-5	0	-2

6. Cada uno de estos tres componentes de velocidad; $X', Y' y\ Z'$ se calcularán como una combinación lineal de los anteriores términos tabulados. De modo que; los tres serán la suma de las combinaciones lineales de los argumentos de las razones trigonométricas que tengan asociadas. Así pues para la quinta fila de la tabla las contribuciones a los tres movimientos serán de;

$$X' = (486 - 5 * t) * \sin(A) + (-236 - 4 * t) * \cos(A)$$
$$Y' = (-216 - 4 * t) * \sin(A) + (446 + 5 * t) * \cos(A)$$
$$Z' = -94 * \sin(A) - 193 * \cos(A)$$

Donde el argumento de las razones trigonométricas (expresado en la fórmula como A) que correspondería para esta quinta fila sería de;

$$A = 3 * L3$$

Así se deben realizar la suma de todas las contribuciones de todas las filas de la anterior tabla. Una vez obtengamos este resultado, para cada una de las tres componentes de velocidad, estas se deberán multiplicar por 10^8 para poder tenerlas expresadas en *Unidades Astronómicas*.

7. Ahora calculamos las coordenadas ecuatoriales teniendo en cuenta el efecto de la precesión del siguiente modo;

$$\xi = \frac{2306.2181 * t + 0.30188 * t^2 + 0.017998 * t^3}{3600} [º]$$
$$z = \frac{2306.2181 * t + 1.09468 * t^2 + 0.018203 * t^3}{3600} [º]$$
$$\theta = \frac{2004.3109 * t - 0.42665 * t^2 - 0.041833 * t^3}{3600} [º]$$

Calculamos la ascensión recta y declinación de la estrella para la fecha dada del siguiente modo:

$$A = \cos(\delta_0) * \sin(\alpha_0 + \xi)$$
$$B = \cos(\theta) * \sin(\alpha_0 + \xi) - \sin(\theta) * \sin(\delta_0)$$
$$C = \sin(\theta) * \cos(\delta_0) * \cos(\alpha_0 + \xi) + \cos(\theta) * \sin(\delta_0)$$

De modo que;

$$\tan(\alpha - z) = \frac{A}{B}$$
$$\sin(\delta) = C$$

Así pues;

$$\alpha_{precesión} = ATAN2\left(\frac{A}{B}\right) + z\ [º]$$
$$\delta_{precesión} = \operatorname{asin}(\delta)\ [º]$$

8. Seguidamente aplicamos la corrección por aberración anteriormente calculada de modo que;

$$\alpha' = \alpha_{precesión} + \Delta\alpha \ [º]$$
$$\delta' = \delta_{precesión} + \Delta\delta \ [º]$$

Donde;

$$\Delta\alpha = \frac{Y' * \cos(\alpha) - X' * \sin(\alpha)}{c * \cos(\delta)} \ [º]$$
$$\Delta\delta = -\frac{(X' * \cos(\alpha) + Y' * \sin(\alpha)) * \sin(\delta) - Z' * \cos(\delta)}{c} \ [º]$$
$$c = 17314463350 \ (valor\ constante)$$

9. Por último hemos de tener en cuenta el efecto de la nutación terrestre para la fecha. Por lo que deberemos calcular el valor de esta en el momento dado, tal y como se explicó en capítulos anteriores, obteniendo finalmente la ascensión recta y la declinación aparentes. Esto es;

$$\boxed{\boldsymbol{\alpha_{aparente} = \alpha' + \Delta\alpha_1 \ [º]}}$$
$$\boxed{\boldsymbol{\delta_{aparente} = \delta' + \Delta\delta_1 [º]}}$$

Donde;

$$\Delta\alpha_1 = (\cos(\varepsilon) + \sin(\varepsilon) * \sin(\alpha) * \tan(\delta)) * \Delta\psi - (\cos(\alpha) * \tan(\delta)) * \Delta\varepsilon \ [º]$$
$$\Delta\delta_1 = (\sin(\varepsilon) * \cos(\alpha)) * \Delta\psi + \sin(\alpha) * \Delta\varepsilon \ [º]$$

5.- Ampliación del algoritmo utilizado para el cálculo de las coordenadas Lunares:

El método de cálculo de las coordenadas lunares, utiliza los siguientes términos periódicos (posteriormente se explicará el algoritmo que los utiliza para calcular las coordenadas lunares):

TABLA X.A:

Términos periódicos de la latitud de la Luna ($\sum \boldsymbol{b}$). *La unidad es* 10^{-6} [º].

Argumento múltiple de				$\sum \boldsymbol{b}$ *Coeficiente del seno del argumento*
D	**M**	**M'**	**F**	
0	0	0	1	5128122
0	0	1	1	280602
0	0	1	-1	277693
2	0	0	-1	173237
2	0	-1	1	55413
2	0	-1	-1	46271
2	0	0	1	32573
0	0	2	1	17198
2	0	1	-1	9266
0	0	2	-1	8822
2	-1	0	-1	8216
2	0	-2	-1	4324
2	0	1	1	4200
2	1	0	-1	-3359
2	-1	-1	1	2463
2	-1	0	1	2211
2	-1	-1	-1	2065
0	1	-1	-1	-1870
4	0	-1	-1	1828
0	1	0	1	-1794
0	0	0	3	-1749
0	1	-1	1	-1565
1	0	0	1	-1491
0	1	1	1	-1475
0	1	1	-1	-1410
0	1	0	-1	-1344
1	0	0	-1	-1335
0	0	3	1	1107
4	0	0	-1	1021
4	0	-1	1	833
0	0	1	-3	777
4	0	-2	1	671
2	0	0	-3	607
2	0	2	-1	596
2	-1	1	-1	491
2	0	-2	1	-451
0	0	3	-1	439
2	0	2	1	422

2	0	-3	-1	421
2	1	-1	1	-366
2	1	0	1	-351
4	0	0	1	331
2	-1	1	1	315
2	-2	0	-1	302
0	0	1	3	-283
2	1	1	-1	-229
1	1	0	-1	223
1	1	0	1	223
0	1	-2	-1	-220
2	1	-1	-1	-220
1	0	1	1	-185
2	-1	-2	-1	181
0	1	2	1	-177
4	0	-2	-1	176
4	-1	-1	-1	166
1	0	1	-1	-164
4	0	1	-1	132
1	0	-1	-1	-119
4	-1	0	-1	115
2	-2	0	1	107

TABLA X.B:

Términos periódicos de la longitud ($\sum \boldsymbol{l}$) y distancia ($\sum \boldsymbol{r}$) de la Luna. La unidad es 10^{-6} [º] para $\sum \boldsymbol{l}$ y 10^{-3} $[km.]$ para $\sum \boldsymbol{r}$.

Argumento múltiple de				$\sum \boldsymbol{l}$	$\sum \boldsymbol{r}$
D	**M**	**M'**	**F**	*Coeficiente del seno del argumento*	*Coeficiente del coseno del argumento*
0	0	1	0	6288774	-20905355
2	0	-1	0	1274027	-3699111
2	0	0	0	658314	-2955968
0	0	2	0	213618	-569925
0	1	0	0	-185116	48888
0	0	0	2	-114332	-3149
2	0	-2	0	58793	246158
2	-1	-1	0	57066	-152138
2	0	1	0	53322	-170733
2	-1	0	0	45758	-204586
0	1	-1	0	-40923	-129620
1	0	0	0	-34720	108743

0	1	1	0	-30383	104755
2	0	0	-2	15327	10321
0	0	1	2	-12528	0
0	0	1	-2	10980	79661
4	0	-1	0	10675	-34782
0	0	3	0	10034	-23210
4	0	-2	0	8548	-21636
2	1	-1	0	-7888	24208
2	1	0	0	-6766	30824
1	0	-1	0	-5163	-8379
1	1	0	0	4987	-16675
2	-1	1	0	4036	-12831
2	0	2	0	3994	-10445
4	0	0	0	3861	-11650
2	0	-3	0	3665	14403
0	1	-2	0	-2689	-7003
2	0	-1	2	-2602	0
2	-1	-2	0	2390	10056
1	0	1	0	-2348	6322
2	-2	0	0	2236	-9884
0	1	2	0	-2120	5751
0	2	0	0	-2069	0
2	-2	-1	0	2048	-4950
2	0	1	-2	-1773	4130
2	0	0	2	-1595	0
4	-1	-1	0	1215	-3958
0	0	2	2	-1110	0
3	0	-1	0	-892	3258
2	1	1	0	-810	2616
4	-1	-2	0	759	-1897
0	2	-1	0	-713	-2117
2	2	-1	0	-700	2354
2	1	-2	0	691	0
2	-1	0	-2	596	0
4	0	1	0	549	-1423
0	0	4	0	537	-1117
4	-1	0	0	520	-1571
1	0	-2	0	-487	-1739
2	1	0	-2	-399	0
0	0	2	-2	-381	-4421
1	1	1	0	351	0
3	0	-2	0	-340	0
4	0	-3	0	330	0
2	-1	2	0	327	0
0	2	1	0	-323	1165

1	1	-1	0	299	0
2	0	3	0	294	0
2	0	-1	-2	0	8752

Se procede del siguiente modo:

1. Se calcula el *JDE* de la fecha dada según lo explicado en apartados anteriores.

2. Se calcula la centuria Juliana *"T"* del siguiente modo:

$$T = \frac{JDE - 2451545}{36525}$$

3. Calcular los siguientes cuatro términos:

$$L' = 218.3164477 + 481267.88123421 * T - 0.0015786 * T^2 + \frac{T^3}{538841} - \frac{T^4}{65194000}\ [º]$$

$$M = 357.5291092\ +\ 35999.0502909\ *\ T\ -\ 0.0001536 * T^2 + \frac{T^3}{24490000}\ [º]$$

$$M' = 134.9633964\ +\ 477198.8675055\ *\ T\ +\ 0.0087414\ *\ T^2 - \frac{T^3}{69699} + \frac{T^4}{14712000}\ [º]$$

$$F = 93.2720950\ +\ 483202.0175233\ *\ T\ -\ 0.0036539\ *\ T^2 - \frac{T^3}{3526000} + \frac{T^4}{863310000}\ [º]$$

4. También calculamos los siguientes tres términos que posteriormente necesitaremos:

$$A1 = 119.75 + 131.849 * t\ [º]$$
$$A2 = 53.09 + 479264.290 * T\ [º]$$
$$A3 = 313.45 + 481266.484 * T\ [º]$$

5. Calculamos los sumatorio de $\sum \boldsymbol{l}\ y \sum \boldsymbol{r}$ con los términos dados en la tabla X.B y los de $\sum \boldsymbol{b}$ con los términos dados en la tabla X.A. El argumento del seno (para $\sum \boldsymbol{l}\ y \sum \boldsymbol{b}$) y el del coseno (para $\sum \boldsymbol{r}$) es una combinación lineal de los cuatro argumentos fundamentales $L', M, M'\ y\ F$ ya calculados. Por ejemplo el argumento de la octava línea de la tabla X.B. es; $2D - M - M'$, y la contribución a $\sum \boldsymbol{l}\ y \sum \boldsymbol{r}$ es de; $+57066 * \sin(2D - M - M')$ y de; $-152138 * \cos(2D - M - M')$, respectivamente.

6. Además, los términos cuyo argumento contiene *M* dependen de la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, la cual va decreciendo a lo largo del periodo de tiempo actual. Por ello, la amplitud de estos términos es actualmente variable. Para

paliar este efecto sobre el cálculo, deberemos multiplicar los términos cuyos argumentos contengan $M\,o\ -M$ por E, y los que contengan $2M\,o\ -2M$ por E^2, donde;

$$E = 1 - 0.002516 * T - 0.0000074 * T^2$$

7. Habrá que añadir a las sumas de $\sum \boldsymbol{l}\ y\ \sum \boldsymbol{b}$ los siguientes términos correctores, debidos al efecto que tienen Venus y Júpiter sobre la Luna:

Términos a añadir a $\sum \boldsymbol{l}$:

$$+3958 * \sin(A1)$$
$$+1962 * \sin(L' - F)$$
$$+318 * \sin(A2)$$

Términos a añadir a $\sum \boldsymbol{b}$:

$$-2235 * \sin(L')$$
$$+382 * \sin(A3)$$
$$+175 * \sin(A1 - F)$$
$$+175 * \sin(A1 + F)$$
$$+127 * \sin(L' - M')$$
$$-115 * \sin(L' + M')$$

8. Calculamos las coordenadas eclípticas geocéntricas como sigue:

$$\lambda = L' + \frac{\sum l}{10^6}\,[º]$$
$$\beta = \frac{\sum b}{10^6}\ [º]$$
$$\Delta = 385000.56 + \frac{\sum r}{10^3}\ [km.]$$

9. Obtenemos la longitud aparente de la Luna, añadiendo a la longitud obtenida en el punto anterior (λ) el valor que tenga la nutación en longitud ($\Delta\psi$) en ese momento (el cálculo de la nutación para un momento dado se ha explicado en apartados anteriores). Quedando;

$$aparente\ \lambda = \lambda + \Delta\psi\ [º]$$

10. Podemos conocer la declinación y la ascensión recta aparente de la Luna para el momento dado, mediante el cambio de las coordenadas eclípticas geocéntricas, ya calculadas ($aparente\ \lambda\ y\ \beta$), a coordenadas ecuatoriales, tal y como se ha explicado en apartados anteriores. A partir de estas podremos conocer también las coordenadas horizontales (altura y azimut) para el momento dado.

11. El paralaje horizontal ecuatorial de la Luna (π) se calcula como;

$$\pi = \arcsin\left(\frac{6378.14}{\Delta}\right)\ [º]$$

12. El semidiámetro Lunar (*s*) y el diámetro aparente (*sp*), para el momento dado, se calcularán como;

$$s = \operatorname{asin}\left(0.272481 * \sin\left(\frac{6378.14}{\Delta}\right)\right)\ [º]$$
$$sp = s * 2\ [º]$$

13. La hora de paso de la Luna por el meridiano de Greenwich (*PmG*), se calculará aplicando el algoritmo de búsqueda del momento de la meridiana de un astro.

5.1.- Elongación de la Luna:

La elongación de la Luna (ψ) es el ángulo entre el Sol y la Luna visto desde el centro de la Tierra. Servirá para determinar algunos eventos astronómicos y datos de la Luna. Viene dado por la siguiente expresión;

$$\cos(\psi) = \cos(\beta) * \cos(\lambda - \lambda_0)\quad [º]$$

Donde;

$\beta = es\ la\ latitud\ eclíptica\ geocentrica\ de\ la\ Luna.$
$\lambda = es\ la\ longitud\ eclíptica\ geocentrica\ de\ la\ Luna.$
λ_0 = *es la longitud eclíptica heliocéntrica del Sol para el momento dado (ver Coordenadas Solares).*

5.2.- Ángulo de fase de la Luna:

El ángulo de fase (i) es el ángulo entre el Sol y la Tierra visto desde el centro de la Luna. Servirá para determinar algunos eventos astronómicos y datos de la Luna. Se calcula como;

$$\tan(i) = \frac{R * \sin(\psi)}{\Delta - R * \cos(\psi)}\ [º]$$

Donde;
R = es la distancia que separa la Tierra y el Sol en el momento dado (mirar Coordenadas Solares) y expresada en kilómetros.

$\Delta =$ es la distancia que separa la Tierra y la Luna en el momento dado y expresada en kilómetros.
$\psi =$ es el valor que tenga el ángulo de elongación de la Luna, expresado en grados, en el momento dado.

5.3.- Fracción iluminada del disco Lunar:

La fracción iluminada del disco Lunar (k) es el porcentaje de Luna que se ve desde la Tierra en un momento dado, posteriormente este nos servirá para determinar la fase Lunar.

Se calcula como;

$$k = \frac{1 + \cos(i)}{2}$$

La anterior expresión dará la fracción iluminada del disco Lunar expresada en tanto por uno, si se quisiera expresar como porcentaje se debería multiplicar la anterior k por cien.

5.4.- Fases Lunares:

Para saber en qué fase se haya la Luna en un momento dado, se debe calcular la fracción iluminada de disco Lunar que tenga en ese momento y se debe encasillar en el porcentaje que le corresponda de los que a continuación se muestran en la siguiente tabla, teniendo en cuenta si esta se encuentre en período creciente ó menguante;

Fracción de disco lunar iluminado (k)	**Nombre de la Fase**
0 %	Luna Nueva
25 %	Creciente Iluminante
50 %	Cuarto Creciente
75 %	Gibosa Iluminante
100 %	Luna Llena
75 %	Gibosa Menguante
50 %	Cuarto Menguante
25 %	Creciente Menguante

No obstante, hay otros métodos para el cálculo de las fases Lunares que aquí no se implementaran.

Anexo II: Guía de uso de SPAC:

1.- Primeros pasos:

Primeramente deberemos de instalar SPAC, para ello solamente tenemos que ejecutar su instalador situado en; "**.\SPAC\InstalacionSPAC\Release\setup.exe**". Seguiremos las instrucciones de instalación y se nos generarán dos accesos directos al programa; uno en el escritorio y otro en el grupo de programas del menú de Inicio de Windows.

Una vez dentro del programa podemos ver claramente como este se divide en dos partes claramente diferenciadas;

- Una primera parte que podríamos llamar de "observatorio" dónde podemos pedir, configurar y buscar determinados datos sobre los astros, tales como; coordenadas locales, ecuatoriales, celestes, heliocéntricas, eventos astronómicos, magnitudes físicas, distancias, etc. O pedir que se nos muestre (tabule) el cielo visible que tenemos para un momento determinado.

- En una segunda parte del programa, encontramos las funcionalidades asociadas al posicionamiento del observador. Es decir, aquí será donde podremos pedir a SPAC que realice nuestros cálculos astronómicos con el fin de que nos diga dónde nos encontramos.

El aspecto inicial de la aplicación es como el que sigue;

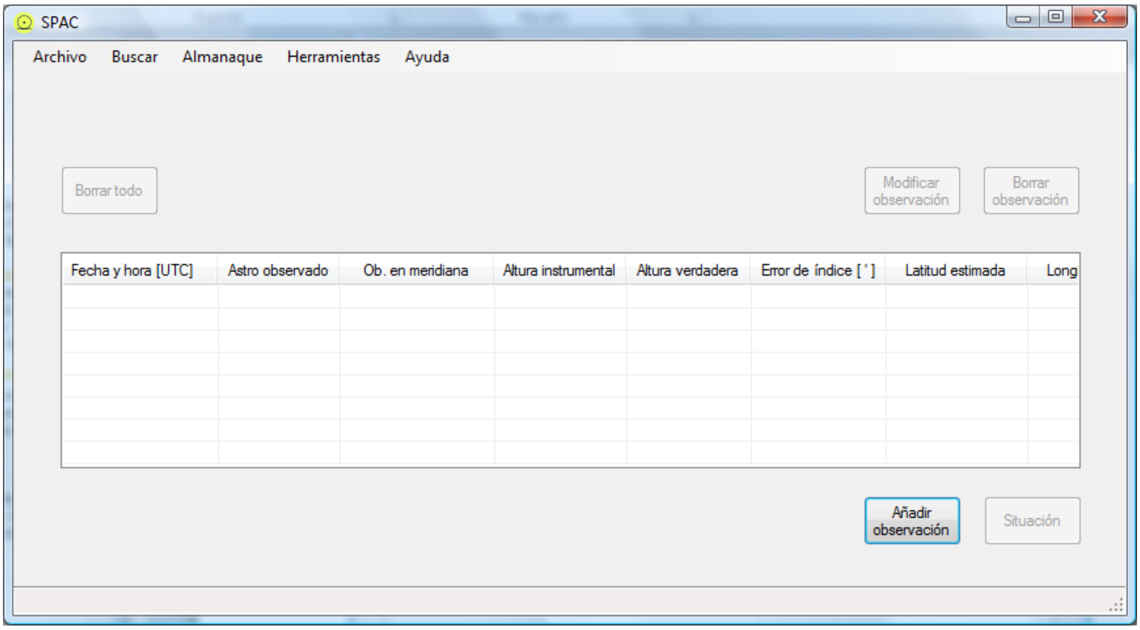


Figura II.1

1.1.- Opciones de SPAC:

En; *Herramientas>Opciones de SPAC...* podemos configurar el entorno de trabajo de SPAC. La ventana de opciones de SPAC tiene el siguiente aspecto;

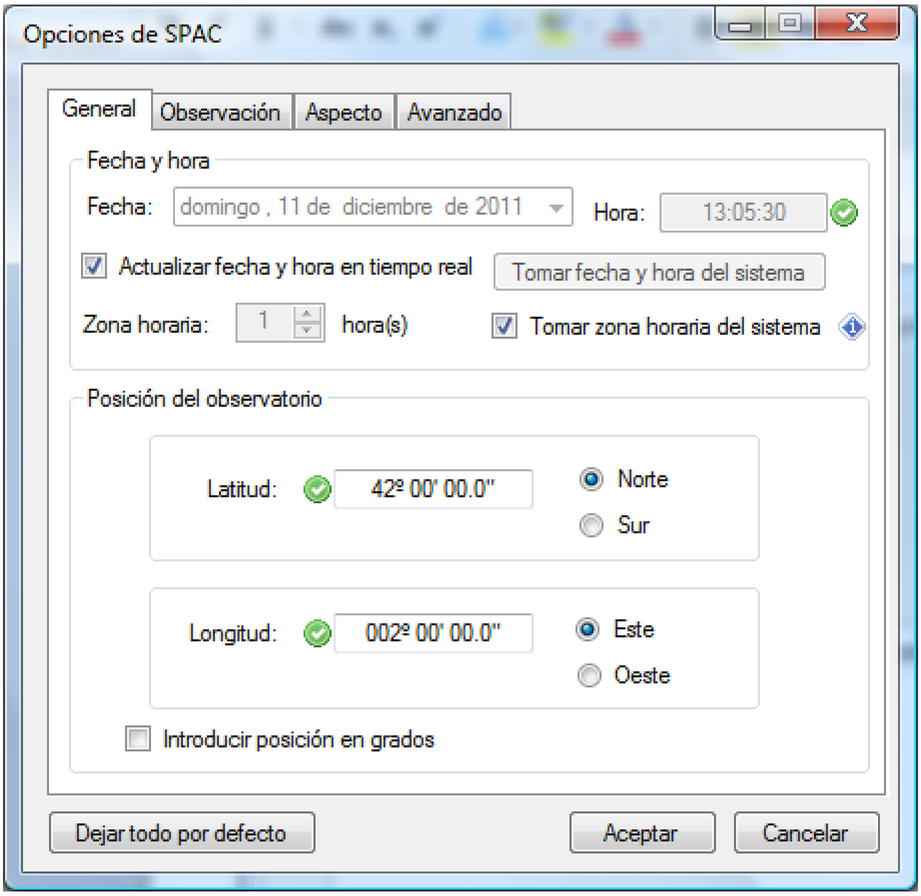


Figura II.2.

En esta primera pestana de *"General"*, podemos establecer la fecha y hora, la zona horaria y la latitud y longitud del observador, con la que queremos que trabaje el programa para la parte de "Observatorio", es decir aquella con la que el programa nos calculará la posición de los astros cuando le pidamos datos de los mismos fuera de los cálculos astronómicos.

Después en la pestaña *"Observación"* podemos establecer los datos por defecto con los que queremos que el programa trabaje para realizar exclusivamente los cálculos de posicionamiento. Si luego, al entrar una determinada observación en un cálculo, quisiéramos cambiar alguno de estos campos, también podríamos, tal y como veremos más adelante. El aspecto de esta pestaña sería el siguiente;

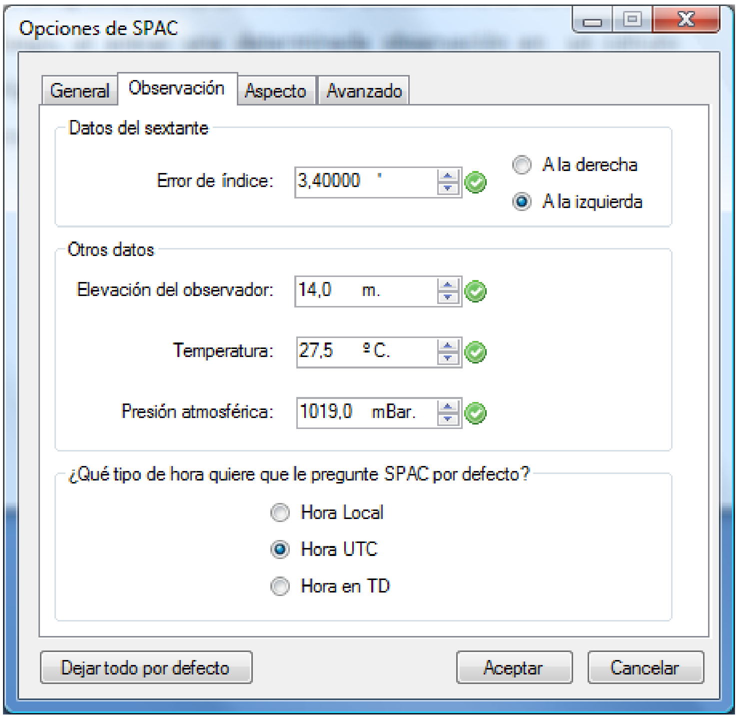


Figura II.3.

En "Aspecto" podremos decirle a SPAC como queremos que nos muestre los resultados numéricos. La ventana tiene el siguiente aspecto;

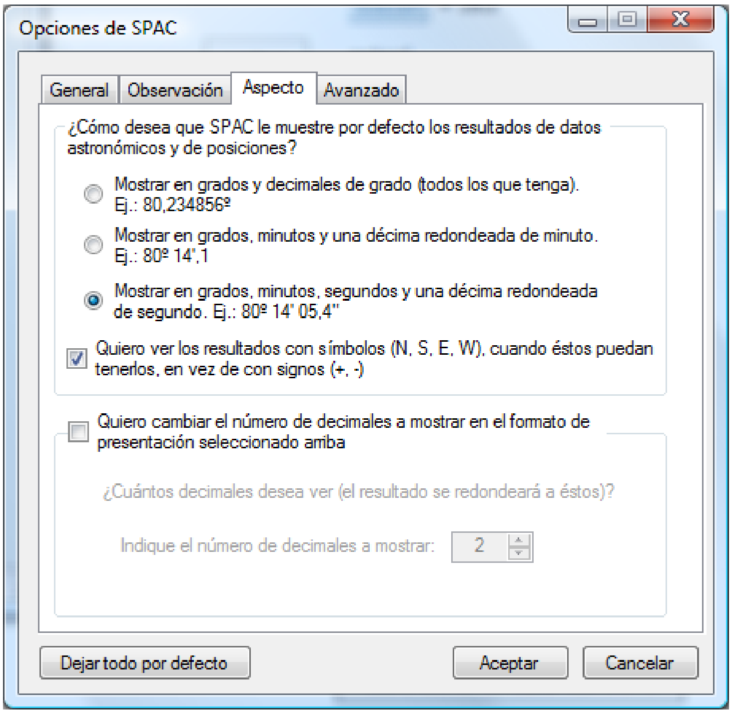


Figura II.4.

Por último la pestaña "Avanzado" permite una parametrización avanzada de los aspectos de la conversión de tiempo que utilizará SPAC internamente, para convertir cualquier fecha dada en fecha TD. El caso es que podemos decidir si el programa ha de utilizar su modelo de conversión, o por contra, establecer nosotros mismos la $delta\ de\ T$ con la que queremos que trabaje, a su vez, podremos decirle en fecha juliana si queremos que todas las efemérides se calculen para una determinada fecha juliana. De modo que;

- Si seleccionamos y entramos una JD el programa calculará para esa JD la JDE asociada con el modelo de conversión elegido, de modo que; si no se establece delta de T será con el propio modelo de conversión de SPAC, pero si se estableciese $delta\ de\ T\ (\Delta T)$ la conversión entre JD y JDE en los cálculos astronómicos se realizaría con la $delta\ de\ T$ entrada por el usuario.

- Si por contra entramos una fecha en JDE el cálculo de las efemérides será directo, sin conversiones, para esa JDE. La fecha JD asociada que se diese de forma informativa seria convertida según el mecanismo interno de SPAC, a menos que igual que antes, se estableciese una $delta\ de\ T$ por el usuario.

La ventana tiene el siguiente aspecto, suponiendo que quisiéramos modificar todos sus parámetros;

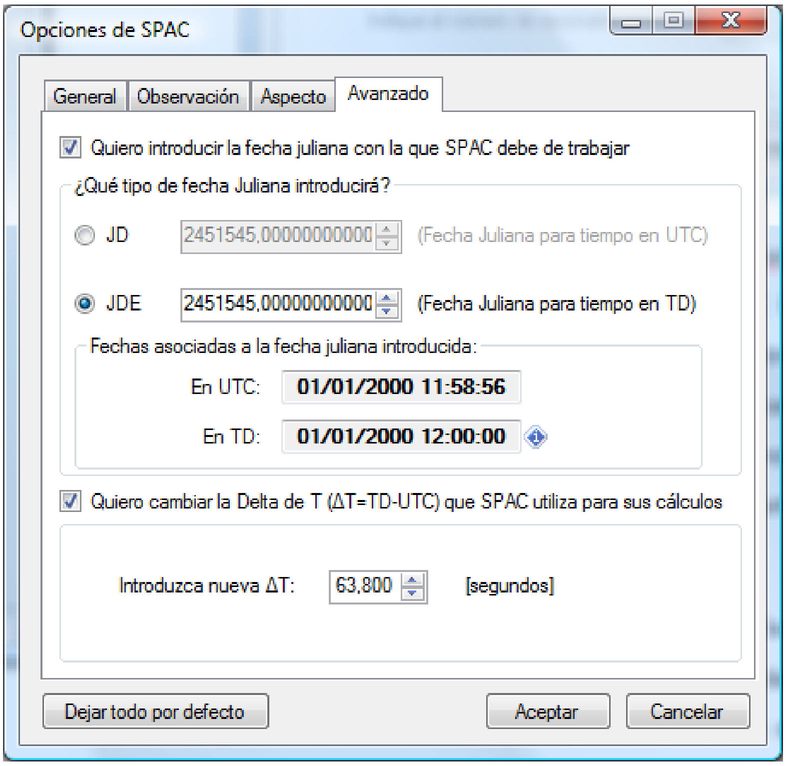


Figura II.5.

Hay que decir que esta ventana no se debería tocar, es decir, debería estar toda ella sin ninguna opción marcada, a menos que se quisiera hacer un uso muy especializado de la aplicación en su parte de observación de los astros, por lo que su existencia no aporta nada al usuario común, sino, únicamente a aquel usuario avanzado que quiera dedicarse a observar los astros con un alto control en las conversiones de tiempo realizadas por parte del programa.

Hay que decir, que las preferencias del entorno de SPAC se guardan de forma independiente para cada usuario de Windows, por lo que en un mismo sistema es posible tener diferentes configuraciones de preferencias de SPAC (una para cada usuario de Windows).

1.2.- El menú "Buscar":

En este menú podremos encontrar todas las principales prestaciones que SPAC nos ofrece para la parte del "observatorio". Es decir, podremos ver el cielo visible en un momento dado, buscar determinados astros, ver la información en tiempo real de los planetas, de la Luna, etc. Más concretamente el menú tiene las siguientes opciones;

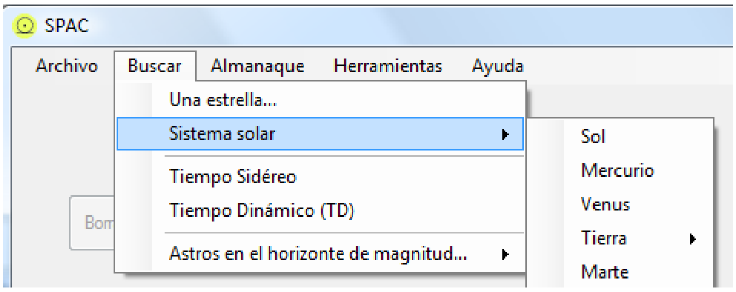


Figura II.6.

Como vemos podremos rápidamente pedirle la información de cualquier planeta del sistema solar, además de la Luna y el Sol. Por ejemplo si hacemos clic sobre Marte veremos la siguiente información;

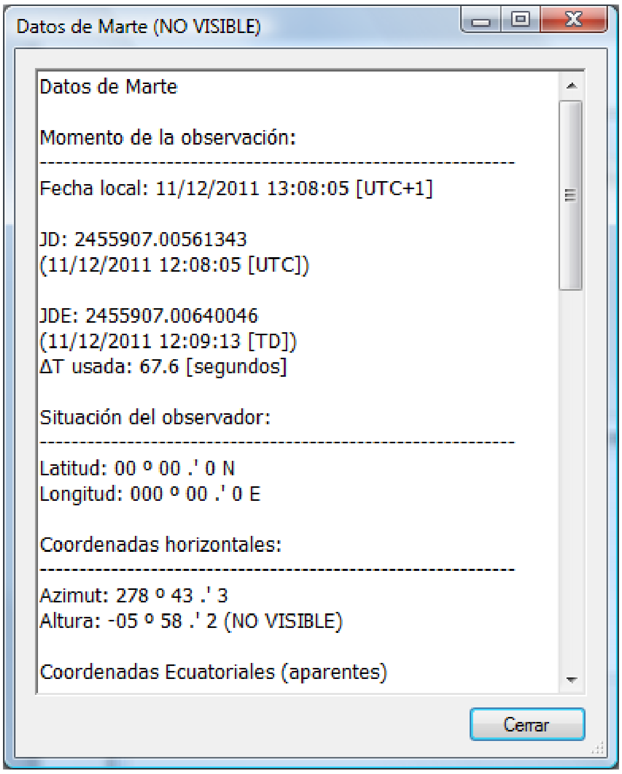


Figura II.7.

Podemos ver que la fecha para la que se calculan los datos de Marte está indicada dentro de la ficha de "Datos de Marte" y se corresponde con la que pusimos en las "Opciones de SPAC", en este caso, como en; "Opciones de SPAC" no le indicamos una fecha y hora concretas sino que le dejamos marcada la casilla, "Actualizar fecha y hora en tiempo real" lo que hace SPAC es que nos muestra los datos de Marte para el momento en que se pidieron (momento en que hicimos clic sobre Marte). En resumen, toda la información contenida en; "Momento de la observación" y "Situación del observador" va en función de aquello que fijamos en las; "Opciones de SPAC". Así pues para hacer que se calculen las coordenadas de Marte para otro momento y otra posición del observador deberíamos modificar, a como nos interesasen, las "Opciones de SPAC" y luego volver a dar clic en Marte.

Podemos hacer la prueba siguiente, si ahora vamos a Opciones de SPAC y establecemos la fecha y hora y posición del observador como sigue;

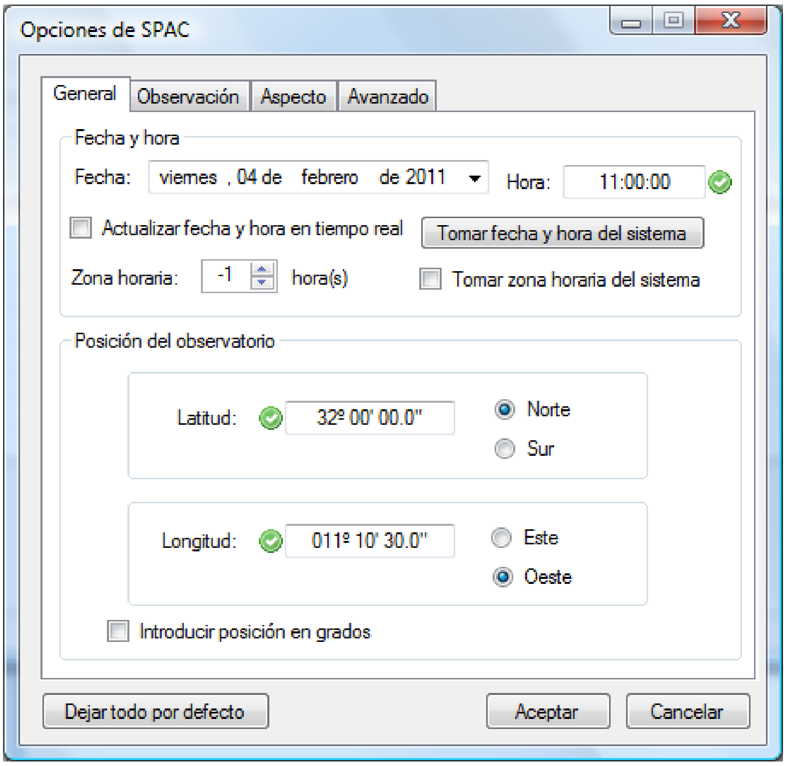
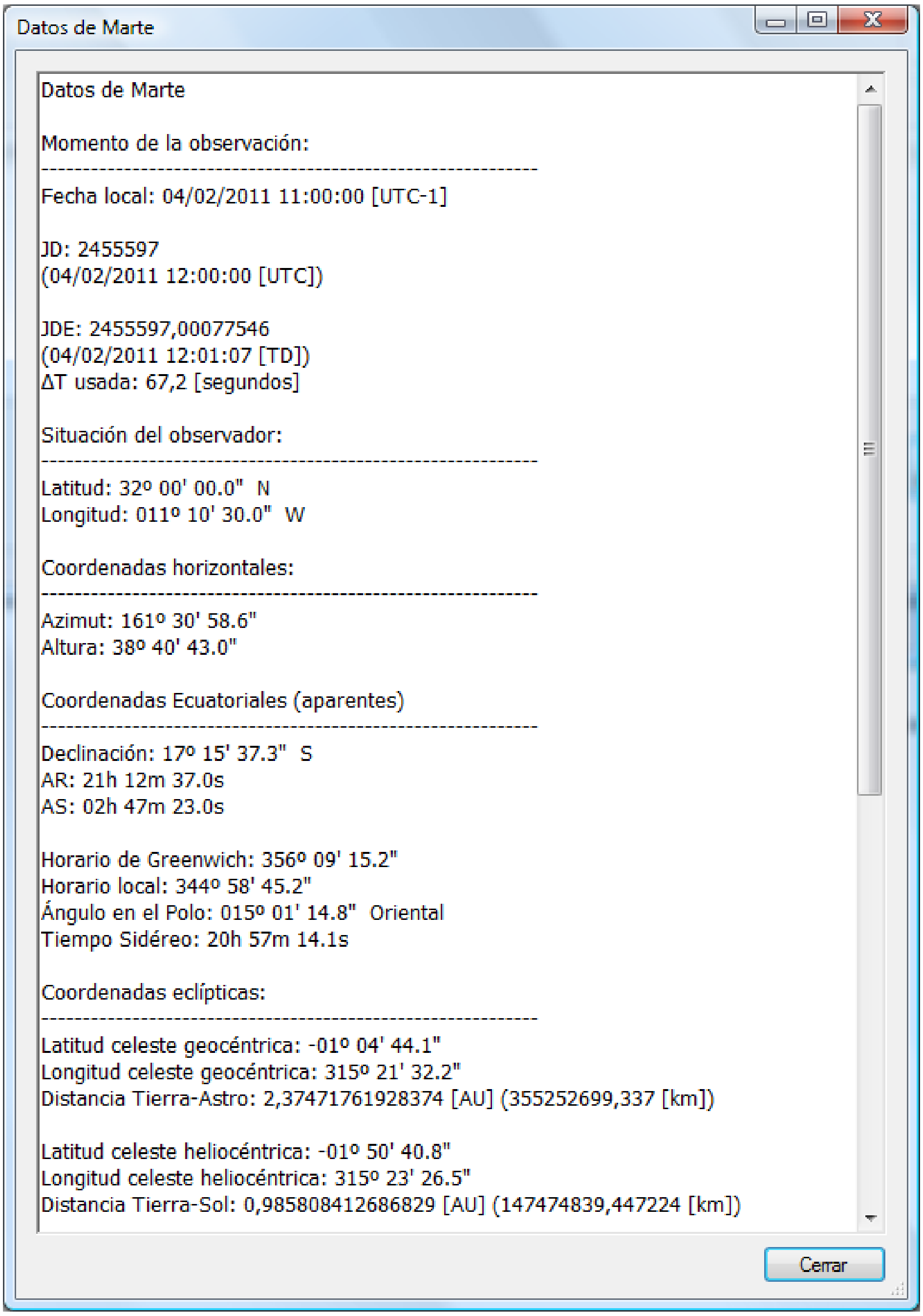


Figura II.8.

Tras hacer clic en "Aceptar" y volver a "Buscar>Sistema Solar>Marte", veremos lo siguiente;



Datos de Marte

Datos de Marte

Momento de la observación:

Fecha local: 04/02/2011 11:00:00 [UTC-1]

JD: 2455597
(04/02/2011 12:00:00 [UTC])

JDE: 2455597,00077546
(04/02/2011 12:01:07 [TD])
ΔT usada: 67,2 [segundos]

Situación del observador:

Latitud: 32º 00' 00.0" N
Longitud: 011º 10' 30.0" W

Coordenadas horizontales:

Azimut: 161º 30' 58.6"
Altura: 38º 40' 43.0"

Coordenadas Ecuatoriales (aparentes)

Declinación: 17º 15' 37.3" S
AR: 21h 12m 37.0s
AS: 02h 47m 23.0s

Horario de Greenwich: 356º 09' 15.2"
Horario local: 344º 58' 45.2"
Ángulo en el Polo: 015º 01' 14.8" Oriental
Tiempo Sidéreo: 20h 57m 14.1s

Coordenadas eclípticas:

Latitud celeste geocéntrica: -01º 04' 44.1"
Longitud celeste geocéntrica: 315º 21' 32.2"
Distancia Tierra-Astro: 2,37471761928374 [AU] (355252699,337 [km])

Latitud celeste heliocéntrica: -01º 50' 40.8"
Longitud celeste heliocéntrica: 315º 23' 26.5"
Distancia Tierra-Sol: 0,985808412686829 [AU] (147474839,447224 [km])

Cerrar

Figura II.9.

Podemos ver claramente como ahora todos los datos de Marte se han calculado para la nueva fecha y situación del observador, tal y como se indica en los dos primeros apartados de; "Momento de la observación" y "Situación del observador" de la anterior ventana. De ahora en adelante, dejaremos esta configuración de SPAC para ir explicando su funcionamiento.

Si volvemos a buscar y damos clic en "Tiempo sidéreo" se nos muestra un cuadro de diálogo que indica el valor que tiene el tiempo sidéreo asociado al momento que fijamos en las Opciones de SPAC. Por ejemplo;

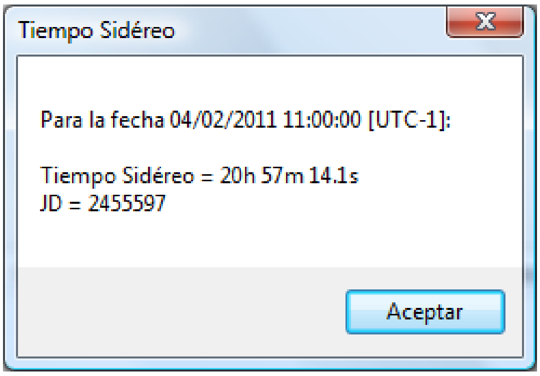


Figura II.10.

De igual forma si damos clic en; "Tiempo Dinámico (TD)" nos muestra el siguiente cuadro de diálogo;

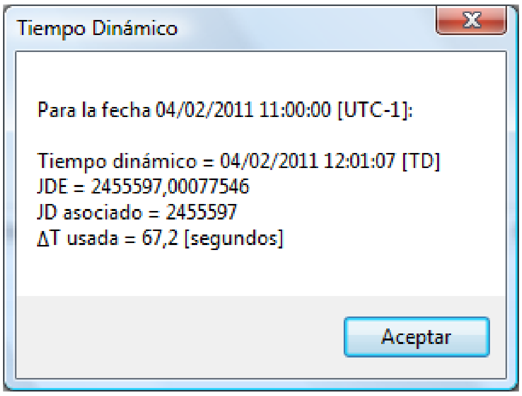


Figura II.11.

En "Buscar>Astro en el horizonte de magnitud..." y una vez allí, en el desplegable, podemos dar clic en la magnitud hasta la que queremos que SPAC nos muestre el cielo en ese momento (astros visibles). También podemos fijar nosotros un intervalo de magnitudes a mostrar, en la opción de; "Elegir otra magnitud";

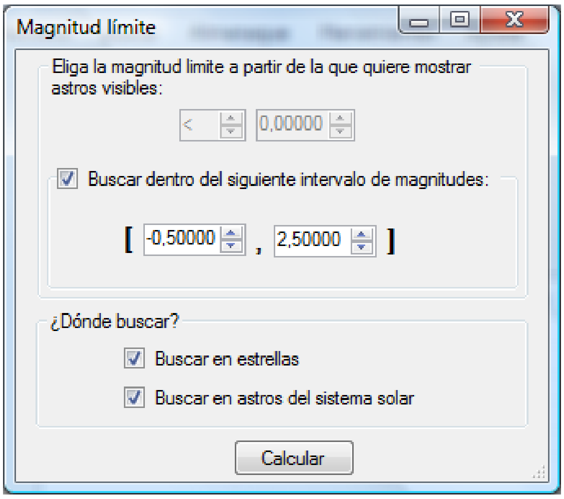
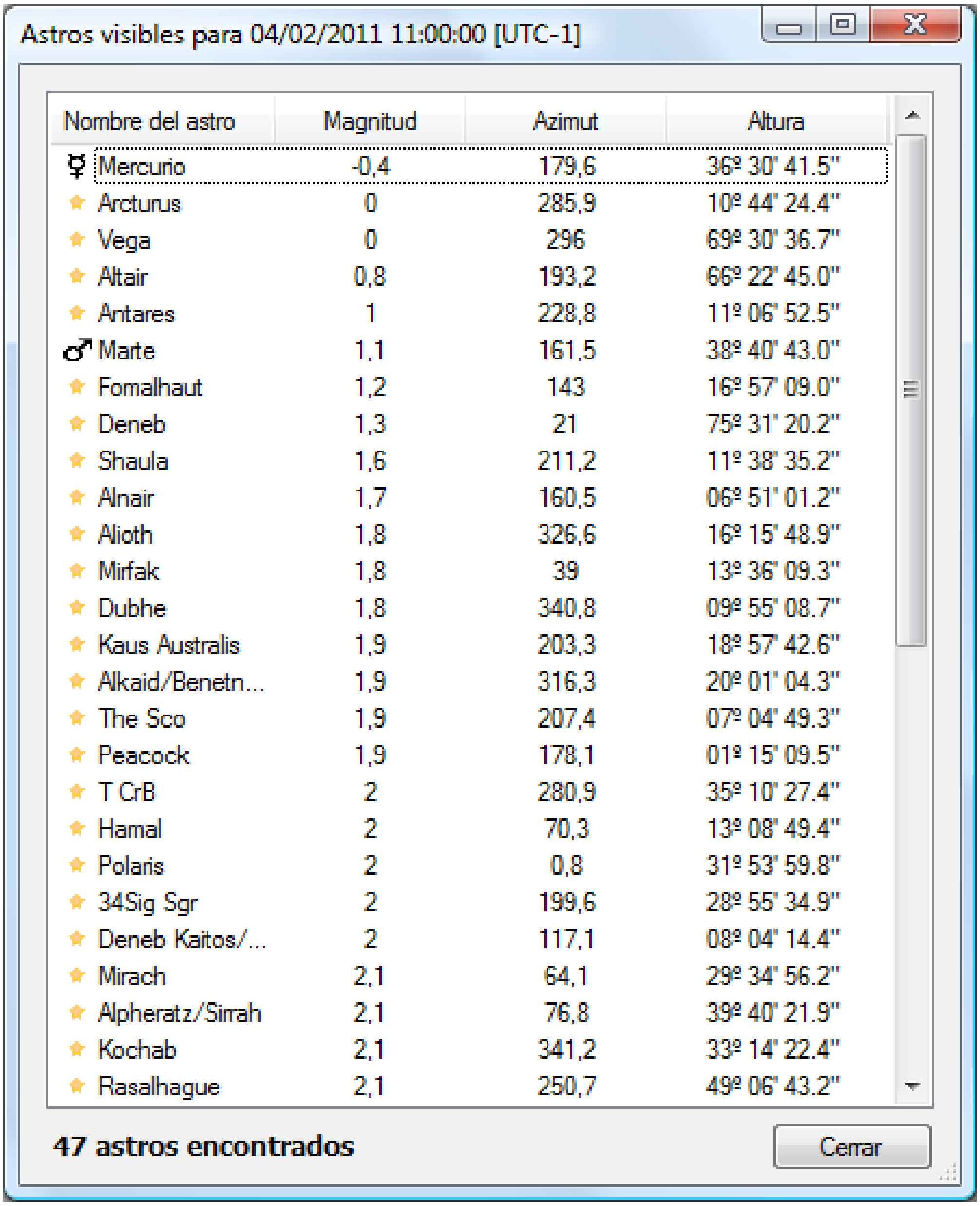


Figura II.12.

Tras dar clic en el botón calcular podemos ver los siguientes datos;


Astros visibles para 04/02/2011 11:00:00 [UTC-1]

Nombre del astro	Magnitud	Azimut	Altura
Mercurio	-0,4	179,6	36º 30' 41.5"
Arcturus	0	285,9	10º 44' 24.4"
Vega	0	296	69º 30' 36.7"
Altair	0,8	193,2	66º 22' 45.0"
Antares	1	228,8	11º 06' 52.5"
Marte	1,1	161,5	38º 40' 43.0"
Fomalhaut	1,2	143	16º 57' 09.0"
Deneb	1,3	21	75º 31' 20.2"
Shaula	1,6	211,2	11º 38' 35.2"
Alnair	1,7	160,5	06º 51' 01.2"
Alioth	1,8	326,6	16º 15' 48.9"
Mirfak	1,8	39	13º 36' 09.3"
Dubhe	1,8	340,8	09º 55' 08.7"
Kaus Australis	1,9	203,3	18º 57' 42.6"
Alkaid/Benetn...	1,9	316,3	20º 01' 04.3"
The Sco	1,9	207,4	07º 04' 49.3"
Peacock	1,9	178,1	01º 15' 09.5"
T CrB	2	280,9	35º 10' 27.4"
Hamal	2	70,3	13º 08' 49.4"
Polaris	2	0,8	31º 53' 59.8"
34Sig Sgr	2	199,6	28º 55' 34.9"
Deneb Kaitos/...	2	117,1	08º 04' 14.4"
Mirach	2,1	64,1	29º 34' 56.2"
Alpheratz/Sirrah	2,1	76,8	39º 40' 21.9"
Kochab	2,1	341,2	33º 14' 22.4"
Rasalhague	2,1	250,7	49º 06' 43.2"

47 astros encontrados

Cerrar

Figura II.13.

Si seleccionamos uno de estos astros, dando doble clic sobre el que queramos, se abrirá el cuadro de información del astro. Por ejemplo si damos doble clic sobre Vega se nos mostraría la siguiente información;

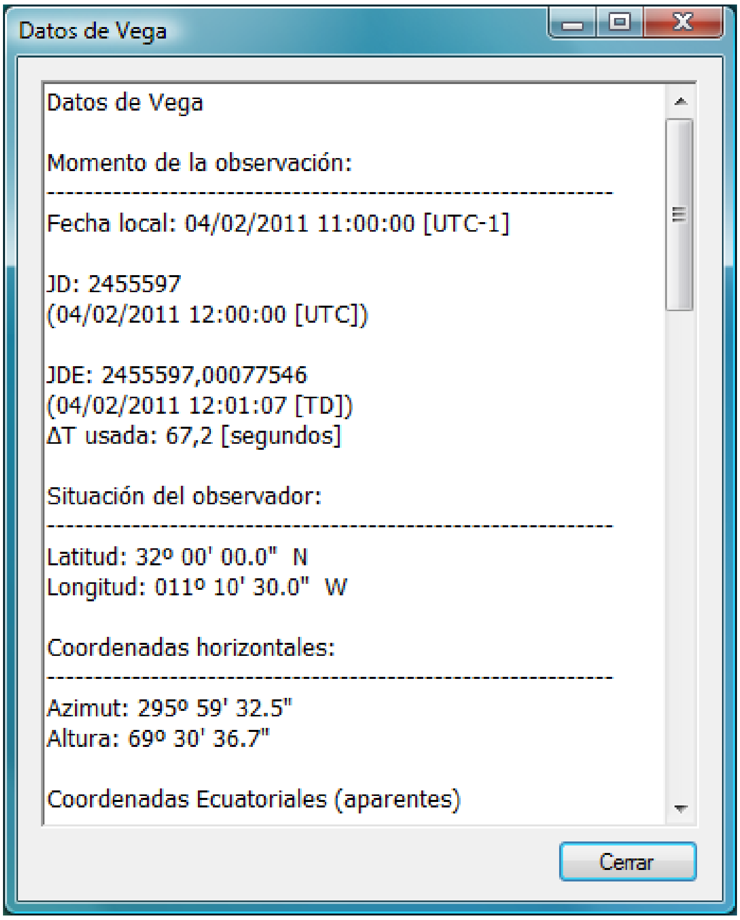


Figura II.14.

Otras opciones del menú "Astros en el horizonte de magnitud..." contenido dentro de la opción de la barra de menú "Buscar", es la de; "Todas las magnitudes" aquí lo que SPAC hará es calcular las coordenadas de todos los astros que el programa maneja y seleccionar y mostrar al usuario aquellos que sean visibles en el horizonte actual (que tengan altura positiva), para nuestra configuración de entorno si damos en esta opción obtendremos la siguiente tabla (puede tardar un poco en mostrar la tabla, ya que ha de realizar muchos cálculos);

Astros visibles para 04/02/2011 11:00:00 [UTC-1]

Nombre del astro	Magnitud	Azimut	Altura
Luna	-	140,5	42º 35' 20.8"
Sol	-	161,6	39º 45' 24.9"
Venus	-4,2	215,1	28º 24' 34.7"
Júpiter	-2,2	107,4	25º 22' 49.6"
Mercurio	-0,4	179,6	36º 30' 41.5"
Arcturus	0	285,9	10º 44' 24.4"
Vega	0	296	69º 30' 36.7"
Altair	0,8	193,2	66º 22' 45.0"
Antares	1	228,8	11º 06' 52.5"
Marte	1,1	161,5	38º 40' 43.0"
Fomalhaut	1,2	143	16º 57' 09.0"
Deneb	1,3	21	75º 31' 20.2"
Shaula	1,6	211,2	11º 38' 35.2"
Alnair	1,7	160,5	06º 51' 01.2"
Alioth	1,8	326,6	16º 15' 48.9"
Dubhe	1,8	340,8	09º 55' 08.7"
Mirfak	1,8	39	13º 36' 09.3"
Kaus Australis	1,9	203,3	18º 57' 42.6"
Alkaid/Benetn...	1,9	316,3	20º 01' 04.3"
The Sco	1,9	207,4	07º 04' 49.3"
Peacock	1,9	178,1	01º 15' 09.5"
Hamal	2	70,3	13º 08' 49.4"
T CrB	2	280,9	35º 10' 27.4"
Polaris	2	0,8	31º 53' 59.8"
34Sig Sgr	2	199,6	28º 55' 34.9"
Deneb Kaitos/...	2	117,1	08º 04' 14.4"
Mirach	2,1	64,1	29º 34' 56.2"
Alpheratz/Sirrah	2,1	76,8	39º 40' 21.9"
Rasalhague	2,1	250,7	49º 06' 43.2"
Kochab	2,1	341,2	33º 14' 22.4"
Bet Gru	2,1	155,2	04º 09' 57.8"
Algol	2,1	48,2	11º 03' 25.4"
Sadr	2,2	13,1	81º 27' 47.1"
Schedar	2,2	40,5	38º 35' 03.7"
Alphecca/Ge...	2,2	284,3	30º 20' 48.2"
Eltanin	2,2	318,3	58º 31' 23.6"
57Gam1And	2,3	52,9	22º 15' 58.1"
Caph	2,3	36,7	42º 35' 39.5"
Alula Australis/...	2,3	323,4	19º 21' 52.0"
26Eps Sco	2,3	220,1	08º 29' 36.0"
Dschubba	2,3	236,2	08º 46' 48.0"

4400 astros encontrados

Cerrar

Figura II.15.

Para nuestra fecha y hora ha encontrado 4.400 astros visibles de entre los cerca de 10.000 astros que maneja en total el programa.

Igual que antes podemos seleccionar el astro que queramos y ver su información, por ejemplo si escogemos la Luna veríamos lo siguiente;

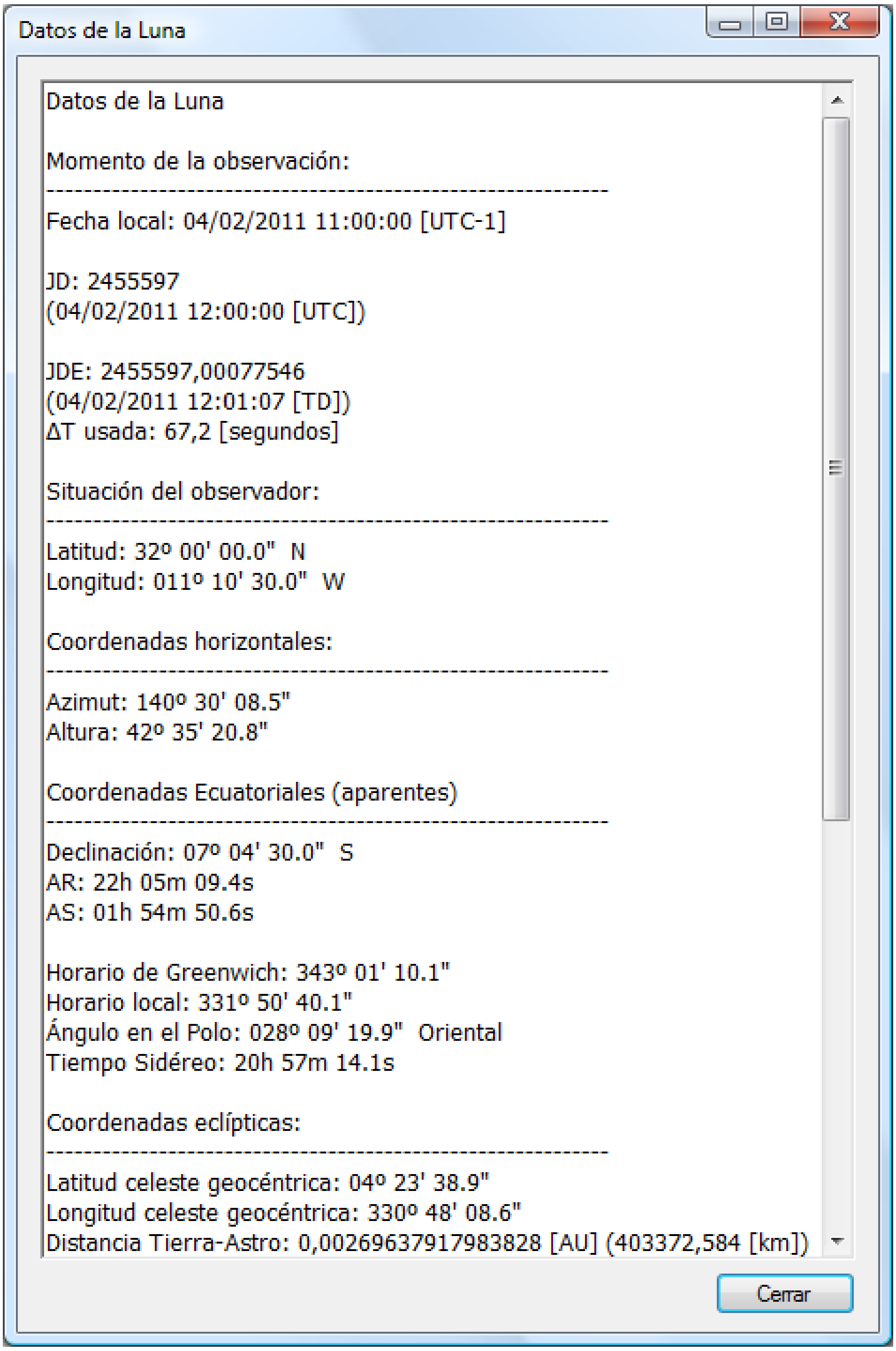


Figura II.16.

Por último en "Buscar>Una estrella..." podremos buscar una estrella determinada, según las múltiples formas (nombres) de denominarla. Por ejemplo para ver los datos asociados a Aldebarán podríamos hacer lo siguiente;

Escogemos la opción; "Nombre latín" y una vez allí tecleamos el nombre de la estrella, en este caso *Aldebarán*;

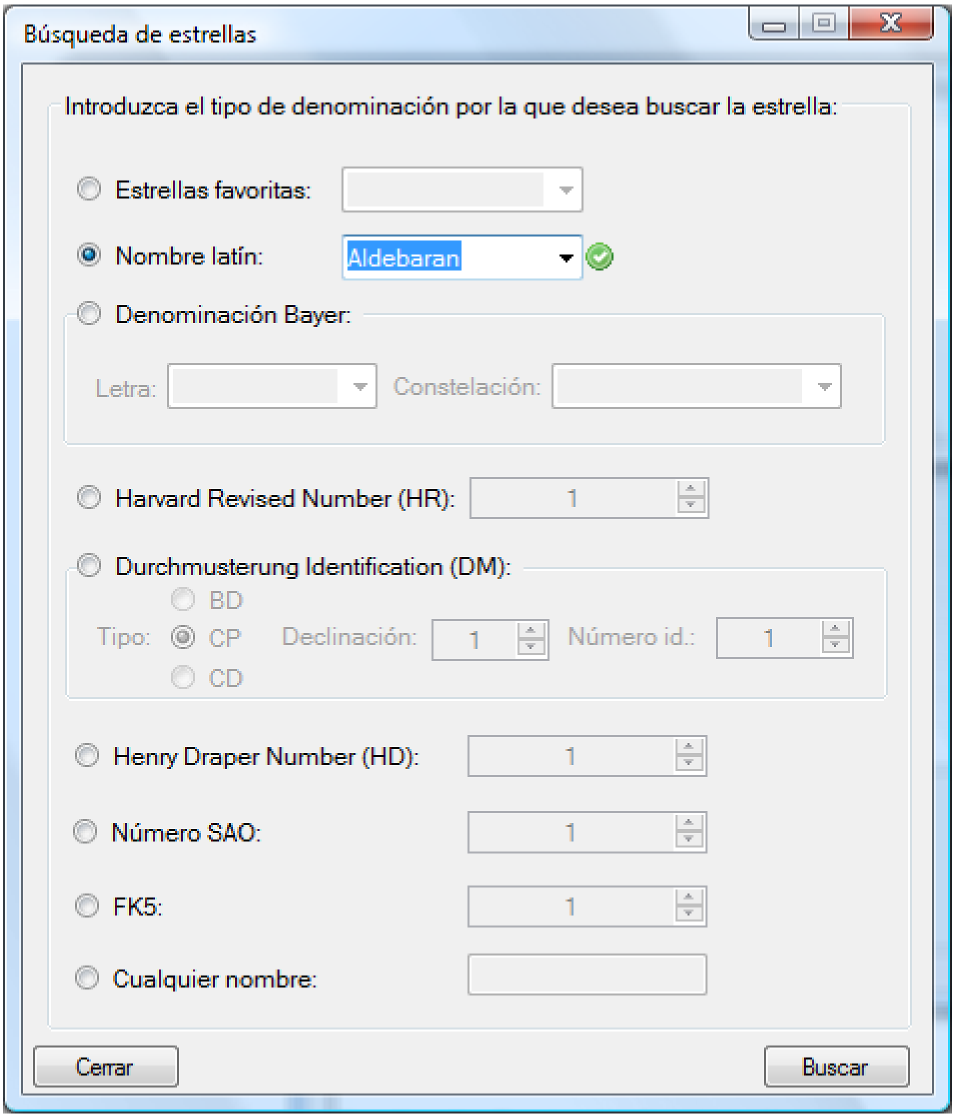


Figura II.17.

Luego damos clic en el botón buscar y veremos los datos astronómicos asociados a esta estrella;

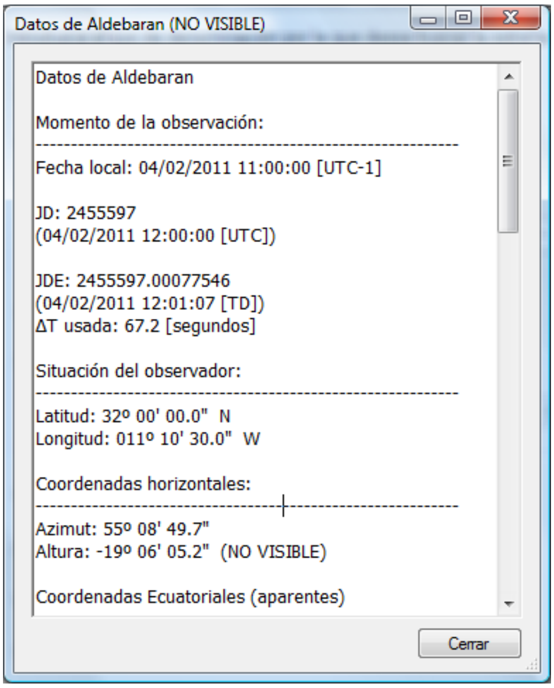


Figura II.18.

Si por ejemplo queremos ver todas las estrellas que comienzan o contienen la condena de caracteres; "*Bet*", podríamos seleccionar la opción; "Cualquier nombre" y allí teclear; "*Bet*", como sigue;

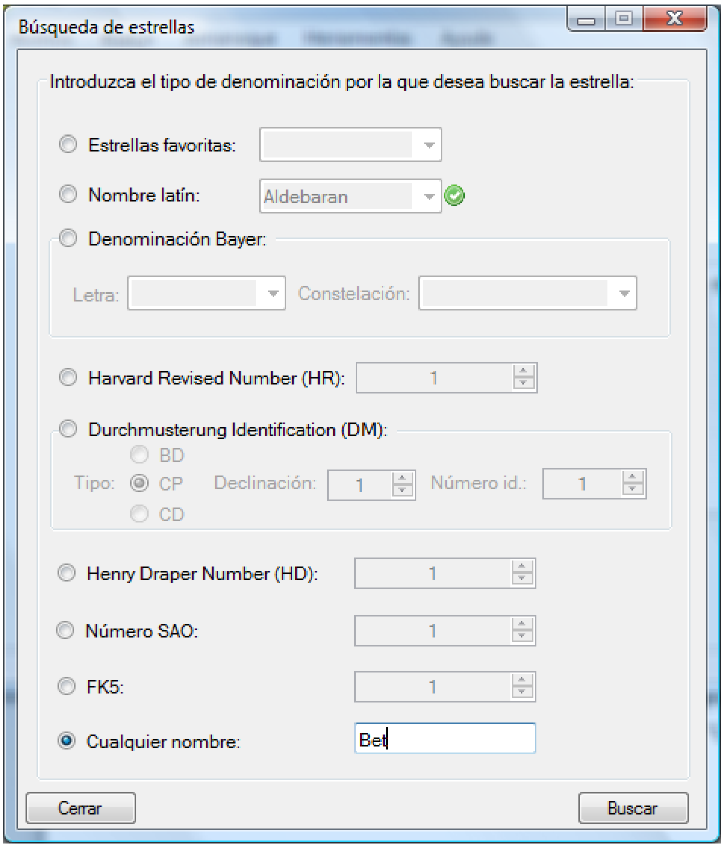
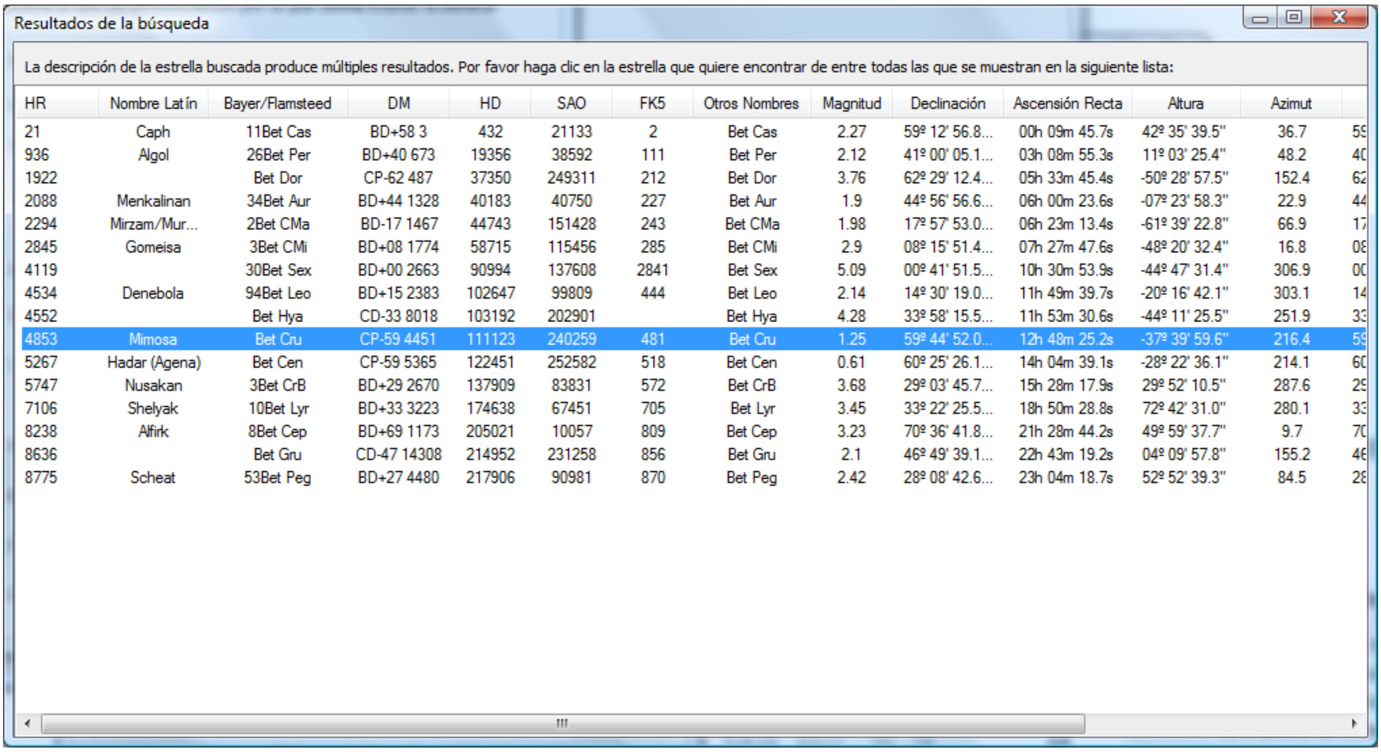


Figura II.19.

Luego hay que hacer clic en "Buscar" y veríamos el siguiente listado de astros que contienen en alguno de sus nombres la cadena "Bet", en ella podríamos seleccionar cualquier astro y ver sus datos asociados;



Resultados de la búsqueda

La descripción de la estrella buscada produce múltiples resultados. Por favor haga clic en la estrella que quiere encontrar de entre todas las que se muestran en la siguiente lista:

HR	Nombre Latín	Bayer/Flamsteed	DM	HD	SAO	FK5	Otros Nombres	Magnitud	Declinación	Ascensión Recta	Altura	Azimut
21	Caph	11Bet Cas	BD+58 3	432	21133	2	Bet Cas	2.27	59º 12' 56.8...	00h 09m 45.7s	42º 35' 39.5"	36.7
936	Algol	26Bet Per	BD+40 673	19356	38592	111	Bet Per	2.12	41º 00' 05.1...	03h 08m 55.3s	11º 03' 25.4"	48.2
1922		Bet Dor	CP-62 487	37350	249311	212	Bet Dor	3.76	62º 29' 12.4...	05h 33m 45.4s	-50º 28' 57.5"	152.4
2088	Menkalinan	34Bet Aur	BD+44 1328	40183	40750	227	Bet Aur	1.9	44º 56' 56.6...	06h 00m 23.6s	-07º 23' 58.3"	22.9
2294	Mirzam/Mur...	2Bet CMa	BD-17 1467	44743	151428	243	Bet CMa	1.98	17º 57' 53.0...	06h 23m 13.4s	-61º 39' 22.8"	66.9
2845	Gomeisa	3Bet CMi	BD+08 1774	58715	115456	285	Bet CMi	2.9	08º 15' 51.4...	07h 27m 47.6s	-48º 20' 32.4"	16.8
4119		30Bet Sex	BD+00 2663	90994	137608	2841	Bet Sex	5.09	00º 41' 51.5...	10h 30m 53.9s	-44º 47' 31.4"	306.9
4534	Denebola	94Bet Leo	BD+15 2383	102647	99809	444	Bet Leo	2.14	14º 30' 19.0...	11h 49m 39.7s	-20º 16' 42.1"	303.1
4552		Bet Hya	CD-33 8018	103192	202901		Bet Hya	4.28	33º 58' 15.5...	11h 53m 30.6s	-44º 11' 25.5"	251.9
4853	Mimosa	Bet Cru	CP-59 4451	111123	240259	481	Bet Cru	1.25	59º 44' 52.0...	12h 48m 25.2s	-37º 39' 59.6"	216.4
5267	Hadar (Agena)	Bet Cen	CP-59 5365	122451	252582	518	Bet Cen	0.61	60º 25' 26.1...	14h 04m 39.1s	-28º 22' 36.1"	214.1
5747	Nusakan	3Bet CrB	BD+29 2670	137909	83831	572	Bet CrB	3.68	29º 03' 45.7...	15h 28m 17.9s	29º 52' 10.5"	287.6
7106	Shelyak	10Bet Lyr	BD+33 3223	174638	67451	705	Bet Lyr	3.45	33º 22' 25.5...	18h 50m 28.8s	72º 42' 31.0"	280.1
8238	Alfirk	8Bet Cep	BD+69 1173	205021	10057	809	Bet Cep	3.23	70º 36' 41.8...	21h 28m 44.2s	49º 59' 37.7"	9.7
8636		Bet Gru	CD-47 14308	214952	231258	856	Bet Gru	2.1	46º 49' 39.1...	22h 43m 19.2s	04º 09' 57.8"	155.2
8775	Scheat	53Bet Peg	BD+27 4480	217906	90981	870	Bet Peg	2.42	28º 08' 42.6...	23h 04m 18.7s	52º 52' 39.3"	84.5

Figura II.20.

1.3.- El menú "Almanaque":

En este menú se han implementado tan solo una pequeña muestra de las prestaciones que pueden derivarse a nivel de predicción y establecimiento de las efemérides haciendo uso de los datos astronómicos calculados por SPAC. De momento se permiten dos opciones; la de calcular la entrada de las estaciones y la de calcular la fase lunar. De todos modos, opciones tan comunes como podrían ser; orto y ocaso de los astros, efemérides de los planetas o eclipses, se podrían desarrollar a partir de la capacidad de cálculo que ya ofrece SPAC.

Si dentro del menú; "Almanaque" seleccionamos; "Entrada de estaciones" se nos abrirá un desplegable que tiene el siguiente aspecto;

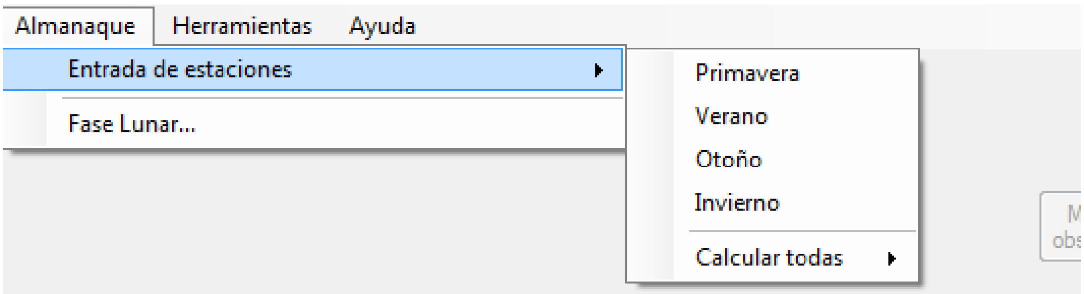


Figura II.21.

Si seleccionamos una estación SPAC nos dirá cuándo entrará esta a partir de la fecha para la que SPAC esté configurado. Por ejemplo si queremos saber cuándo entrará la primavera daríamos clic en "Primavera" y se nos mostraría lo siguiente;

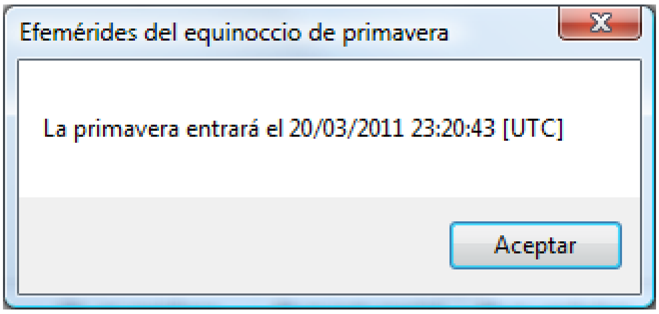


Figura II.22.

Si lo que quisiéramos es saber para un determinado año cuando sucederán sus cuatro estaciones, hemos de seleccionar la opción "*Calcular todas*" y una vez allí dar clic en la opción de menú; "*Para el año...*". Se nos mostraría un formulario similar al siguiente;

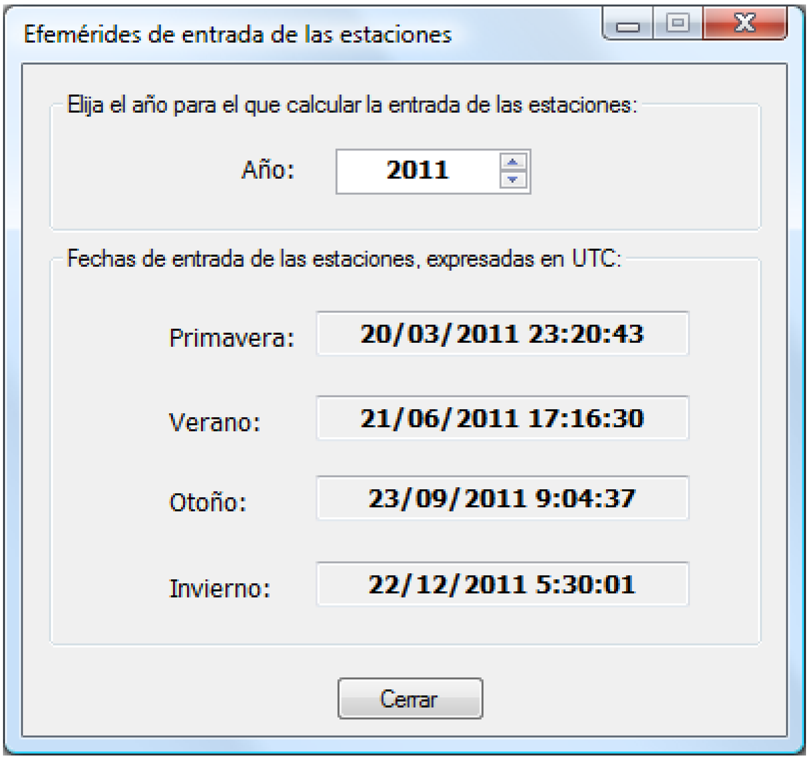


Figura II.23.

Si cambiáramos el año se nos mostrarían las nuevas efemérides de entrada de las cuatro estaciones para ese año.

Volviendo al menú "Almanaque" si seleccionamos la opción fase Lunar se nos abrirá el formulario siguiente;

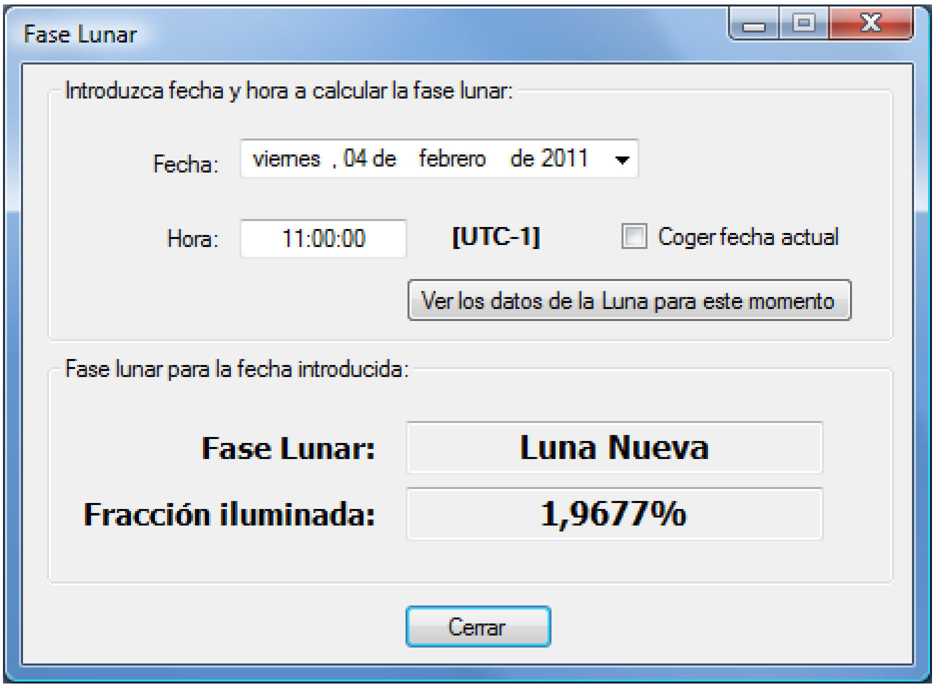


Figura II.24.

En el que podremos ver la fase de la Luna y el porcentaje de fracción iluminada de disco lunar visible desde la Tierra, para la fecha y hora seleccionadas. Podemos vincular dicha fecha y hora con la del sistema, de modo que la fase Lunar se vaya actualizando en tiempo real. Por último si damos clic en el botón de ver los datos, se nos mostrarán todos los datos de la Luna para el momento que hayamos indicado en el formulario de Fase Lunar.

1.4.- Añadir una observación y calcular la situación observada:

Para añadir una observación deberemos dar clic al botón; "Añadir Observación" situado en el formulario principal. A continuación se muestra el aspecto gráfico del nuevo formulario cuando se añadiese una observación cualquiera al cálculo de SPAC;

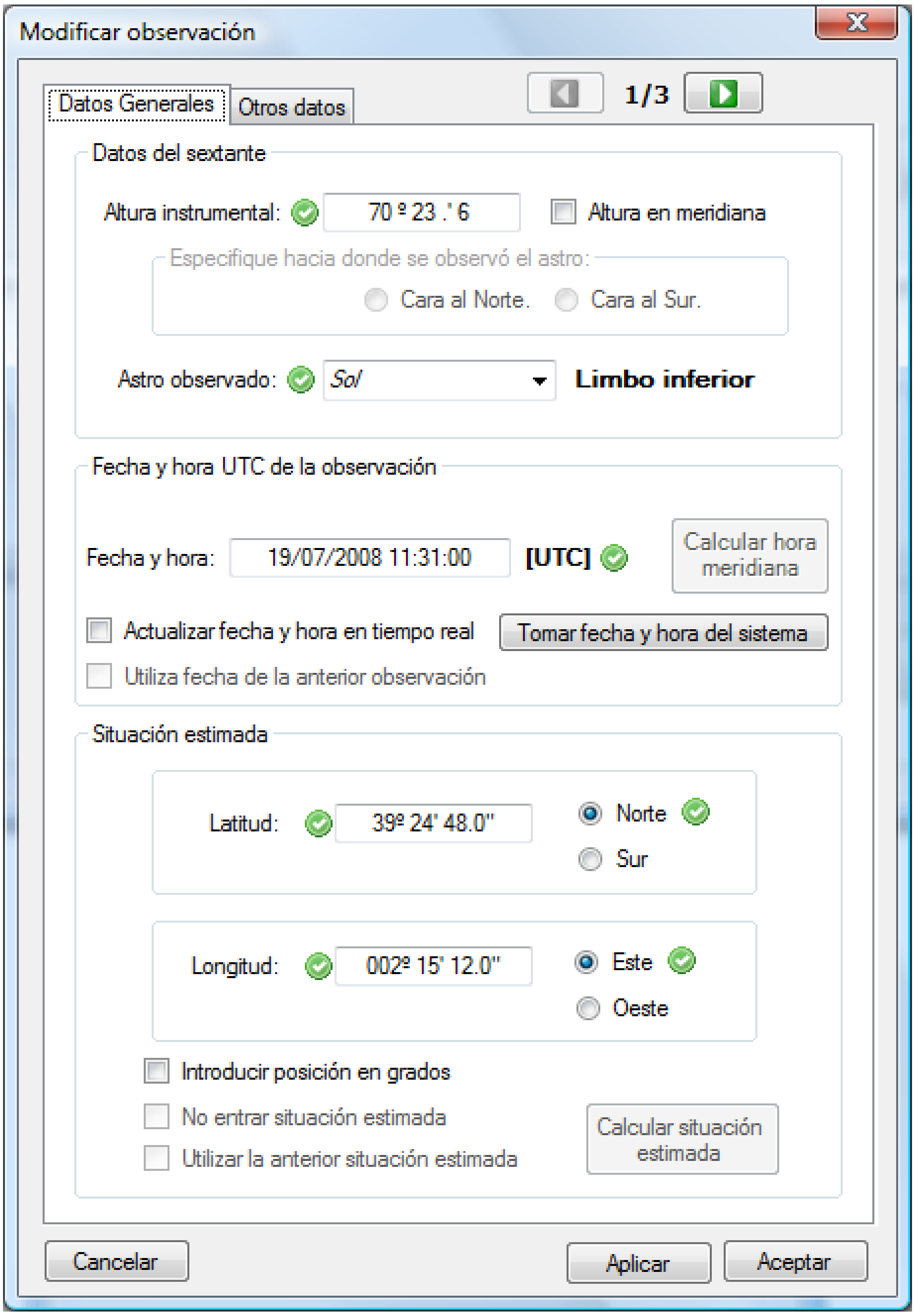


Figura 1.25.

En la segunda pestaña; "Otros datos" podemos ver los datos asociados a aquellos que configuramos en; "Opciones de SPAC" que intervengan en el cálculo. Si por ejemplo quisiéramos modificarlos, es aquí, donde podríamos. Dichos cambios se aplicarán únicamente en la Observación que tenemos abierta (estamos añadiendo), a menos que demos clic en el botón; "Establecer como valores por defecto" haciendo que tanto para esta observación como para las siguientes que añadamos dichos valores sean los que se escogerán por defecto, es decir, aquellos que se guardaran en la observación si el usuario no dice lo contrario (los cambia manualmente). El aspecto del formulario para esta pestaña sería el siguiente;

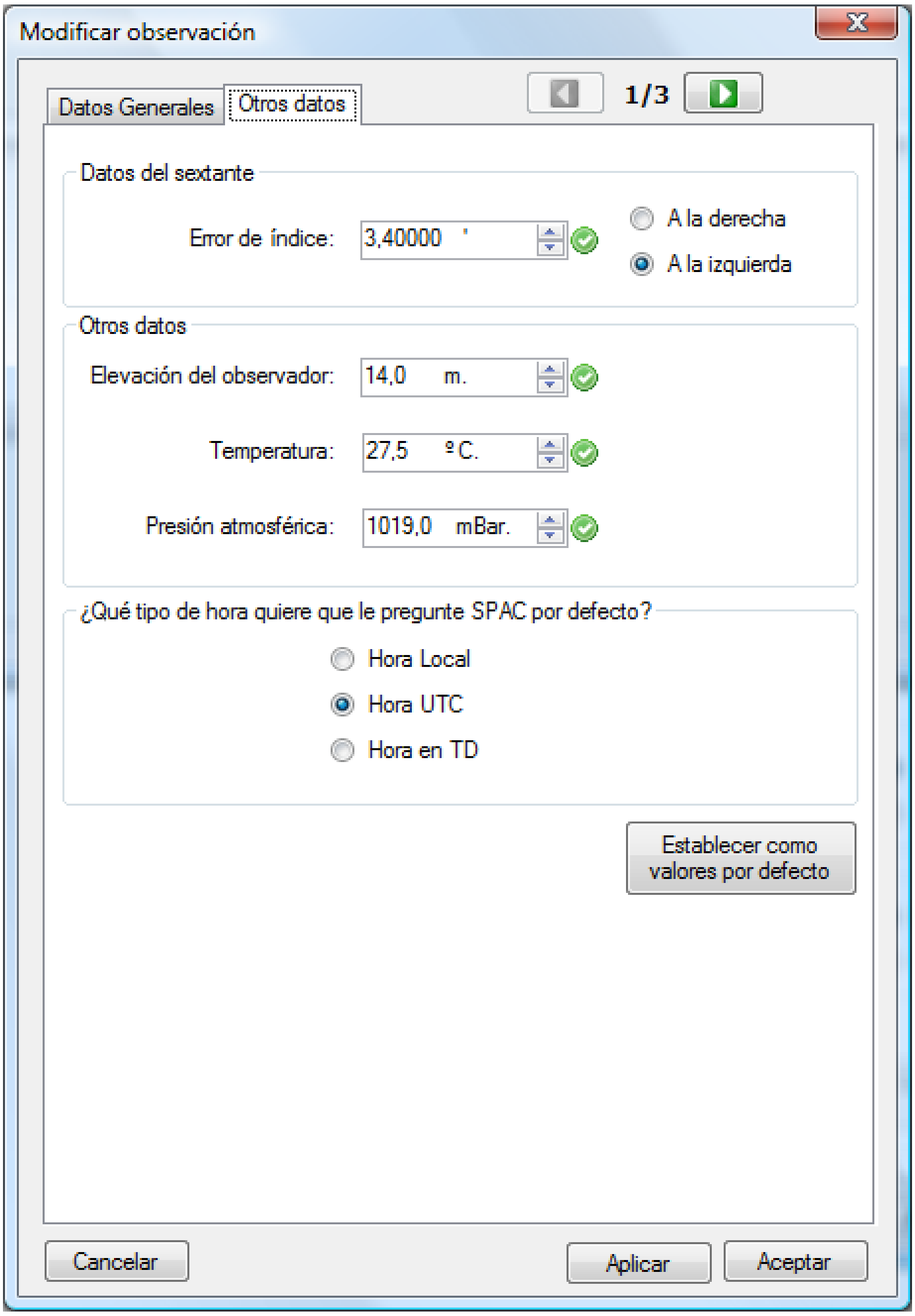


Figura II.26.

Suponemos que aparte de esta observación añadimos dos más correspondientes, que forman un cálculo de posicionamiento astronómico que queremos resolver, el aspecto final en SPAC de las tres observaciones añadidas sería el siguiente;

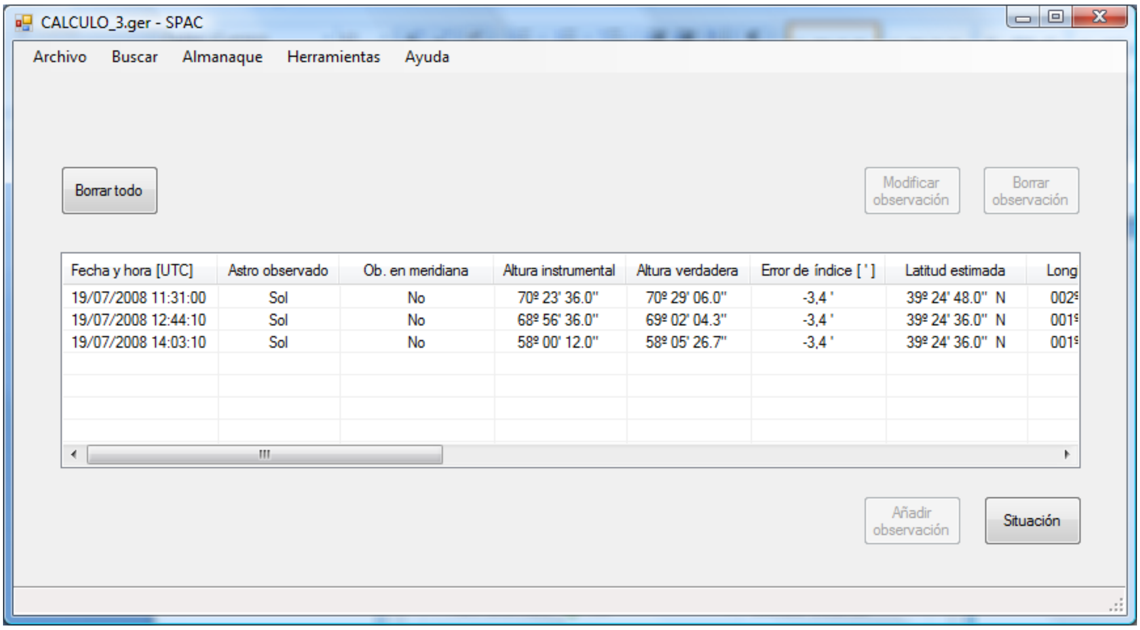


Figura II.27.

Si seleccionáramos en la tabla alguna de ellas las podríamos modificar o borrar según quisiéramos. Luego vemos que el botón "Situación" se muestra activado, (inicialmente, sin observaciones, este botón estará desactivado, es decir, no se puede hacer clic sobre el) si diésemos clic en él entonces nos aparecería la siguiente pantalla con la situación final del observador calculada por SPAC:

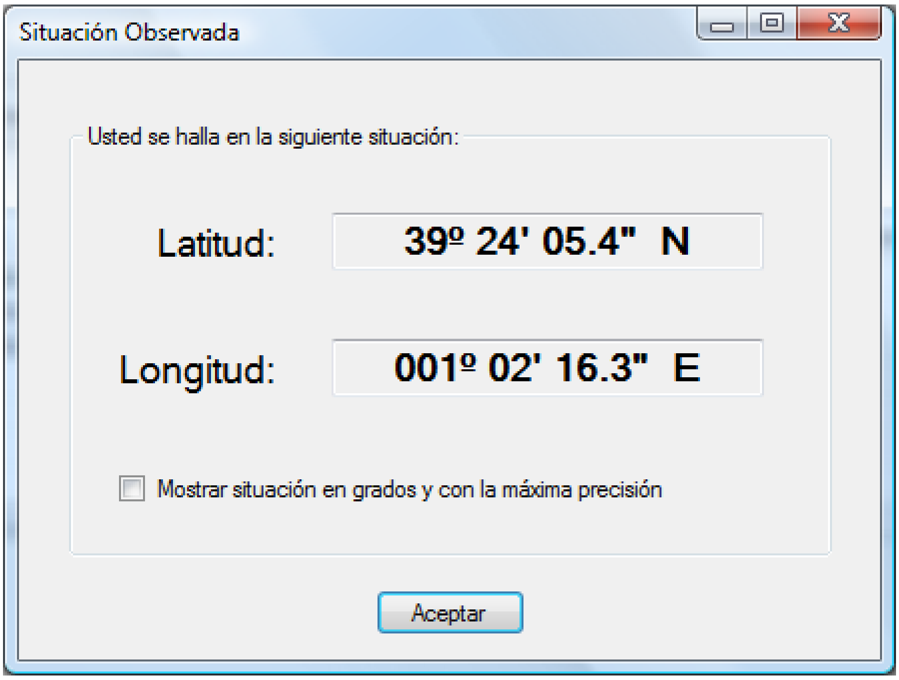


Figura II.28.

Por último cada cálculo astronómico realizado se puede guardar, abrir e imprimir.

Anexo III: Guía de uso de SpacMobile:

Primero de todo, **para instalar SpacMobile**, se deberá copiar el archivo "Instalador_SpacMobile.cab" dentro de la memoria del dispositivo. Para hacer esto se debe de conectar mediante el USB y por ActiveSync el móvil con el PC y des del explorador de Windows del PC copiar este archivo. **Si se utiliza el emulador de Windows Mobile entonces se deberán seguir los siguientes pasos:**

1. Abra el proyecto **SpacMobile.sln**, debe de haber instalado el software de desarrollo para Windows Mobile 6 o superior.
2. Ahora vaya a; "**Inicio>Programa>Centro de dispositivos de Windows Mobile**" y de clic en; "**Configuración del dispositivo móvil>Configuración de la conexión**" y seleccione **DMA** en "**Permitir conexiones a uno de los siguientes**"

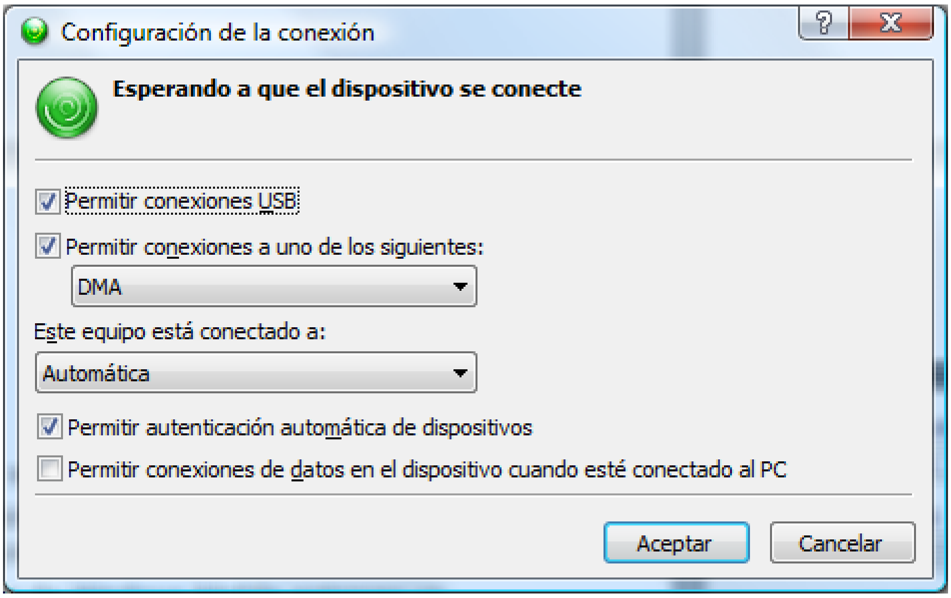


Figura III.1.

3. Regrese a Visual Studio 2008 dónde ha abierto anteriormente el proyecto de SpacMobile y vaya a; "**Herramientas>Administrador de emuladores de dispositvos**" y una vez allí busque de entre los de la lista el ítem de; "**Windows Mobile 6 Professional Emulator**" (si desea probarlo en otra versión de Mobile deberá seleccionar el correspondiente para esa versión).
4. Sobre el anterior ítem seleccionado haga clic en el botón derecho y seleccione la opción de "**Conectar**".
5. Una vez arrancado el emulador vuelva al Administrador de Emuladores y vuelva a dar clic con el botón derecho en el ítem anterior que ahora se muestra como corriendo. Ahora deberá seleccionar la opción "**colocar en la base**". Deberá quedar como esto;

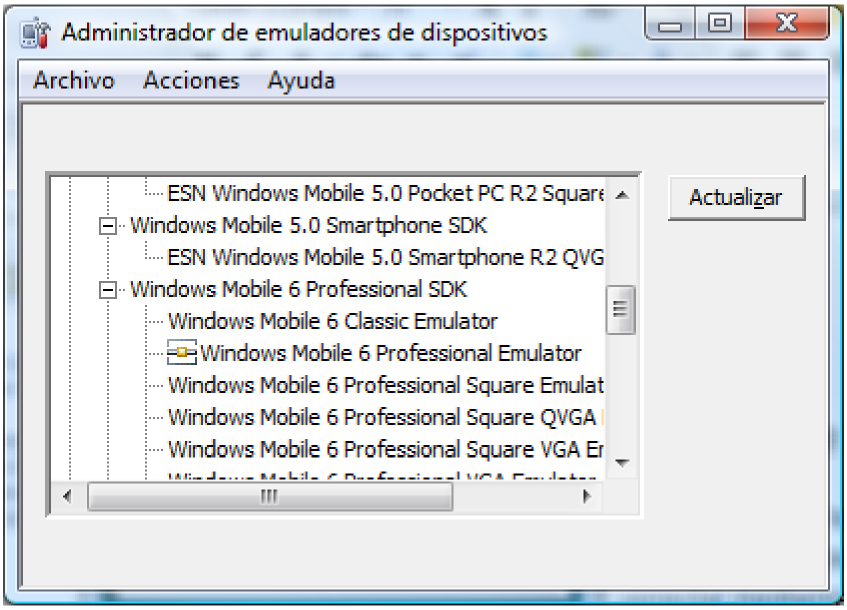
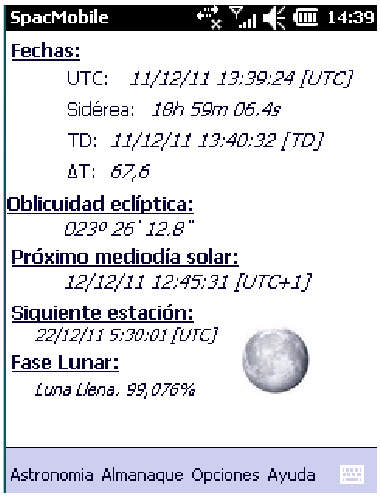


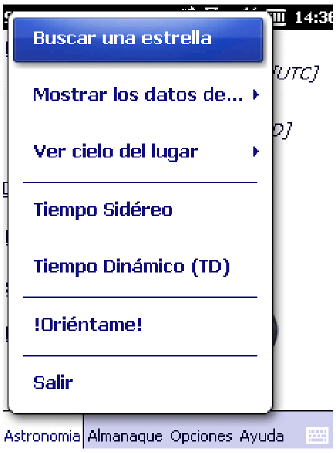
Figura III.2.

6. Ahora vaya al **Explorador de Windows** debería ver cómo se ha montado el dispositivo móvil como otra unidad del equipo.
7. Copie el archivo “**Instalador_SpacMobile.CAB**” (situado en; “**.\SpacMobile\Instalador_SpacMobile\Release\Instalador_SpacMobile.CAB**”) en el dispositivo, por ejemplo, directamente en la carpeta raíz.
8. Ahora des del dispositivo hay que ejecutar el anterior paquete de instalación copiado.
9. Si durante la instalación ocurre algún error, será debido a que no hay suficiente espacio. La solución a este problema es la instalación manual:
    a. Primero hay que borrar el archivo de instalación (.CAB) que acabamos de copiar.
    b. Luego hay que irse, des del PC conectados al móvil, a **Archivos de programa (Program files)** y allí crear la carpeta **SpacMobile** (si ya existe deberemos borrarla íntegramente y luego volverla a crear) copiar todos los archivos contenidos en la carpeta; “**.\SpacMobile\InstalacionManual\”** de la carpeta del proyecto adjuntada a este trabajo.
    c. Y ya tendremos instalado el programa, ahora des del emulador podemos acceder a él y ejecutarlo.

NOTA: Si SpacMobile no se va a instalar en el emulador de Windows Mobile simplemente deberá de conectar el teléfono físico al puerto USB del ordenador en modo **ActiveSync** y luego seguir las instrucciones a partir del punto 7 de la anterior guía de instalación. Si durante la instalación el móvil demanda alguna revisión del Compact Framework que no se halle ya instalada en este, tendremos que lo más rápido para resolver este inconveniente es ejecutar el programa en el teléfono físico des del proyecto de Visual Studio (una vez abierto presionar F5 y seleccionar la opción “device”, el teléfono debe estar conectado por el USB en modo ActiveSync y reconocido por el PC) habrá que dar que “SÍ” a todo aquello que nos pregunte el móvil, esta operación a parte de instalar el ejecutable de **SpacMobile** en el teléfono, nos instalará también el .Net Compact Framework 3.5 que necesitaremos para hacer correr la aplicación y que el teléfono de por si no tenía instalado.

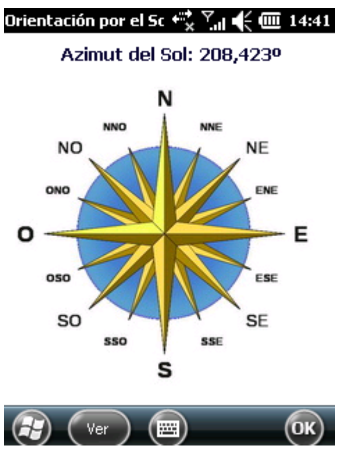


La aplicación final presentará un resumen con la predicción de los eventos astronómicos más relevantes para la posición, hora y datos astronómicos que haya fijado previamente el usuario en las preferencias del programa. Es decir, se mostrará información; de la hora que tiene el usuario en diferentes bases de tiempo, de la oblicuidad de la eclíptica prevista por el programa para la fecha en curso, de cuando sucederá el mediodía solar para la posición del usuario actual y se muestra la fase actual de la luna y la fecha en que entrará la siguiente estación.

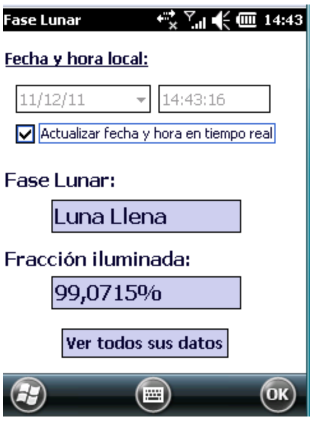


En los menús podemos ver las opciones de; buscar una estrella, mostrar los datos de los astros del sistema solar, mostrar el cielo del lugar, calcular el tiempo sidéreo y dinámico y la función ¡Oriéntame!.

La función ¡Oriéntame! Implementa la función de compás astronómico, es decir, un instrumento tal que sabiendo tu situación y la hora en la que estás te dice dónde se encuentra el norte verdadero tal y como se explicó en apartados anteriores. Para que el usuario pueda orientarse únicamente debe de alinear el azimut del astro calculado sobre la imagen de la brújula mostrada con el astro físico en sí que está observado. Si por ejemplo nos orientamos por el Sol y el azimut obtenido para nuestra hora y lugar es de 45º deberemos orientar el punto cardinal de la brújula NE (que es lo mismo que 45º) con el Sol que estamos observando, haciendo así que todos los demás puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) sean conocidos. Esta herramienta es útil en el supuesto de que sepas dónde estás (latitud y longitud) pero no poseas ningún instrumento adicional (véase brújula) para conocer dónde está el norte. Además, tiene un valor añadido y es que no obtendremos el norte magnético sino el verdadero, de modo que, si estamos en lugares con declinaciones magnéticas elevadas (polos y zonas de alto ruido magnético) podremos conocer el norte verdadero terrestre mientras que si en esa situación tuviésemos también una brújula esta nos indicaría el magnético que tendría un error enorme y no sería para nada fiable. Arriba nos indica qué astro ha calculado SpacMobile para orientarnos. Siguiendo el siguiente criterio:



- Si estamos de día el programa elegirá el Sol.
- Si es de noche y no hay Luna Nueva el programa elegirá la Luna.
- Para todos los otros casos, el programa elegirá el astro más brillante del firmamento que pueda ver el usuario en su cielo del lugar.



En el menú Almanaque podemos encontrar las opciones para el cálculo de la predicción de determinadas efemérides relevantes tales como; las fases lunares y la entrada de las estaciones.

Por último en; *“Opciones>Preferencias de SpacMobile…”* tendremos todas las variables de entorno de usuario que pueden ser parametrizadas según el usuario lo desee. Tales como; fijar fecha y hora, zona horaria, temperatura, presión atmosférica, situación geográfica, elevación con respecto el nivel del mar, delta de T a utilizar, fecha Juliana, etc. Prácticamente se incluyen tantas opciones como las dadas en la aplicación de escritorio de Windows (SPAC).