



TESIS DOCTORAL

*Algunas Soluciones Cartográficas
Aplicadas a la Física Solar*

José Manuel Nogales Galán

Departamento de Física

2017



TESIS DOCTORAL

*Algunas Soluciones Cartográficas
Aplicadas a la Física Solar*

José Manuel Nogales Galán

Conformidad del Director de la Tesis
Dr. José Manuel Vaquero Martínez
Departamento de Física

2017

Agradecimientos

Sirvan estas líneas para expresar mi más sincero agradecimiento a aquellas personas de las que he recibido su apoyo en la realización del presente trabajo, en especial al Dr. D. José Manuel Vaquero Martínez, director de este trabajo, por su orientación, y por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

También vaya mi gratitud a mis amigos del Centro Universitario de Mérida, por su apoyo y por su ayuda siempre presta cuando la he solicitado.

Hago un reconocimiento especial por su ayuda a mi amiga y profesora de lenguas clásicas Doña Lola González Molina.

Un especial agradecimiento por la comprensión, paciencia y ánimo recibidos de María José, Laura y Antonio.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Introducción	7
Capítulo 1. Marco teórico. Conceptos y definiciones	9
1.1. Rotación del Sol	10
1.2. Sistema de coordenadas heliográficas	11
1.3. La forma del Sol	12
1.4. Posición del Sol respecto de la Tierra	14
1.5. Cálculo gráfico de las coordenadas heliográficas	18
1.6. Cálculo de las efemérides solares	19
1.6.1. Coordenadas heliocéntricas del centro del disco solar	20
1.6.2. Ángulo de Posición del eje solar	22
1.7. Determinación de las coordenadas de una mancha	23
1.8. Determinación de la elongación heliocéntrica	25
1.9. Obtención de las coordenadas heliocéntricas mediante geometría descriptiva	26
1.10. Determinaciones históricas de los elementos de Carrington	28
Capítulo 2. Proyecciones usuales en los dibujos y fotografías del Sol	32
2.1. Proyecciones escenográfica y ortográfica	33
2.2. Radios del disco solar y de la esfera solar	34
2.3. Proyección escenográfica oblicua del Sol	35
2.4. Proyección ortográfica oblicua del Sol	38
2.5. Diferencia entre proyecciones	38
2.5.1. Error gráfico de la diferencia de proyecciones.	42
2.5.2. El caso del satélite artificial Solar Orbiter.	42
Capítulo 3. Manchas solares observadas por Soemmering (1826-1829)	44
3.1. Los diagramas de Thilo a partir de las observaciones de Soemmering	45
3.2. Metodología. Digitalización de los diagramas de Thilo	47
a. Dibujo de las cuadrículas de los diagramas	48
b. Ajuste de imágenes	48
c. Toma de las manchas	48
d. Dibujo de los diagramas	49
3.3. Cálculo de coordenadas y de superficies	50
3.4. Reducción de los datos de Soemmering por Carrington	50
3.5. Metodología. Digitalización del diagrama de Mariposa de Carrington	54
a. Dibujo de los diagramas de coordenadas	54

b.	Importación y ajuste de las imágenes	54
c.	Digitalización de las manchas solares	55
d.	Obtención de coordenadas de las manchas	55
e.	Transformación de coordenadas	56
3.6.	Thilo versus Carrington	56
3.7.	Comparación de las observaciones de Soemmering y Schwabe.	57
Capítulo 4.	Manchas solares observadas por Sestini (1850)	60
4.1.	Las observaciones de Sestini	61
4.2.	Manejo del programa HSunspots con las observaciones de Sestini	63
4.2.1.	Creación de un proyecto y carga de imágenes.	64
4.2.2.	Cálculo de efemérides solares	65
4.2.3.	Toma de las manchas solares	67
4.2.4.	Visualización y edición de observaciones	67
4.2.5.	Seguimiento de manchas y estadísticas	69
4.2.6.	Exportación de resultados	69
4.3.	Limitaciones y mejoras de HSunspots	70
4.3.1.	Determinación incorrecta de la longitud heliográfica	70
4.3.2.	Sólo admite observaciones de imágenes inversas y recortadas	70
4.3.3.	Imposibilidad de girar y ampliar las imágenes	71
4.3.4.	Identificación errónea de la superficie de las manchas	71
4.3.5.	Limitaciones de tratamiento digital de imágenes	71
4.4.	Cálculo de Coordenadas de las manchas solares dibujadas por Sestini	72
4.5.	Resultados y conclusiones	75
4.6.	Comparativa de los datos de Sestini con los Schwabe	76
Capítulo 5.	Observaciones de Oriani (1778-1779)	79
5.1.	Contenido de los artículos de Oriani	80
5.2.	Observaciones de Oriani	82
5.3.	Cálculo de las coordenadas heliográficas.	85
5.4.	Análisis de los resultados	92
5.5.	Comparativa con las observaciones de Staudacher	94
Capítulo 6.	Latitudes de manchas solares durante el mínimo de Maunder	101
6.1.	Introducción	102
6.2.	Datos y Métodos	103
6.3.	Resultados	105
6.4.	Asimetría a través del MM	106
Conclusiones		108
Apéndices		111

Apéndice 1. Gráficos de Thilo desagregados en 14 periodos	112
Apéndice 2. Coordenadas de las manchas determinadas por Thilo a partir de las observaciones de Soemmering.	117
Apéndice 3. Coordenadas de las manchas solares obtenidas por Carrington a partir de las observaciones de Soemmering.	135
Apéndice 4. Coordenadas heliográficas de las manchas de los dibujos observados por Sestini en 1850.	144
Apéndice 5. Artículo de Oriani traducido del latín.	153
Apéndice 6. Observaciones y coordenadas heliográficas de Oriani (1778-1779)	160
Apéndice 7. Tasa de rotación sinódica y coordenadas heliográficas de las manchas solares observadas por Oriani.	212
Apéndice 8. Latitudes de las manchas solares de Spörer (1889) y Ribes y Nesme-Ribes (1993)	216
Bibliografía	221

Algunas Soluciones Cartográficas Aplicadas a la Física Solar

Introducción

La actividad solar proporciona la energía necesaria para los diferentes y variados procesos que suceden en nuestro planeta, incluida la vida. No obstante, el Sol también emite radiaciones que son potencialmente perjudiciales para la vida en la Tierra, evitadas gracias al campo magnético y la atmósfera terrestre (Knipp, 2011).

Por otro lado, las tormentas solares (Koskinen, 2011) pueden causar enormes daños en los sistemas tecnológicos de nuestra civilización actual. La denominada tormenta de Carrington (Cliver and Dietrich, 2013), ocurrida en 1859, inutilizó las incipientes redes eléctricas y de telégrafos de Norteamérica y Europa. Se denominó así por el astrónomo inglés Richard Carrington, que fue el primero en observar una llamarada solar y relacionarla con las variaciones del campo geomagnético terrestre (Carrington, 1860). Los ejemplos modernos son numerosos. En marzo de 1989, una tormenta solar mucho menos intensa que la de 1859 inutilizó un transformador en Nueva Jersey dejando a 6 millones de personas en Quebec (Canadá) sin electricidad y provocando pérdidas de cientos de millones de dólares.

Algunos países se han tomado en serio el riesgo de tormenta solar, como Estados Unidos. El 13 octubre de 2016, el entonces presidente de los Estados Unidos Barak Obama dictó la Orden Ejecutiva “Coordinating Efforts to Prepare the Nation for Space Weather Events” con el objeto de que todas las autoridades de EE.UU. estuviesen preparadas ante una hipotética tormenta solar de enorme intensidad. En febrero de 2012, la Junta de Extremadura incluía en su plan territorial de protección civil un decálogo de recomendaciones para que los ciudadanos puedan estar preparados si ocurre una tormenta solar severa. Ese mismo año, en julio de 2012, pudo ocurrir un evento de meteorología espacial de extraordinaria magnitud (Baker et al. 2013). Sin embargo, la eyección de masa coronal no afectó de lleno a la Tierra.

En la actualidad, tenemos una gran cantidad de información sobre el Sol y el medio interplanetario, gracias a los observatorios instalados en el espacio y en la superficie de la Tierra. Sin embargo, las observaciones antiguas de manchas solares como las abordadas en esta tesis también son una fuente de conocimiento de la actividad solar que pueden ayudar a comprender (y predecir) su comportamiento (Vaquero y Vázquez, 2009). La utilidad de la información histórica en los estudios de física solar es que lo que pasó no se puede repetir: sólo podemos observar el Sol sin la posibilidad de hacer experimentos. Las series largas de observaciones nos han permitido detectar episodios de enorme interés científico como es el caso del Mínimo de Maunder (Eddy, 1976; Usoskin, et al. 2015), un periodo de muy baja actividad solar ocurrido en el siglo XVII que no se ha vuelto a observar. Por ello, las observaciones solares ya realizadas son cruciales y deben ser conservadas y estudiadas. Estamos convencidos de que es fundamental analizar los datos y observaciones del pasado desde la perspectiva de la ciencia moderna.

Las observaciones históricas del Sol no son otra cosa que mapas del Sol levantados desde la Tierra con la situación de los elementos visibles en el momento de la observación, normalmente manchas solares. A fin de cuentas, se trata de un mapa o una proyección cartográfica realizada desde la Tierra. Por tanto, debemos estudiar por una parte la forma del objeto que se cartografía (el Sol) y, por otro, establecer el sistema de referencia para que de esta forma a partir de un dibujo o mapa podamos obtener las

coordenadas heliográficas. Aunque los mapas se han usado siempre en astronomía, los mapas del Sol han sido poco explotados. En este trabajo, vamos a llevar los conocimientos básicos de la geodesia terrestre clásica a otro objeto del Sistema solar: el Sol. Los pilares básicos de la geodesia clásica son la superficie matemática del cuerpo y los sistemas de referencia, para poder asignar coordenadas a elementos presentes en la superficie matemática elegida.

El objetivo de la tesis es poner en valor observaciones históricas del Sol mediante la digitalización con diferentes herramientas cartográficas y de cálculo para obtener resultados e información útil actualizada. Para conseguir este objetivo este documento se divide en 6 capítulos:

En el capítulo 1, abordamos la forma del Sol y los sistemas de referencia utilizados para obtener la cartografía del mismo. Es necesario entender las relaciones entre la posición de la Tierra en su órbita y el aspecto del Sol; para poder calcular los elementos de posición del Sol y las coordenadas de las manchas solares de su “superficie”.

En el capítulo 2, a partir de una superficie de referencia para el Sol aplicaremos la teoría clásica de proyecciones cartográficas a las observaciones de manchas solares. Estudiaremos las diferencias entre considerar la proyección escenográfica o la ortográfica para representar el Sol.

En el capítulo 3, recuperamos parte de las observaciones perdidas que S. T. Soemmering realizara en Alemania entre 1826 y 1829, a través de sendas publicaciones de su discípulo L. Thilo y de R. Carrington, utilizando herramientas CAD (dibujo asistido por ordenador).

El capítulo 4 está dedicado a analizar la utilidad del programa informático HSunpot para la obtención de coordenadas de las manchas solares dibujadas por el profesor Benedict Sestini en Washington en 1847.

En el capítulo 5, obtenemos las coordenadas de las manchas de las observaciones instrumentales que Bardana Oriani realizara en Milán en los años 1778 y 1779 implementado las fórmulas necesarias en una hoja de cálculo.

En el capítulo 6, abordamos un episodio de enorme interés que no ha vuelto a suceder: un gran mínimo de actividad solar. Mediante la digitalización de los trabajos de Spörer (1889) y de Ribes y Nesme-Ribes (1993) estudiamos la asimetría de las manchas solares observadas durante el mínimo de Maunder (1645-1715). Con los resultados de este capítulo publicamos un artículo con el título de “Sunspot latitudes during the Maunder Minimum”, en la revista *Advances in Space Research*.

Por último en el apartado de Conclusiones, exponemos resumidamente los resultados esta tesis y los posibles estudios futuros.

Capítulo 1. Marco teórico. Conceptos y definiciones

En este capítulo, abordaremos en primer lugar el sistema de referencia utilizado en las observaciones solares, el cual se sitúa en el centro del Sol, y la posición relativa de este sistema con respecto a un observador situado en la Tierra. Por tanto, estudiamos cómo se determinan los elementos de posición del Sol desde la Tierra para obtener la posición relativa entre los dos astros. El sistema de referencia solar está materializado por el propio astro. Es necesario definir, pues, su forma y su movimiento. Por esto, empezaremos exponiendo la rotación del Sol y los últimos estudios realizados sobre la forma del mismo. Estudiaremos después la posición relativa de los ejes de rotación solar y terrestre y cómo esto influye en la visión que tenemos desde la Tierra del Sol a lo largo del año. A partir de los elementos de posición del eje solar, se determinan las coordenadas heliocéntricas de las manchas solares (bien a través de métodos gráficos, utilizando la geometría descriptiva, o bien mediante cálculos trigonométricos).

1.1. Rotación del Sol

El Sol es un cuerpo prácticamente esférico rotando diferencialmente alrededor de su eje. Por tanto, es posible establecer en el mismo un sistema de referencia con base en este movimiento. No obstante, es complicado determinar un sistema de referencia en el Sol ya que su superficie es cambiante, por lo que no hay puntos fijos que sirvan de referencia. Para determinar el periodo de rotación solar se ha venido utilizando desde tiempos de Galileo las manchas solares de la “superficie” visible del Sol (la parte más baja de la atmósfera solar denominada fotosfera). Así, se puede establecer el periodo de rotación solar determinando el intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos m_1 y m_2 (Figura 1.1) de una mancha por el meridiano central del observador situado en la Tierra (Aller, 1957). Ese periodo de rotación visto desde la Tierra se denomina rotación sinódica. Este periodo no es el verdadero periodo de rotación del Sol ya que la Tierra está orbitando alrededor del mismo. Mientras la mancha realiza una rotación sinódica con el Sol, la Tierra recorre un arco de la eclíptica, pasando del punto T_1 al punto T_2 . En este tiempo, la Tierra se ha adelantado en su órbita, siendo por tanto la rotación sidérea menor que la rotación sinódica. Ya que el movimiento de la Tierra alrededor del Sol no es uniforme, el periodo de rotación sinódica depende de la parte de la eclíptica que recorre la Tierra alrededor del Sol entre T_1 y T_2 , por lo que varía entre 27.20 y 27.33 días. El valor medio de la rotación sinódica es de unos 27.275 días.

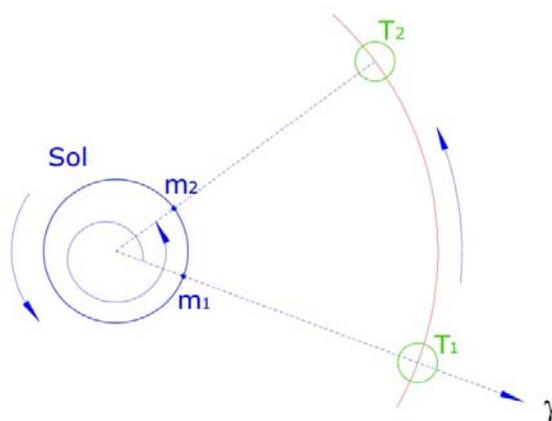


Figura 1.1. Rotaciones sinódica y sidérea

La rotación verdadera del Sol es la rotación sidérea, definida como la duración de una rotación con respecto a una estrella distante. El valor de la rotación sidérea del Sol, S, o rotación del Sol, se puede determinar con la siguiente expresión.

$$S = \frac{T \times P}{T + P} = \frac{27.275 \times 365.25}{27.275 + 365.25} = 25.38 \text{ días}$$

En la que T es el valor medio de la rotación sinódica y P es la velocidad de rotación de la Tierra alrededor de Sol. La rotación sidérea se define con respecto al punto Aries (γ), equinoccio de primavera.

Otro factor a tener en cuenta es que el Sol no es un cuerpo rígido por lo que la velocidad de rotación es mayor en el ecuador que en los polos. Así, la velocidad de rotación disminuye al aumentar la latitud, según la siguiente ecuación (Aller, 1957).

$$\omega = A + B (\sin \theta)^2 + C (\sin \theta)^4$$

En la que ω es la velocidad angular, θ es la latitud solar y A, B y C son constantes que describen el movimiento de rotación diario.

Como veremos más adelante en este capítulo, la velocidad de rotación del meridiano que pasa por el punto origen se ha definido de una forma un tanto arbitraria, al ser diferentes las velocidades de rotación de las manchas en las diferentes latitudes solares. Como las posiciones están referidas a un meridiano fijo de velocidad conocida y constante, es fácil de determinar las velocidades de las diferentes manchas en la longitud heliográfica con respecto a dicho meridiano. Nótese que esta rotación diferencial es la causa de la aparición de manchas solares por torsión de las líneas del campo magnético solar bipolar. A partir de la rotación del Sol, se define el sistema de referencia solar y las coordenadas heliográficas, o solares.

1.2. Sistema de coordenadas heliográficas

Como en otros sistemas de coordenadas astronómicas, las coordenadas se refieren a un plano fundamental y a un punto origen sobre dicho plano fundamental. En la Figura 1.2 representamos sobre la esfera del Sol los diferentes elementos utilizados para definir las coordenadas heliográficas (Duffett-Smith and Zwart, 2011). El plano fundamental es el ecuador solar, que es el círculo máximo que contiene los puntos O y Ω . El eje de rotación del Sol es la línea $P_N C$, que es perpendicular al plano del ecuador, la cual pasa por el centro del Sol (C) y corta a la esfera solar en P_N , polo norte solar.

Representamos también en la esfera del Sol el corte con la misma del plano de la eclíptica. Los planos de la eclíptica y del ecuador se cortan a lo largo de la línea $C\Omega$ (línea de los nodos), en la que el punto Ω es el nodo ascendente del Sol en el plano de la eclíptica. La línea $C\pi$ es la línea perpendicular al plano de la eclíptica desde el centro del Sol. Esta línea forma un ángulo i con el eje del Sol, el mismo que forman los planos del ecuador y de la eclíptica en el punto Ω . Las líneas de dirección trazadas desde el centro del Sol (C) hacia la Tierra y hacia el equinoccio de primavera cortan la superficie del Sol en los puntos T y γ respectivamente. Nótese que estos puntos se sitúan en la eclíptica.

El punto O, situado en el ecuador, es el punto origen de las longitudes solares. Este origen fue definido por Carrington como punto de corte de la eclíptica con el ecuador solar el 1 de enero de 1854 a medio día, fecha juliana 2398220.0. Es, por tanto, el punto que el 1 de enero de 1854 estaba en Ω , por lo que el punto O dista de Ω el valor del arco

la teoría general de la Relatividad, por lo que es necesario obtenerla con instrumentos espaciales. Con esta afirmación es suficiente para no tener en cuenta la falta de esfericidad de la esfera solar en las observaciones antiguas ya que, además de realizarse desde la Tierra, no se realizaron con las precisiones de los actuales sistemas de medida. Para los estudios abordados en esta tesis, podemos considerar la forma del Sol como esférica.

La

Tabla 1.1 contiene diferentes mediciones de lo oblato del Sol obtenidas con instrumentos espaciales en fechas recientes, obtenidas a diferentes longitudes de onda (Meftah et al. 2015). La primera medición que se obtuvo en el espacio fue en 1997, con el instrumento MDI a bordo del Observatorio solar y Heliosférico (SoHO), obteniendo una diferencia entre el radio del ecuador y el polo solares de $8,7 \pm 2,8$ milisegundos de arco (mas) (Emilio et al., 2007).

Tabla 1.1. Medidas espaciales recientes de la diferencia de los radios solares del ecuador del polo (Δr) con una σ (Meftah et al. 2015)

Instrumento	Longitud de onda [nm]	Fecha	Δr[mas]	Referencia
SoHO/MDI	676.78	1997	8.7 ± 2.8	Emilio et al.(2007)
RHESSI/SAS	670.0	2004	8.01 ± 0.14	Fivian et al.(2008)
SDO/HMI	617.3	2011 –2012	7.2 ± 0.49	Kuhn et al. (2012)
Picard/SODISM	535.7	2011	8.4 ± 0.3	Irbah et al.(2014)
Picard/SODISM	782.2	2010 –2011	7.86 ± 0.32	Meftah et al. (2015)

Desde entonces, han realizado esta medición otros instrumentos espaciales, como el Reuven Ramaty High Energy solar Spectroscopic Imager (RHESSI) y el Observatorio de Dinámica solar-Heliosísmico y Magnético (SDO/HMI). Estas mediciones han dado valores diferentes con diferentes incertidumbres. De hecho, diferentes artículos obtienen resultados que difieren más que el error de incertidumbre.

La medición realizada por el telescopio SODISM en la misión espacial Picard tenía como objetivo medir Δr con una precisión superior a 0.5 mas. Encontró en sus mediciones durante 2010 y 2011 una diferencia de los radios ecuador-polo solares de 7.9 ± 0.3 mas (5.7 ± 0.2 km) (Figura 1.3. Variación de Δr en la campaña SODSIM 2010-2011 (Meftah et al. 2015)

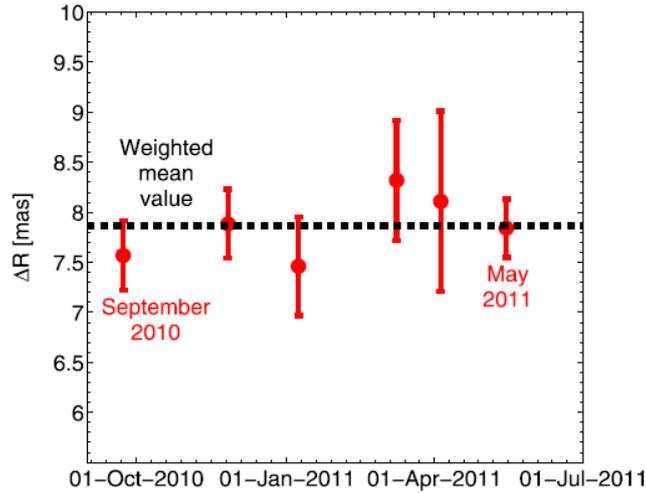


Figura 1.3. Variación de Δr en la campaña SODSIM 2010-2011 (Meftah et al. 2015)

Tras repetir las mediciones durante el primer año de las observaciones espaciales, no se ha observado ninguna correlación (Meftah et al. 2015) entre las variaciones de la diferencia de los radios (ecuador-polo) y de la radiación solar total.

La forma oblata del Sol es claramente constante y casi completamente inafectada por la variabilidad del ciclo solar vista en su superficie (Kuhn et al.2012). La medición exacta de lo oblato del Sol sigue siendo una cuestión actual y representa hasta el día de hoy un desafío científico y tecnológico (Meftah et al. 2015).

En la siguiente expresión determinamos de forma aproximada la diferencia angular de los radios ecuatorial en función de la diferencia lineal de dicho radios y de la distancia Sol-Tierra (1 AU).

$$\frac{5.7 \text{ km}}{1 \text{ AU}} r'' = \frac{5.7 \text{ km}}{149\,597\,870.7 \text{ km}} 206\,265'' = 0.00785'' = 7.9 \text{ mas}$$

La diferencia angular vista desde la tierra entre el radio ecuatorial y polar en torno a 8 mas, equivalente a 5.7 Km de diferencia lineal, que obtienen los diferentes estudios (Tabla 1.1) es una magnitud muy pequeña si se compara con la longitud del radio solar.

La proporción entre la diferencia de los radios y el radio solar es superior a 1/120 000 partes como vemos en el siguiente cálculo.

$$\frac{\Delta r}{R} = \frac{5.7 \text{ Km}}{695700 \text{ Km}} = \frac{1}{122050}$$

Esta proporción es insignificante en la determinación de coordenadas de series de observaciones antiguas, por lo que podemos considerar el Sol como un cuerpo esférico en esta tesis.

1.4. Posición del Sol respecto de la Tierra

Determinar las coordenadas heliográficas de una mancha respecto de la Tierra no es sencillo porque a lo largo del año varía el punto de vista, ya que los ejes de rotación de la Tierra y del Sol no son perpendiculares al plano de la Eclíptica (Figura 1.4).

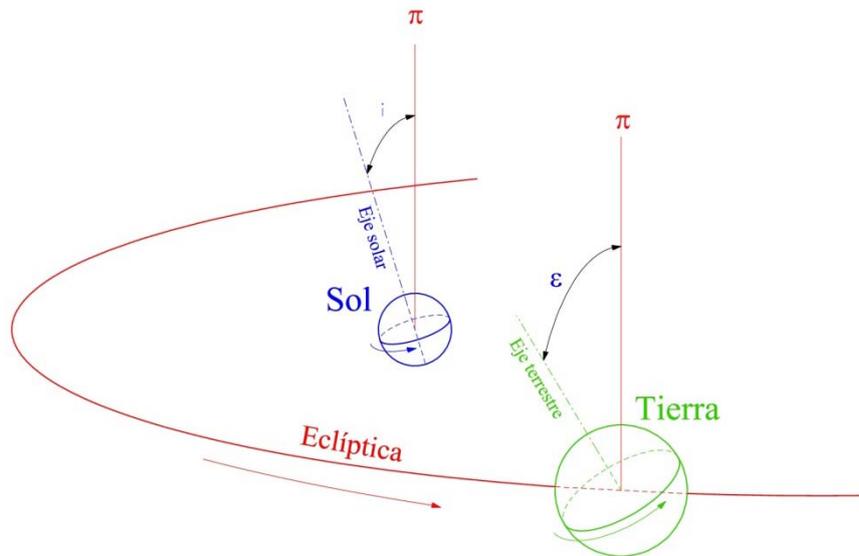


Figura 1.4. Inclinaciones de los ejes de rotación solar y terrestre con respecto al plano de la eclíptica

El ángulo de inclinación del eje de la Tierra con respecto a la eclíptica se denomina oblicuidad de la eclíptica ϵ que, como sabemos, es el responsable del cambio de estaciones, con un valor medio de unos 23.5° . Por otro lado, el ángulo i que el eje del Sol forma con la perpendicular al plano de la eclíptica tiene un valor de 7.25° .

Las inclinaciones relativas de los ejes de los dos astros producen a lo largo del año dos efectos observables desde la Tierra. Por un lado, la posición del polo norte del Sol se balancea $\pm 26.3^\circ$ a izquierda y derecha del polo norte aparente del disco solar perpendicularmente a la línea Sol-Tierra y, por otro, parece que el Sol tiene un cabeceo hacia delante y hacia atrás de la línea Sol-Tierra en un movimiento de $\pm 7.2^\circ$.

Cuando observamos el Sol desde la Tierra, vemos una proyección de la esfera solar sobre un plano perpendicular a la línea Sol-Tierra (Figura 1.5). La esfera solar se proyecta como una circunferencia, el disco solar. El centro del disco solar es la proyección del centro del Sol. La línea Sol-Tierra corta la superficie del Sol en el punto T.

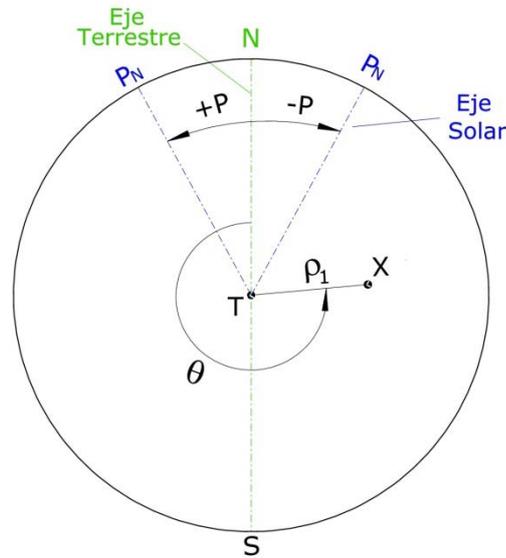


Figura 1.6. Elementos posición de la mancha X en el disco solar

El valor de P es aproximadamente 0° el 6 de enero (Figura 1.7) cuando están alineados los ejes del Sol y de la Tierra. Transcurriendo el tiempo, el eje solar gira hacia el oeste llegando a su máxima inclinación occidental (-26.3°) sobre el 7 de abril. A partir de esta fecha, el eje solar gira hacia el este hasta que P tiene de nuevo un valor de 0° sobre el 7 de julio. Continúa girando hacia el este hasta alcanzar su máxima inclinación oriental (26.3°) sobre el 10 de octubre.

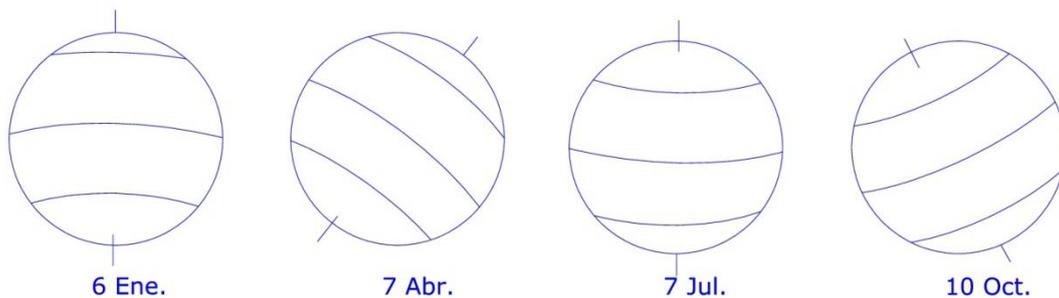


Figura 1.7. Variación anual del ángulo P

El cabeceo del eje del Sol hacia delante y hacia atrás respecto de la Tierra se define como latitud heliográfica del centro aparente del disco solar, denominada como B_0 . El valor de B_0 también varía a lo largo del año. Así, tenemos que el valor de B_0 es 0° a principios de diciembre cuando el ecuador solar coincide con el centro del disco solar. A partir de esta fecha el polo norte solar se aleja de la Tierra con lo que el ecuador se desplaza hacia el norte del centro del disco solar tomando por tanto el centro del disco solar un valor de latitud negativo. El eje del Sol toma su valor de inclinación máximo de -7.2° sobre el 6 de marzo, cuando empieza a crecer hasta volver a tener un valor de 0° a principios de junio.

Subsecuentemente, el polo norte solar se acerca hacia la Tierra, bajando la línea del ecuador solar por debajo del centro del disco solar por lo que el centro del disco solar pasa a tener una latitud aparente positiva máxima de 7.2° en septiembre. El efecto visual de estos movimientos aparentes del eje del eje solar es que las trayectorias de las manchas solares aparecen la mayor parte del año curvadas.

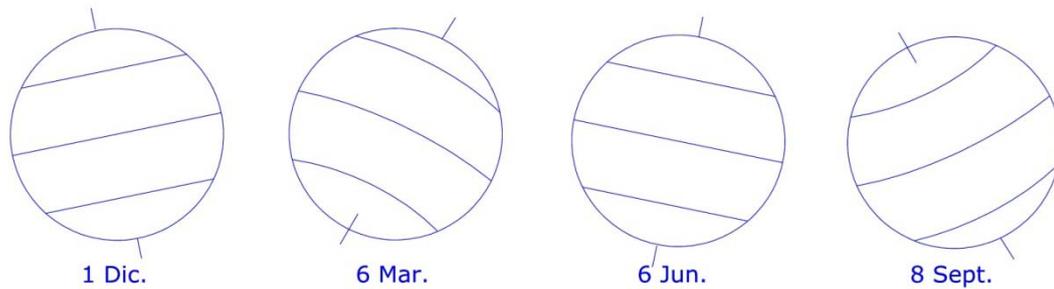


Figura 1.8. Variación anual del ángulo B_0

1.5. Cálculo gráfico de las coordenadas heliográficas

Si se conocen los valores de P y B_0 , es posible determinar las latitudes de las manchas solares dibujadas en un disco solar de una manera gráfica utilizando un disco Stonyhurst superpuesto sobre el disco solar (Figura 1. 9).

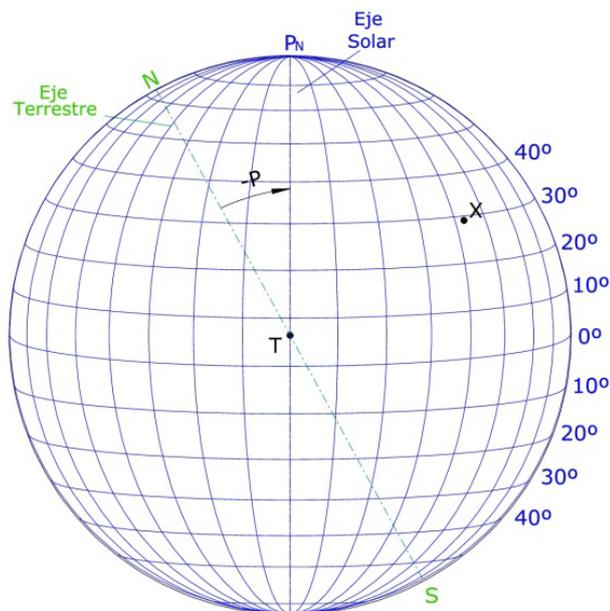


Figura 1. 9. Disco Stonyhurst para $B_0 = \pm 7^\circ$, para situar la mancha X

Los discos Stonyhurst son la proyección de los meridianos y paralelos del Sol sobre el disco solar en función del valor de B_0 . Para determinar las coordenadas heliográficas de una mancha dibujada, se selecciona el disco Stonyhurst del mismo diámetro del disco dibujado y con el valor de B_0 adecuado en función de la fecha de observación. A continuación, se gira el disco Stonyhurst el valor del ángulo P , correspondiente también a la fecha de la observación, a partir de la línea norte-sur, con lo que estarían superpuestos el meridiano central del disco Stonyhurst con la proyección del eje solar en el disco dibujado. Una vez situado y orientado el disco Stonyhurst sobre el disco dibujado, mediante interpolaciones en el caneavá del disco Stonyhurst, se determinarían las coordenadas heliográficas de las manchas. Las longitudes de las manchas se determinan a partir del meridiano central de longitud conocida L_0 .

La longitud del meridiano central es 0° al principio de cada rotación solar, tal y como se determina desde la primera rotación de Carrington. Como toda la superficie del Sol es cambiante, no es posible localizar este punto, así que para averiguar su posición se

asume que el Sol rota con un período de 25.38 días (valor asignado también por Carrington). De esta forma, es posible determinar los momentos de paso sucesivos y la longitud M' del meridiano central en una determinada época, mediante la expresión:

$$M' = \frac{360^\circ}{25.38} (JD - 2398220.0)$$

Donde JD es la fecha Juliana del momento de la observación y 2398220.0 es la fecha juliana del origen de rotación de Carrington. La cantidad M' debe reducirse al rango de 0° a 360° sustrayéndole múltiplos enteros de 360° .

Al medirse la longitud heliográfica de este a oeste, y rotar también el Sol de este a oeste, la longitud del meridiano central disminuye con el tiempo, por lo que es necesario corregir el valor obtenido para obtener la longitud correcta del meridiano central M con la expresión siguiente:

$$M = 360^\circ - M'$$

La velocidad de rotación del meridiano que pasa por dicho punto origen se ha definido de una forma un tanto arbitraria, al ser diferentes las velocidades de rotación de las manchas en las diferentes latitudes solares. Como las posiciones están referidas a un meridiano fijo de velocidad conocida y constante, es fácil de determinar las velocidades de las diferentes manchas en la longitud heliográfica con respecto a dicho meridiano.

Los valores de las efemérides solares P , B_0 y L_0 para una fecha se pueden obtener de los anuarios astronómicos, o también pueden ser calculados.

1.6. Cálculo de las efemérides solares

Para determinar las efemérides solares es necesario conocer la orientación del eje de rotación solar con respecto a la eclíptica. El eje de rotación del Sol, tal como lo conocemos hoy en día, se determinó a partir del propio movimiento de las manchas solares por Carrington (1853); otros observadores (por ejemplo, Clark et al. 1979) han repetido las observaciones con resultados parecidos. Se define la posición del eje de rotación solar a partir del plano de la eclíptica y su punto origen, el punto Aries (γ). Como ya hemos comentado, la eclíptica y el plano de ecuador solar se cortan a lo largo de la línea de los nodos.

Los dos ángulos que especifican la orientación del eje de rotación del Sol con respecto a la eclíptica, conocidos como los elementos de Carrington, son i (el ángulo que forman el plano de la eclíptica y el plano del ecuador solar visto desde el nodo ascendente) y Ω (ángulo que forman las direcciones, desde el centro del Sol, al punto Aries γ y al nodo ascendente).

En la Figura 1.10, representamos sobre la esfera solar el corte sobre la misma del plano de la eclíptica, con lo que podemos ver las coordenadas ecuatoriales heliocéntricas y las coordenadas eclípticas heliocéntricas del punto T. Como ya hemos dicho antes, T es el punto de corte de la línea Sol-Tierra con la esfera solar, y punto central del disco solar que se observa desde la Tierra. El Sol gira continuamente de este a oeste, y la Tierra también gira alrededor del Sol recorriendo a lo largo del año la eclíptica cambiando su longitud eclíptica continuamente aunque su latitud eclíptica sea prácticamente igual a cero.

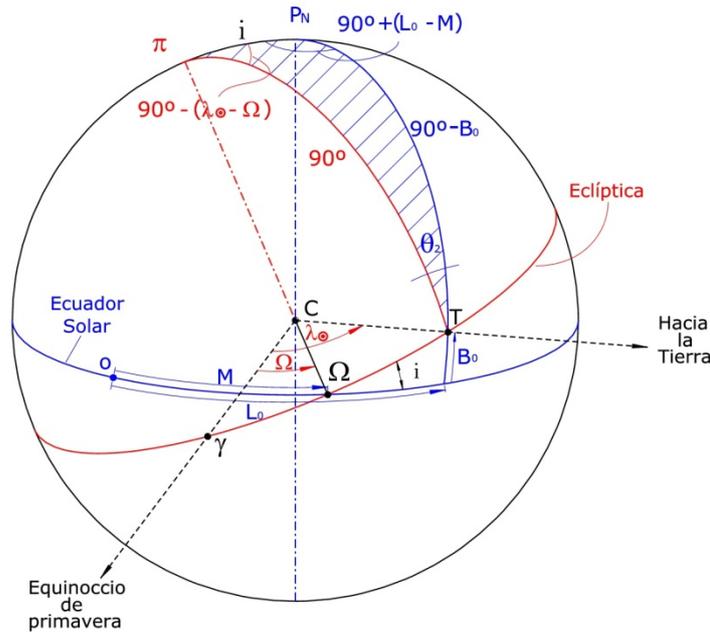


Figura 1.10. Coordenadas eclípticas y ecuatoriales heliocéntricas de T

Resolviendo el triángulo de posición $\pi P_N T$ podemos obtener las efemérides a partir de los elementos de Carrington i y Ω (π es el polo de la eclíptica que pasa por C). El lado πP_N es igual a i , ángulo formado por los planos del ecuador solar y de la eclíptica. El lado $P_N T$ es la colatitud ecuatorial de T. El lado πT es igual a 90° ya que la latitud eclíptica de T es 0° al estar la Tierra siempre en el plano de la eclíptica. De la figura se deduce que el ángulo en el vértice π tiene un valor de $90^\circ - (\lambda_\odot - \Omega)$, donde λ_\odot es la longitud eclíptica de la Tierra y Ω es la ascensión recta del nodo ascendente, ambos ángulos medidos desde γ . Mientras que el valor del ángulo del vértice P_N es igual a $90^\circ + (L_0 - M)$, donde L_0 es la longitud ecuatorial del centro del disco solar y M es la longitud ecuatorial del nodo ascendente del Sol. Por último, el ángulo en el vértice T es θ_2 que es el ángulo aparente que forman el eje solar y la línea perpendicular a la eclíptica para un observador situado en la Tierra.

1.6.1. Coordenadas heliocéntricas del centro del disco solar

Puede observarse en la Figura 1.10 que las coordenadas heliocéntricas de T son L_0 y B_0 , las efemérides buscadas, es decir, longitud del meridiano central del disco solar y ángulo de cabeceo del eje del Sol. Aplicando la fórmula del coseno al citado triángulo esférico $\pi P_N T$ tenemos

$$\cos(90 - B_0) = \cos i \cos 90 + \sin i \sin 90 \cos[90 - (\lambda_\odot - \Omega)].$$

Operando y despejando

$$\sin B_0 = \sin i \sin(\lambda_\odot - \Omega).$$

Con lo que obtenemos el valor de B_0

$$B_0 = \sin^{-1}[\sin i \sin(\lambda_\odot - \Omega)].$$

La fórmula que permite obtener la ascensión recta (α) de las coordenadas ecuatoriales geocéntricas en función de las coordenadas eclípticas geocéntricas (λ , β) (Duffett-Smith and Zwart, 2011), que es función del ángulo ϵ que forman los planos del ecuador solar y de la eclíptica, es la siguiente

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \lambda \cos \epsilon - \tan \beta \sin \epsilon}{\cos \lambda} \right).$$

Si sustituimos en esta expresión las coordenadas heliocéntricas correspondientes del triángulo de la Figura 1.10, tendremos

$$L_0 - M = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\Omega - \lambda_{\odot}) \cos i - \tan 0^{\circ} \sin i}{-\cos(\Omega - \lambda_{\odot})} \right).$$

Operando y despejando obtenemos la longitud del meridiano central del disco solar

$$L_0 = \arctan \left(\frac{\sin(\Omega - \lambda_{\odot}) \cos i}{-\cos(\Omega - \lambda_{\odot})} \right) + M.$$

En estas dos ecuaciones, el valor de Ω (ascensión recta del nodo ascendente del Sol) varía con el tiempo, por lo que se calcula con la expresión

$$\Omega = 74^{\circ} 22' + 84' T.$$

La inclinación del plano del ecuador solar respecto de la eclíptica es $i = 7^{\circ} 15'$, y T es el número de siglos Julianos desde la época 1900 Enero 0.5 (fecha juliana 2415020) hasta la fecha juliana de la observación JD, determinado con la expresión:

$$T = \frac{JD - 2415020}{36525}$$

El valor de la longitud eclíptica heliocéntrica de la Tierra es λ_{\odot} (Figura 1.11). Es igual a

$$\lambda_{\odot} = v + \varpi_g.$$

La longitud eclíptica heliocéntrica es función de ϖ_g , longitud eclíptica del perigeo de la Tierra, y de la anomalía verdadera v , cuyos valores respectivos se determinan con las expresiones:

$$\varpi_g = 281.2208444 + 1.719175 T + 0.000452778 T^2 \text{ (grados) y}$$

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2},$$

siendo e la excentricidad de la eclíptica, igual a

$$e = 0.01675104 - 0.0000418 T - 0.000000126 T^2,$$

y E la anomalía excéntrica de la Tierra, que a su vez se determina aplicando reiterativamente la fórmula de Kepler

$$E_n = M_{\odot} - e \sin E_{n-1},$$

empezando con $E_0 = M_{\odot}$, donde M_{\odot} es la anomalía media de la Tierra. Esta se determina mediante la expresión:

$$M_{\odot} = 358.47583 + 35999.04975 T - 0.000150 T^2 - 0.0000033 T^3.$$

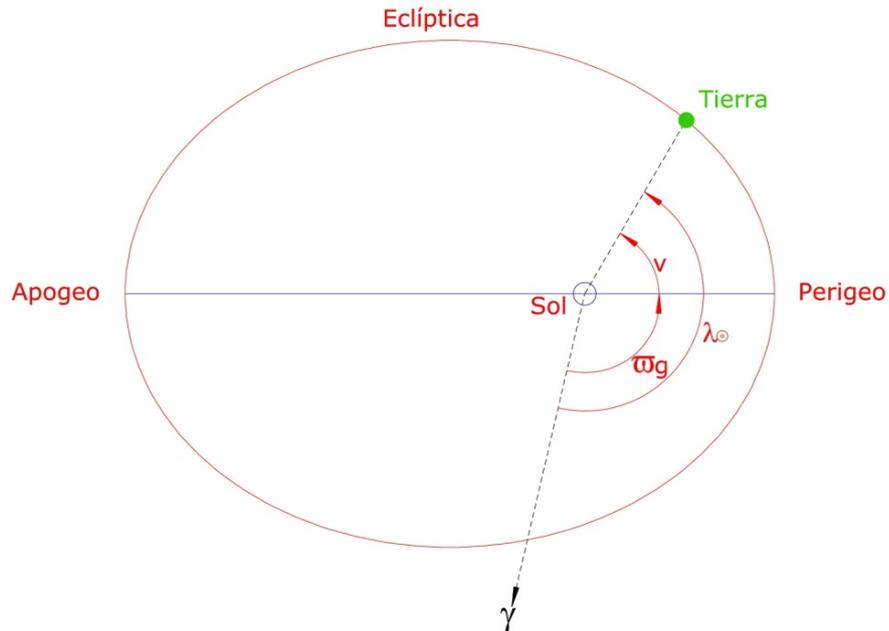


Figura 1.11. Definición de la longitud eclíptica de la Tierra

1.6.2. Ángulo de Posición del eje solar

Como ya sabemos, el ángulo P ("ángulo de balanceo"), es el ángulo formado por el eje de rotación de la Tierra y el eje de rotación del Sol vistos desde la Tierra proyectados sobre el disco solar. Para determinar este ángulo representamos sobre la esfera de direcciones el ecuador terrestre y el eje de rotación terrestre (Figura 1.12). El plano del ecuador terrestre y la eclíptica se cortan en la línea que define el centro de la esfera y la dirección al punto Aries (γ). Ambos planos forman el ángulo ε , oblicuidad de la eclíptica, el mismo ángulo que forman la vertical a la eclíptica y el eje de rotación terrestre. Se forma un nuevo triángulo de posición N π T adyacente al triángulo $P_N \pi T$ ya visto. Por tanto, para determinar el valor de P hay que determinar los ángulos que para un observador en la Tierra forman el eje de la eclíptica con los ejes de rotación solar y terrestre. El ángulo P es la suma de dos ángulos

$$P = \theta_1 + \theta_2.$$

Para determinar el valor de estos ángulos es necesario resolver los triángulos esféricos que se muestran en la Figura 1.12. Los polos norte del Sol y de la Tierra giran a lo largo del año con respecto al polo de la eclíptica. El ángulo θ_1 toma valores entre 0° y $\pm 23.5^\circ$ y θ_2 toma valores entre 0° y $\pm 7.25^\circ$.

El ángulo θ_1 es el ángulo formado por el eje de rotación terrestre y el eje de la eclíptica, visto desde la Tierra. Su valor se obtiene resolviendo el valor del ángulo del vértice T del triángulo esférico N π T:

$$\theta_1 = \tan^{-1}\{-\cos \lambda_{\odot} \tan \varepsilon\}.$$

El ángulo θ_2 es el ángulo aparente que forman el eje de rotación solar y el eje de la eclíptica sobre el disco solar para un observador en la Tierra. Para determinar su valor, resolvemos el triángulo esférico $\pi P_N T$;

$$\theta_2 = \tan^{-1}\{\cos(\Omega - \lambda_{\odot}) \tan I\}.$$

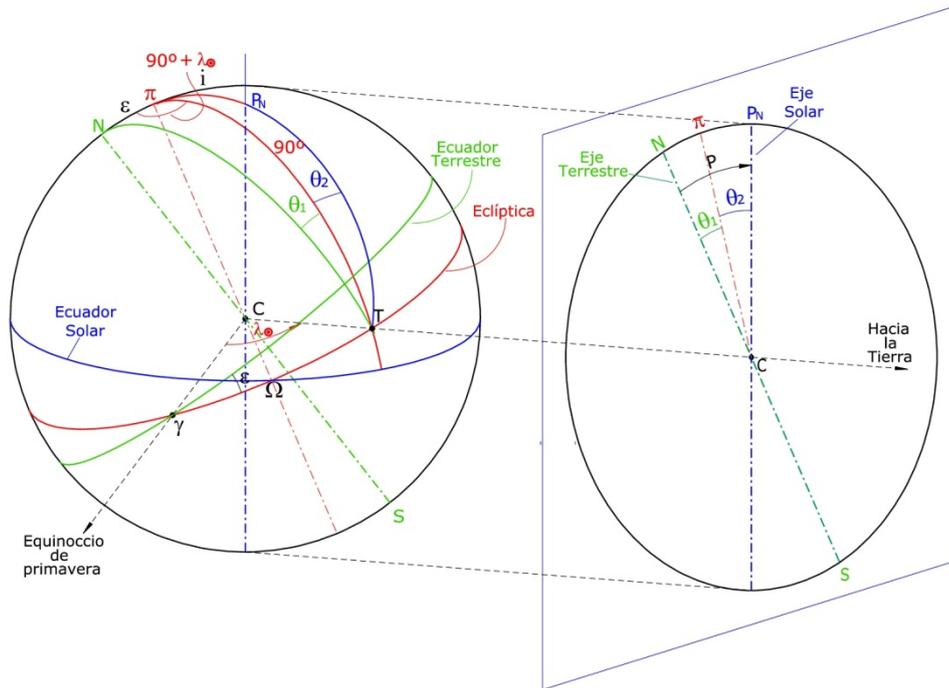


Figura 1.12. Posiciones de los ejes en la esfera y proyección en el disco solar

1.7. Determinación de las coordenadas de una mancha

Cuando se observa el Sol, se percibe un disco plano (Figura 1.12) cuyo centro es el punto T. La línea NS representa la proyección del eje de rotación de la Tierra. A partir de esta línea, conociendo el valor de P, se sitúa el polo norte del eje de rotación del Sol. Una vez conocida la dirección del eje solar es fácil orientar un disco Stonyhurst haciendo que el eje central del mismo coincida con la dirección determinada del eje solar. Como ya comentamos, se obtienen las coordenadas heliográficas de las manchas interpolando entre la cuadrícula del disco Stonyhurst.

También es posible definir la posición de una mancha X a partir del centro del disco solar mediante las coordenadas ρ_1 y θ (Figura 1.6). La clave está en convertir ρ_1 y θ en B y L.

En la Figura 1.13 tenemos el triángulo esférico sobre la superficie del Sol definido por los siguientes vértices: El polo norte del Sol P_N , el centro del disco solar T, (donde la línea Sol-Tierra corta la superficie del Sol) y el centro de la mancha X. Podemos deducir que el lado $P_N T$ es la colatitud heliocéntrica del centro del disco solar ($90^\circ - B_0$), el lado $P_N X$ es la colatitud de la mancha X ($90^\circ - B$) y el lado TX es la elongación heliocéntrica de la mancha X cuyo valor es ρ que ya abordaremos más adelante cómo calcularla. Por otro lado, el ángulo en el vértice P_N tiene un valor de $L - L_0$, diferencia de longitudes de la mancha y del centro del disco solar, y el ángulo en el vértice T es el acimut de la mancha en cuestión.

1.8. Determinación de la elongación heliocéntrica

Como hemos visto en el apartado anterior, las coordenadas heliocéntricas de una mancha son función de la elongación heliocéntrica de mancha ρ . Sin embargo, en los dibujos de discos del Sol, sólo podemos obtener magnitudes lineales. Por tanto, se trata de convertir medidas lineales realizadas sobre los dibujos de manchas del disco solar en magnitudes angulares.

En Figura 1.14, tenemos la sección diametral del Sol producida por el plano que pasa por el punto de observación desde la Tierra O, por el centro del Sol C y por la mancha M, en la que $R = CA = CM$ es el radio del Sol. La mancha M aparecería proyectada en M' . Las distancias R y r (CM') son, respectivamente, el radio del disco solar y la distancia entre el centro del disco solar y la mancha. El ángulo S es el radio angular del Sol visto desde la Tierra para la fecha de observación.

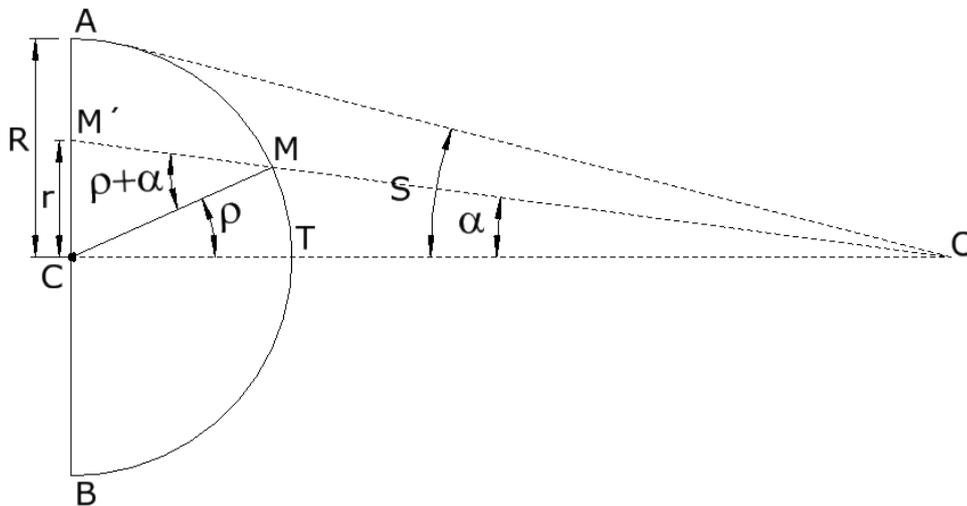


Figura 1.14. Elongaciones geocéntrica y heliocéntrica de la mancha M

El ángulo α es el ángulo que para un observador situado en la Tierra forman las líneas hacia el centro del Sol C y hacia el centro de la mancha M (también denominada elongación geocéntrica de M). El ángulo ρ es el ángulo que para un observador situado en el centro del Sol C forman las visuales hacia la Tierra y hacia el centro de la mancha M (elongación heliocéntrica).

A la vista de la Figura 1.14, podemos establecer la siguiente relación en el triángulo ACO suponiendo la proyección ortogonal y que los ángulos son muy pequeños

$$\frac{r}{R} \approx \frac{\tan \alpha}{\tan S} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin S}$$

Despejando, obtenemos el valor de α

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{r \tan S}{R},$$

en la que r y R son valores medidos en el dibujo del disco solar y el valor de S se puede obtener de las efemérides.

Por otro lado, también tenemos en el triángulo CMM' que el ángulo en el vértice M' es prácticamente un ángulo recto. Así,

$$\sin(\rho + \alpha) \approx \frac{r}{R}$$

y

$$\sin(\rho + \alpha) \approx \frac{\sin \alpha}{\sin S}$$

Despejando, obtenemos

$$\rho = \sin^{-1} \frac{\sin \alpha}{\sin S} - \alpha.$$

Como los ángulos α y S son muy pequeños, se puede aproximar mediante la expresión

$$\rho = \sin^{-1} \frac{\alpha}{S} - \alpha.$$

Esta expresión permite obtener el ángulo ρ a partir del ángulo observado α conociendo el valor de S . Este último valor se puede obtener de las efemérides o puede calcularse mediante la expresión

$$S = S_0 \left(\frac{1 + e \cos v}{1 - e^2} \right),$$

donde e es la excentricidad de la órbita solar, ya determinada, v es la anomalía verdadera del Sol, también explicada anteriormente, y S_0 es el diámetro angular del Sol para una época de referencia.

La solución es exacta si suponemos que la proyección es ortogonal. Pero esto es imposible con todo rigor como veremos en otro apartado. De momento vamos a considerarlo como tal proyección ortogonal ya que la distancia al Sol, aunque muy grande, no es infinita. Por ello la proyección es ligeramente cónica. Así, habría que ver cuánto se deberían corregir las coordenadas para convertirlas en una proyección exactamente ortogonal. Esto lo abordaremos en otro apartado.

1.9. Obtención de las coordenadas heliocéntricas mediante geometría descriptiva

Un tercer método para determinar las coordenadas heliográficas de una mancha, una vez conocidos los valores de P , L_0 y B_0 , es mediante el uso de la geometría descriptiva, como se explica en Pericas (1914).

Supongamos la proyección ortogonal del Sol sobre un plano perpendicular a la línea Sol-Tierra (disco solar). La proyección frontal del Sol estaría representada por el disco I

de la Figura 1.15, de radio igual a R , en la que el punto M es la posición de la mancha cuyas coordenadas heliocéntricas hay que determinar. Supongamos, para simplificar la cuestión, que la proyección del eje de rotación del Sol coincide con la recta vertical AC por lo que el valor del ángulo P , de balanceo, sería cero. Por otro lado, el eje del Sol tampoco estará contenido en el plano del dibujo sino que forma el ángulo B_0 , ángulo de cabeceo como ya hemos visto. En el disco II, tenemos la proyección del Sol de perfil, con el ángulo B_0 apareciendo en verdadera dimensión. Si giramos la esfera sobre este plano hasta anular el ángulo B_0 , el punto M se moverá según un círculo representado por la cuerda PQ en el disco I, y representado en el disco II con un diámetro $P'Q'$ igual a PQ , y radio igual a r' . Después de este giro, el punto N correspondiente a la mancha M habrá venido a N' , describiendo el arco NN' igual a B_0 ; M' es la nueva proyección de la mancha en I. Con un segundo giro de la esfera alrededor de su eje vertical, que coincide ahora con el eje del Sol, haremos que el punto M' se sitúe en el borde M'' , con lo que el arco de meridiano que pasa por él se proyecta según su verdadero valor B que es la latitud buscada de la mancha M .

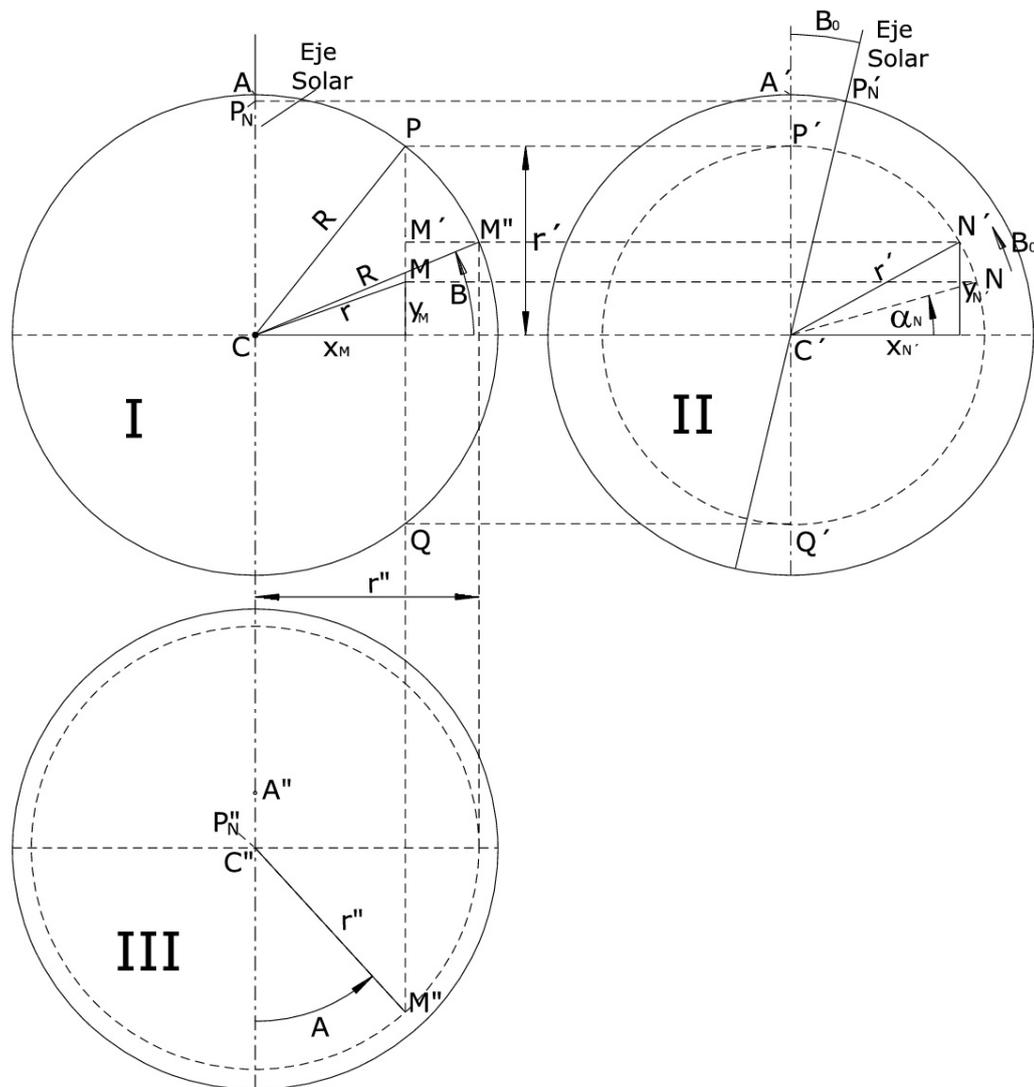


Figura 1.15. Reducción de dibujos de manchas solares mediante geometría descriptiva

Para determinar la longitud L , se utiliza la proyección horizontal de la esfera solar representada en III. En ésta se proyecta el paralelo de latitud corregida de la mancha,

que pasa por M'' , de radio igual a r'' ; M' y M se proyectarán como M''' , y el ángulo A es la longitud heliográfica respecto del meridiano central que queríamos determinar.

Seguidamente, realizamos los cálculos necesarios de este procedimiento para obtener las coordenadas heliográficas de la mancha (B y A) a partir de las coordenada lineales medidas en el disco solar.

Tenemos en la proyección I que x_M e y_M son las coordenadas de la mancha M respecto del centro del disco solar y r es la distancia entre el centro del disco solar C y la mancha M.

Hemos dicho anteriormente que el diámetro del círculo $P'Q'$ del disco II se corresponde con la cuerda PQ representada en el círculo I y que tienen la misma dimensión, por lo que el radio de este círculo es

$$r' = \sqrt{R^2 - x_M^2}.$$

Con ello, tendremos que las coordenadas de N respecto de C' en II son

$$y_N = y_M \quad y$$

$$x_N = \sqrt{r'^2 - y_M^2}.$$

La latitud aparente de N es

$$\alpha_N = \sin^{-1} \frac{y_N}{r'}.$$

Las coordenadas de N' , al girar la esfera el ángulo B_0 , respecto del O' serían

$$x_{N'} = r' \cos(\alpha_N + B_0) \quad y$$

$$y_{N'} = r' \sin(\alpha_N + B_0).$$

El valor de las ordenadas de N' en el disco II y de M' en el disco I son iguales, e iguales a la de M'' ,

$$y_{M'} = y_{N'} = y_{M''}$$

Por lo que la latitud de la mancha B, ya corregida, será

$$B = \sin^{-1} \frac{y_{M'}}{R}.$$

En I, el valor del radio del paralelo que contiene a M'' es igual a su abscisa

$$x_{M''} = \sqrt{R^2 - y_{M''}^2} = r'',$$

con lo que tenemos, en el disco III, que la longitud de la mancha M respecto del meridiano central sería

$$A = \sin^{-1} \frac{x_M}{r''}.$$

1.10. Determinaciones históricas de los elementos de Carrington

El valor de inclinación del eje solar respecto de la eclíptica que se ha venido utilizando desde 1854 es de $7^\circ 15'$ obtenido por Carrington. No obstante, hay otras

determinaciones realizadas desde entonces por otros astrónomos que han obtenido unos valores parecidos a los de Carrington.

Carrington utilizó las observaciones de manchas solares para determinar los parámetros de orientación del eje solar. La forma de hacerlo es siguiendo el método propuesto por Delambre, a partir de la determinación de tres posiciones eclípticas de una mancha.

En la Figura 1.16 tenemos representado en la esfera del Sol los círculos del ecuador solar y de la eclíptica. Por π pasa la perpendicular al plano de la eclíptica y por PN el eje de rotación de Sol, ambas desde el centro del Sol C. El punto Ω representa el nodo ascendente y la línea C Ω es la intersección de los dos planos. La longitud eclíptica de la mancha M medida en el plano de la eclíptica desde el punto Aries (γ) es λ , siendo su latitud eclíptica β medida desde el plano de la eclíptica por el círculo máximo que pasa por π . Como ya sabemos, Ω es la longitud eclíptica del nodo ascendente. El ángulo B es la latitud heliocéntrica de la mancha M. Como sabemos, se mide sobre el meridiano solar, que pasa por PN y la mancha M, desde el plano del ecuador solar.

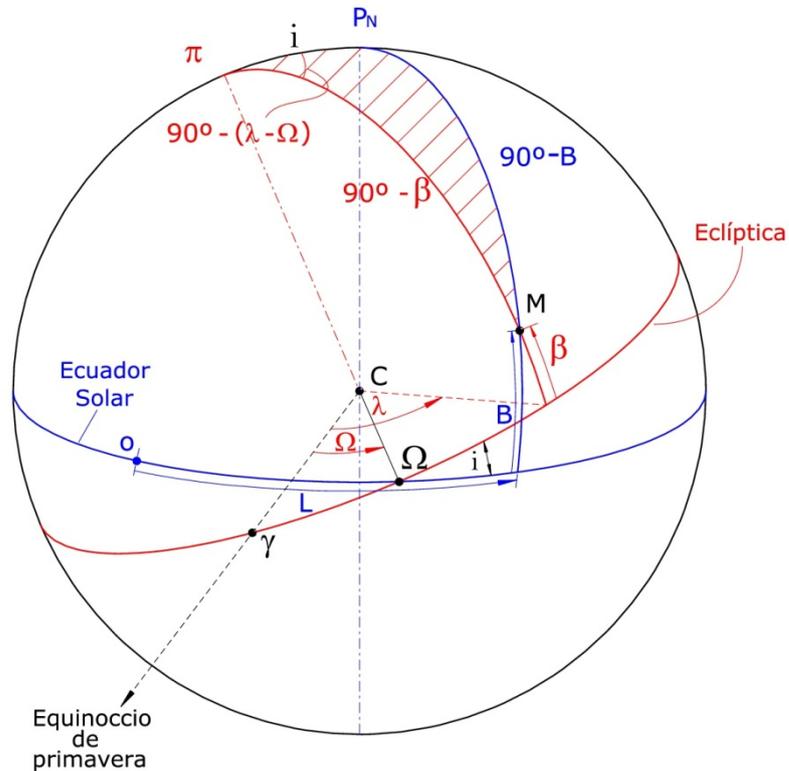


Figura 1.16. Coordenadas eclípticas y ecuatoriales de la mancha M

Para obtener la latitud heliocéntrica ecuatorial B de una mancha a partir de sus coordenadas heliocéntricas eclípticas (λ y β) es necesario resolver el triángulo esférico $\pi P_N M$, cuyos lados son la inclinación i , la colatitud eclíptica ($90^\circ - \beta$) y la colatitud ecuatorial ($90^\circ - B$). Sabiendo que el ángulo en el vértice π es igual a ($90^\circ - (\lambda - \Omega)$), obtenemos la siguiente ecuación. Aplicando la fórmula del coseno al citado triángulo esférico, tenemos

$$\cos(90 - B) = \cos i \cos (90 - \beta) + \sin i \sin(90 - \beta) \cos[90 - (\lambda - \Omega)].$$

Operando, tenemos

$$\sin B = \sin \beta \cos i + \sin i \cos \beta \sin (\lambda - \Omega).$$

Si desarrollamos el último factor, podemos escribir

$$\sin(\lambda - \Omega) = \sin \lambda \cos \Omega - \cos \lambda \sin \Omega.$$

Sustituimos este desarrollo en la ecuación y dividimos por $\cos i$, obteniendo

$$\frac{\sin B}{\cos i} = \sin \beta - \tan i \cos \beta \sin \lambda \cos \Omega + \tan i \cos \beta \cos \lambda \sin \Omega.$$

Realizamos los cambios de variables y de términos independientes siguientes (Aller, 1957):

$$\begin{aligned} x &= \tan i \cos \Omega, & y &= \tan i \sin \Omega, & z &= \frac{\sin B}{\cos i}, \\ m &= \cos \beta \sin \lambda, & n &= \cos \beta \cos \lambda & y & q = \sin \beta \end{aligned}$$

Así, la ecuación quedaría como

$$mx - ny + z = q.$$

Los términos m , n y q serían valores conocidos obtenidos a partir de las coordenadas λ y β observadas; x , y y z serían las incógnitas función de los valores (Ω , i y B) buscados. Obteniendo tres posiciones eclípticas de la mancha, tendríamos un sistema de tres ecuaciones y tres incógnitas:

$$\begin{aligned} m_1 x - n_1 y + z &= q_1 \\ m_2 x - n_2 y + z &= q_2 \\ m_3 x - n_3 y + z &= q_3 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema obtenemos los valores de las incógnitas buscadas, deshaciendo los anteriores cambios de variables y operando, obtenemos los valores buscados Ω , i y B

$$\tan \Omega = \frac{y}{x}, \quad \tan i = \frac{y}{\sin \Omega} = \frac{x}{\cos \Omega} = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \sin B = z \cos i$$

Diferentes autores han determinado los valores de i y Ω a lo largo del tiempo utilizando las manchas solares. Además de los valores dados por Carrington (1863), se hicieron otras mediciones durante el siglo XIX, como las de Laugier (1840), Spoerer (1866) y Wilsing (1882). A principios del siglo XX, hicieron otras determinaciones Dyson y Maunder (1912, 1913) y Epstein (1916, 1917). Otras observaciones más modernas son las de Clark et al. (1979), Stark y Wöhl (1981), Balthasar et al. (1986) y Balthasar et al. (1987).

Más recientemente, se han realizado mediciones utilizando las velocidades Doppler directas, como las de LaBonte (1981) y Wöhl (1978). Por último, Beck y Giles (2005) han determinado los parámetros de Carrington mediante observaciones heliosísmicas. En las observaciones Doppler directas (por ejemplo, LaBonte, 1981; Wohl, 1978), las incertidumbres de las mediciones han sido grandes (Beck y Giles 2005).

En la Figura 1.17, tomada del trabajo de Beck y Giles (2005), se representan las mediciones de Ω e i obtenidas por diversos autores. Los resultados de Beck y Giles son parecidos a los de Carrington (que están representados por el signo +). También aparecen las mediciones de (A) Laugier (1840); (B) Spoerer (1866) y (C) Wilsing (1882). Los cuatro diamantes representan mediciones un poco más modernas: (D) Dyson y Maunder (1912); (E) Dyson y Maunder (1913); (F) Epstein (1916) y (G) Epstein (1917). El resto de las mediciones, que son aún más recientes, incluye

estimaciones de la incertidumbre por lo que representan elipses: (H) Clark et al. (1979); (I) Stark y Wöhl (1981); (J) Balthasar et al. (1986); (K) Balthasar et al. (1987). Las dos elipses más grandes representan las mediciones utilizando las velocidades Doppler directas: (L) LaBonte (1981); (M) Wöhl (1978). El resultado del trabajo de Beck y Giles es la elipse negra denotada por "B & G" que obtienen unos valores de $i = 7^{\circ}.155 \pm 0^{\circ}.002$ y $\Omega = 73^{\circ}.5 \pm 1^{\circ}$.

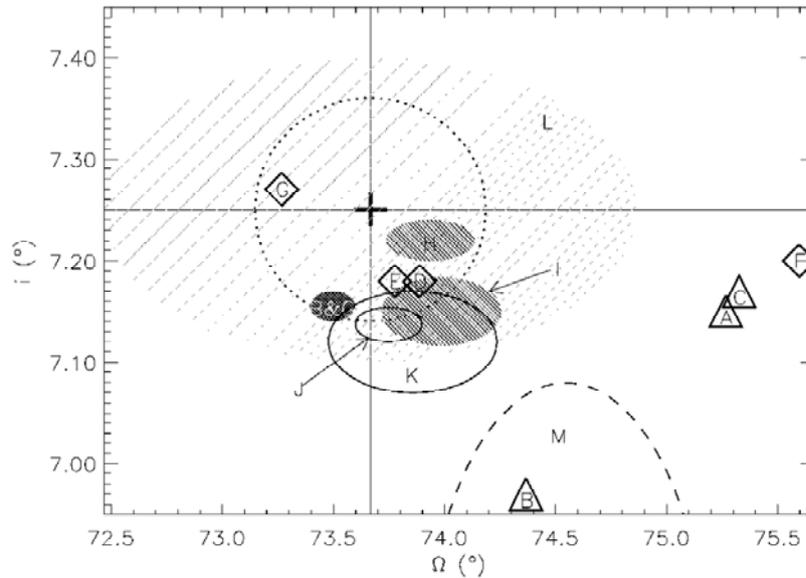


Figura 1.17. Mediciones de Ω e i desde Carrington. Fuente: Beck y Giles (2005)

Tabla 1. 2. Valores obtenidos de i y Ω a lo largo de la historia con resultados cercanos a los de Carrington

Autor	Año		i	Ω
Carrington	1863	+	7.25	73.67
Laugier	1840	A	7.15	75.27
Spoerer	1866	B	6.97	74.37
Wilsing	1882	C	7.17	75.33
Dyson y Maunder	1912	D	7.18	73.89
Dyson y Maunder	1913	E	7.18	73.78
Epstein	1916	F	7.20	75.59
Epstein	1917	G	7.27	73.28
Clark et al.	1979	H	7.22	73.94
Stark y Wöhl	1981	I	7.15	73.99
Balthasar et al.	1986	J	7.14	73.75
Balthasar et al.	1987	K	7.12	73.86
LaBonte	1981	L	7.33	73.46
Wöhl	1978	M	6.95	74.55
Beck y Giles	2005	B & G	7.155	73.5

Capítulo 2. Proyecciones usuales en los dibujos y fotografías del Sol

Las observaciones históricas de manchas solares consisten en dibujos de las mismas sobre el disco solar visible. Por tanto, no son otra cosa que la proyección de los puntos de una superficie esférica sobre un plano, similar a las proyecciones cartográficas utilizadas para representar partes de la Tierra. Como hemos visto en el capítulo 1, se determinan las coordenadas heliográficas de las manchas superponiendo sobre el dibujo el caneavá de meridianos y paralelos, o bien, mediante cálculos con los que las coordenadas rectilíneas del plano se transforman en heliográficas.

En observaciones históricas, el dibujo de manchas solares sobre el disco solar se ha considerado usualmente como una proyección ortográfica, dada la enorme distancia entre el observador y el Sol. Sin embargo, el Sol no se encuentra en el infinito y, cuando se observa desde la Tierra, no es posible ver una semiesfera completa del Sol. Por tanto, la imagen que verdaderamente se observa del Sol y de sus manchas es en realidad una proyección escenográfica. En este capítulo intentaremos estimar el error que cometemos al determinar la posición de una mancha considerando que la proyección es ortográfica en vez de escenográfica.

2.1. Proyecciones escenográfica y ortográfica

Tanto la proyección escenográfica como la ortográfica (que, al fin y al cabo, es un caso particular de la anterior) son proyecciones perspectivas y se basan en los principios de la geometría proyectiva para representar un cuerpo tridimensional (en nuestro caso, la esfera) sobre un plano, secante o tangente al objeto, denominado plano del cuadro. Para esto, se proyecta el objeto en el plano del cuadro desde un punto denominado vértice de proyección (Figura 2.1). Si el vértice de proyección se encuentra fuera de la esfera a una distancia finita del centro de esta, se trata de una proyección escenográfica. En cambio, si el vértice de proyección se encuentra a una distancia infinita hablamos de una proyección ortográfica.

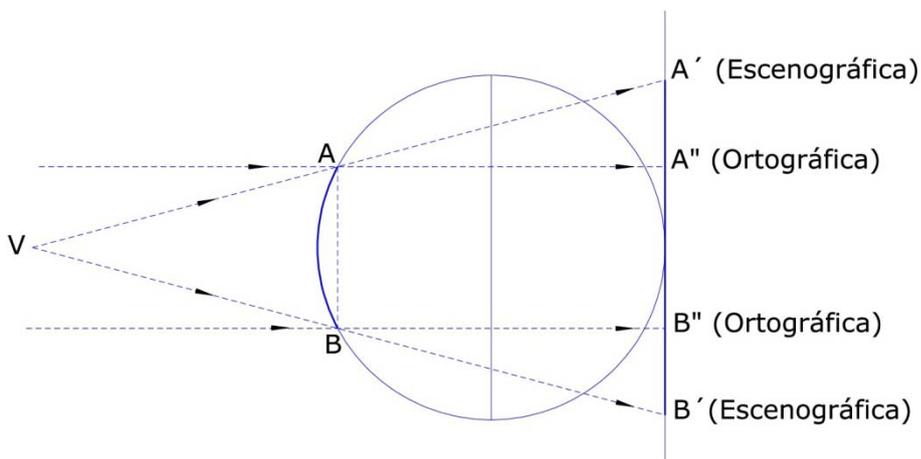


Figura 2.1. Proyecciones escenográfica y ortográfica.

En la Figura 2.1, el sector AB de la esfera se proyecta según la línea A'B' en el plano del cuadro en una proyección escenográfica y como la línea A''B'' en una proyección

ortográfica. En ambas proyecciones, el meridiano central se proyecta como una línea recta vertical, y tanto paralelos como meridianos se proyectan como arcos de elipses.

2.2. Radios del disco solar y de la esfera solar

En la Figura 2. 2 vemos el radio angular del disco solar (S) para un observador en la Tierra (en V) en la recta perpendicular al disco solar que pasa por el centro de este. Si suponemos conocidos los valores del radio solar (R) y de la distancia Sol-Tierra (D), obtenemos el valor angular del radio solar S con la siguiente expresión:

$$S = \tan^{-1} \left(\frac{R}{D} \right)$$

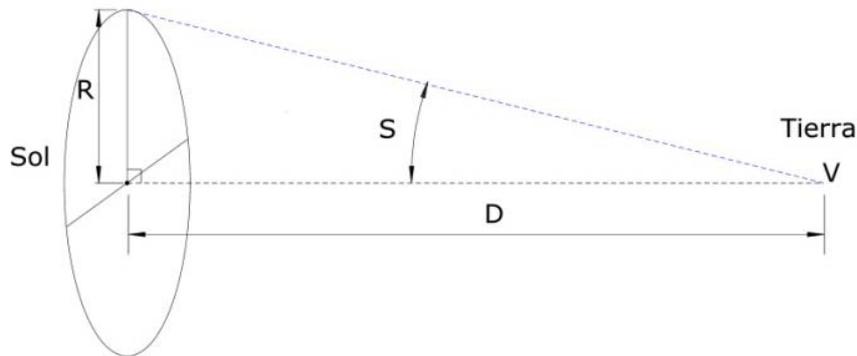


Figura 2. 2. Radio angular del disco solar.

El Sol es un cuerpo esférico, situado a una distancia D de la Tierra, por lo que los bordes del disco solar son los puntos de tangencia de las visuales hechas desde la Tierra a la esfera solar (Figura 2.3). Estos puntos están más cercanos a la Tierra que el centro del Sol, por lo que la expresión correcta para determinar el radio angular del disco solar sería la siguiente

$$S = \sin^{-1} \left(\frac{R}{D} \right)$$

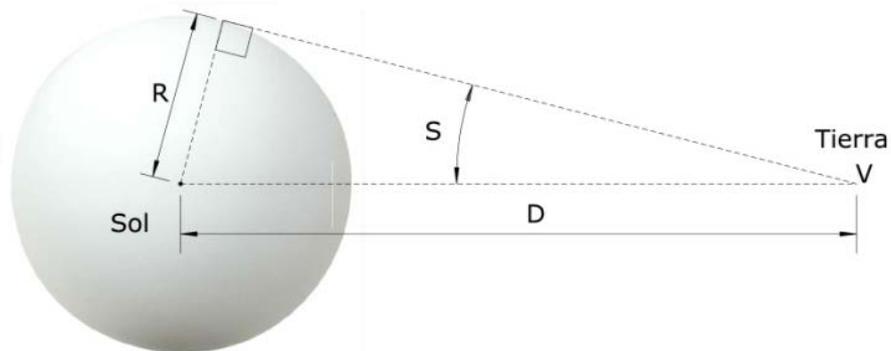


Figura 2.3. Radio angular de la esfera solar.

La diferencia entre una y otra expresión es muy pequeña cuando el observador está lejos de la esfera como podría ser el caso de un observador situado en la Tierra visando al Sol. La distancia media Tierra-Sol es de 149 597 870.7 km según la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional celebrada en agosto de 2012 en Pekín.

Teniendo en cuenta que valor del radio solar es 695700 km (Cox, 2000), obtenemos los valores del radio angular del Sol con las dos expresiones anteriores

$$S = \tan^{-1} \frac{695700}{149597870.7} = 0.266450226^\circ$$

$$S = \sin^{-1} \frac{697700}{149597870.7} = 0.266453107^\circ$$

Vemos que la diferencia entre los valores calculados es sólo 0.0104", lo que viene a representar una diferencia de un 0.0012 %. Esta diferencia es de un orden muy pequeño si la comparamos con la diferencia entre el diámetro angular del Sol visto desde la Tierra en el afelio y el perihelio que es de 4" (aproximadamente 32' 35" de arco en el perihelio y 31' 31" en el afelio). Es decir, la diferencia es de 2" para el radio solar. Por otro lado, vimos en el capítulo 1 que las diferencias observada entre los radios ecuatorial y polar del Sol obtenidas en los últimos años con instrumentos espaciales son de aproximadamente 0.008" milisegundos (Meftah et al. 2015), valor del mismo orden que la diferencia determinada.

Hemos dicho que los bordes del disco solar son los puntos de tangencia T de las visuales hechas desde la Tierra a la esfera solar (Figura 2. 4) por lo que al mirar el Sol desde la Tierra no es visible totalmente una semiesfera. Así, no es visible una corona de anchura heliocéntrica igual a S (0.266450226°), aunque desde la Tierra la anchura de esta corona no visible sería como hemos calculado 0.0104".

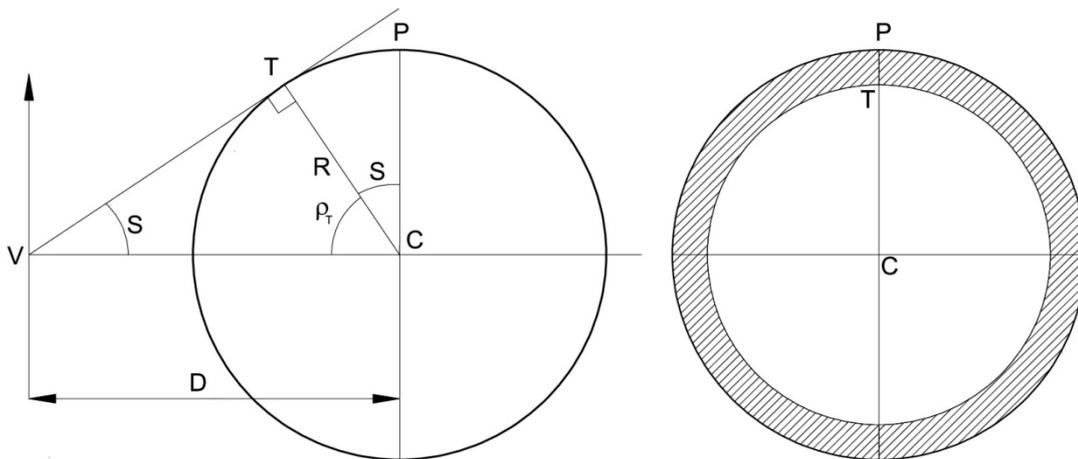


Figura 2. 4. Recta tangente a la esfera desde el vértice de proyección y parte no visible de la semiesfera desde V.

El valor de la elongación geocéntrica de los puntos de tangencia T es el semidiámetro solar S. Su elongación heliocéntrica sería igual a

$$\rho_T = \frac{\pi}{2} - S$$

y, por tanto, ningún punto de la esfera solar observado desde la Tierra tendría una elongación geocéntrica superior a S. Evidentemente, la elongación geocéntrica de una mancha varía entre cero y el valor del radio angular del Sol (0,266450226°).

2.3. Proyección escenográfica oblicua del Sol

Usualmente las proyecciones cartográficas de la Tierra utilizan un plano del cuadro tangente a la esfera terrestre, sin embargo en los dibujos de manchas solares el plano de proyección de los dibujos de manchas es secante a la superficie de Sol conteniendo al centro. Vamos desarrollar en este apartado las expresiones de este caso particular.

Partimos del hecho de que los dibujos del disco solar son una proyección escenográfica ya que el vértice de proyección es exterior a la superficie del Sol a una distancia finita D igual a la distancia entre la Tierra y el Sol. Por otro lado, como el eje de rotación del Sol se encuentra, en general, inclinado con respecto al observador situado en la Tierra, la proyección escenográfica sería del tipo oblicua.

En la Figura 2.5, tenemos el plano de la proyección que pasa por el punto C , centro del Sol. El vértice de proyección es el punto V , situado en la superficie de la Tierra y a una distancia D del plano de proyección. Para simplificar, hacemos que el eje del Sol coincida con la línea Norte-Sur. La latitud heliográfica de M es B , y la diferencia de longitud heliográfica del punto M respecto del meridiano central es A .

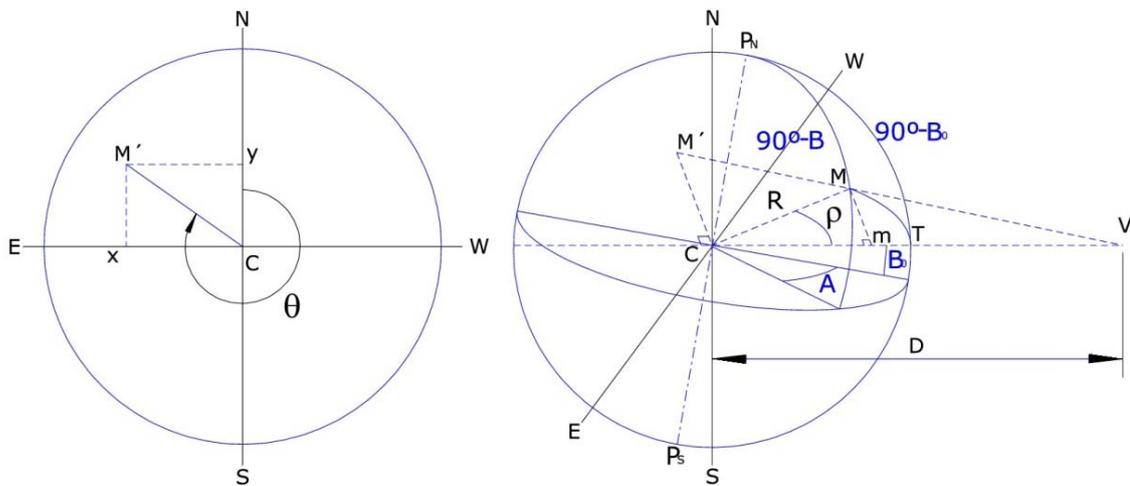


Figura 2.5. Proyección escenográfica oblicua del Sol.

La línea CV corta la superficie del Sol en el punto T , que se encuentra en el meridiano central y cuya latitud es B_0 . El meridiano central se proyecta como una línea recta vertical.

En el plano de proyección, el origen es el punto C , centro del Sol, el eje y es la proyección del meridiano central con el plano de proyección y el eje x es la proyección del plano normal al Sol de acimut 90° , con el plano de proyección.

El punto M de la superficie del Sol se proyecta en M' en el plano de la proyección. Las coordenadas de M' en el plano de proyección son las siguientes:

$$x = CM' \sin \theta$$

$$y = CM' \cos \theta$$

La distancia CM' es la proyección sobre el plano del cuadro de la elongación heliocéntrica (ρ) de M , siendo θ el acimut de CM' . Para obtener el valor de CM' tenemos en cuenta los triángulos semejantes $VM'C$ y VMm de la Figura 2. 6, donde el punto m es la intersección de la normal a VC que pasa por M y ρ es la elongación heliocéntrica de M . Así, tenemos que

$$\frac{mM}{CM'} = \frac{D-R \cos \rho}{D} ; \frac{R \sin \rho}{CM'} = \frac{D-R \cos \rho}{D}.$$

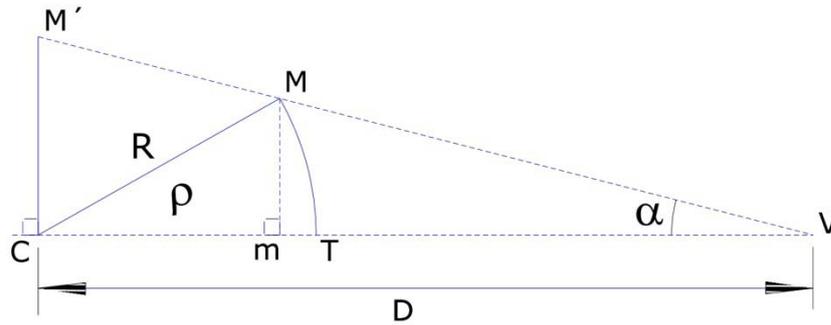


Figura 2. 6. Proyección del punto M de la esfera solar en el punto M' del plano del cuadro situado en el centro del Sol.

Operando y despejando, obtenemos el valor de CM' :

$$CM' = \frac{D R \sin \rho}{D-R \cos \rho} = \frac{D \sin \rho}{\frac{D}{R} - \cos \rho}.$$

De lo que resulta:

$$x = \frac{D \sin \rho}{\frac{D}{R} - \cos \rho} \sin \theta$$

$$y = \frac{D \sin \rho}{\frac{D}{R} - \cos \rho} \cos \theta$$

Aplicando el teorema de coseno al triángulo esférico PMT, tenemos que

$$\cos \rho = \cos(90 - B) \cos(90 - B_0) + \sin(90 - B) \sin(90 - B_0) \cos A.$$

Operando, obtenemos:

$$\cos \rho = \sin B \sin B_0 + \cos B \cos B_0 \cos A$$

Por otro lado, aplicando la relación de senos al triángulo, tenemos

$$\frac{\sin A}{\sin \rho} = \frac{\sin(360-\theta)}{\sin(90-B)}.$$

Operando, tenemos:

$$\sin \rho \sin \theta = \sin A \cos B$$

Por último, aplicando la relación del seno por el coseno al triángulo. tenemos

$$\sin \rho \cos \theta = \cos(90 - B) \sin(90 - B_0) - \sin(90 - B) \cos(90 - B_0) \cos A.$$

Operando, tenemos:

$$\sin \rho \cos \theta = \sin B \cos B_0 - \cos B \sin B_0 \cos A$$

Sustituyendo estas tres expresiones en las ecuaciones de las coordenadas del plano de proyección, tenemos las coordenadas en el plano de proyección en función de las coordenadas heliográficas del punto:

$$x = \frac{D \sin A \cos B}{\frac{D}{R} - (\sin B \sin B_0 + \cos B \cos B_0 \cos A)}$$

$$y = \frac{D (\sin B \cos B_0 - \cos B \sin B_0 \cos A)}{\frac{D}{R} - (\sin B \sin B_0 + \cos B \cos B_0 \cos A)}$$

2.4. Proyección ortográfica oblicua del Sol

En una proyección ortográfica, el vértice de la proyección se encuentra en el infinito y, por tanto, $D \rightarrow \infty$ y las líneas de proyección son paralelas. Por tanto, la proyección ortográfica es un caso particular de la escenográfica oblicua. Utilizando las mismas expresiones anteriores, dividiendo numerador y denominador por D, y determinando el límite de las expresiones cuando D tiende a infinito tenemos:

$$x = \lim_{D \rightarrow \infty} \frac{\sin A \cos B}{\frac{1}{R} - \frac{(\sin B \sin B_0 + \cos B \cos B_0 \cos A)}{D}}$$

$$y = \lim_{D \rightarrow \infty} \frac{(\sin B \cos B_0 - \cos B \sin B_0 \cos A)}{\frac{1}{R} - \frac{(\sin B \sin B_0 + \cos B \cos B_0 \cos A)}{D}}$$

Cuando esto sucede, se anula el segundo sumando del denominador, quedando por tanto las siguientes expresiones de las coordenadas del punto en el plano del cuadro en función de las coordenadas heliográficas del mismo:

$$x = R \sin A \cos B$$

$$y = R(\sin B \cos B_0 - \cos B \sin B_0 \cos A)$$

2.5. Diferencia entre proyecciones

En la Figura 2.7, Figura 2. 6 representamos el plano de la sección diametral del Sol que pasa por V y M. Si consideramos un sistema de coordenadas con origen en el vértice de proyección V, en la Tierra, y con el eje de abscisas en dirección al centro del Sol C, las coordenadas de V serían (0,0). Si D es la distancia que separa V de C, las coordenadas del centro del Sol serían (D, 0). Con centro en C se ubicaría la circunferencia radio R, sección diametral de la esfera solar. El plano de proyección estaría representado por la recta vertical que pasa por C.

Si M es la posición de una mancha sobre la superficie del Sol, la recta proyectiva que pasa por M desde V corta a la circunferencia radio R en dos puntos M y M₁. El punto M₁ se encuentra en la parte no visible del Sol.

El corte de la recta de proyección con el plano del cuadro ubicado en C, perpendicular a la línea VC, sería el punto M'. Por tanto, M' es la proyección escenográfica de M sobre el plano situado en C.

Si consideramos una recta paralela al eje VC por M, cortaría al plano del cuadro en M''. Por tanto, M'' es la proyección ortográfica de M sobre el plano del cuadro. La distancia M'M'' es la diferencia entre las proyecciones escenográfica y ortográfica sobre el plano del cuadro en C.

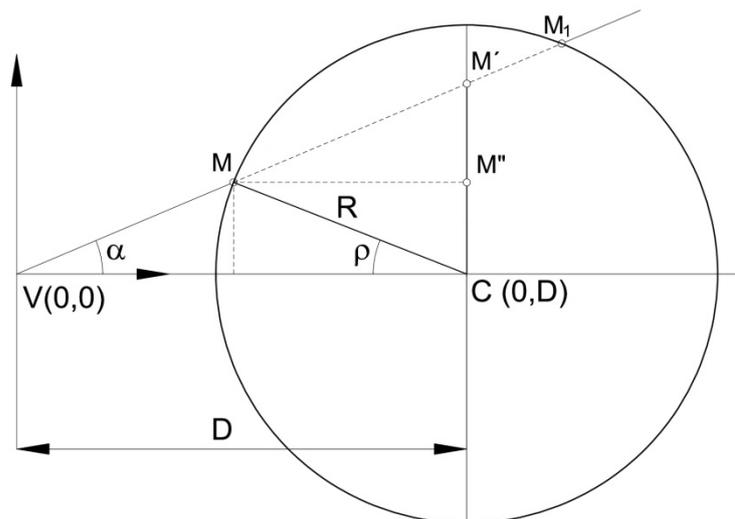


Figura 2.7. Sección diametral del Sol que contiene al vértice de proyección y al punto M.

La ecuación de la recta proyectiva que desde V pasa por M es

$$y = x \tan \alpha,$$

donde la distancia angular α es la elongación geocéntrica de la mancha M.

El punto M' es el punto de corte de la recta proyectiva y el plano del cuadro que pasa por C, recta vertical que pasa por C, cuya ecuación es

$$x = D$$

Por tanto las coordenadas de M' son:

$$x_{M'} = D$$

$$y_{M'} = D \tan \alpha$$

La ordenada de M'' es igual a la ordenada de M. Las coordenadas de M'', por tanto, son:

$$x_{M''} = D$$

$$y_{M''} = y_M$$

La diferencia al considerar la proyección ortográfica en vez de la escenográfica, sobre el plano de proyección situado en C, sería igual a la diferencia de ordenadas de M'' y M' en el plano de la sección:

$$\Delta y = y_{M'} - y_{M''} = y_{M'} - y_M.$$

Resta, por tanto, determinar las coordenadas de M. Como se ha dicho más arriba, este es uno de los puntos de corte de la recta proyectiva con la esfera (circunferencia en la sección diametral) de radio R centrada en C, cuya ecuación vendría dada por:

$$(x - D)^2 + y^2 = R^2.$$

Sustituyendo en esta ecuación el valor de y indicado en la recta proyectiva $y = x \tan \alpha$, obtenemos

$$(x - D)^2 + (x \tan \alpha)^2 = R^2.$$

Operando:

$$\begin{aligned}x^2 + D^2 - 2Dx + x^2 \tan^2 \alpha - R^2 &= 0 \\(1 + \tan^2 \alpha)x^2 - 2Dx + (D^2 - R^2) &= 0 \\ \frac{x^2}{\cos^2 \alpha} - 2Dx + (D^2 - R^2) &= 0\end{aligned}$$

Así, obtenemos una ecuación de segundo grado. Resolviendo la ecuación obtendremos las abscisas de los dos puntos de corte de la recta proyectiva con la circunferencia:

$$x = \frac{2D \pm \sqrt{4D^2 - 4 \frac{D^2 - R^2}{\cos^2 \alpha}}}{\frac{2}{\cos^2 \alpha}}$$

Operando, tenemos:

$$x = \frac{2D \pm \sqrt{4D^2 - 4 \frac{D^2 - R^2}{\cos^2 \alpha}}}{\frac{2}{\cos^2 \alpha}} = \left[D \pm \sqrt{D^2 - \frac{D^2 - R^2}{\cos^2 \alpha}} \right] \cos^2 \alpha$$

Las abscisas de los puntos de corte de la recta proyectiva con la circunferencia, que es una sección diametral del Sol, son:

$$\begin{aligned}x_M &= \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{D^2 - R^2}{\cos^2 \alpha}} \right] \cos^2 \alpha \\ x_{M_1} &= \left[D + \sqrt{D^2 - \frac{D^2 - R^2}{\cos^2 \alpha}} \right] \cos^2 \alpha\end{aligned}$$

Como ya hemos dicho, sólo se considera la abscisa de M, ya que M₁ se sitúa en la parte no visible del Sol. Una vez obtenida la abscisa de M, se obtiene la ordenada sustituyendo su valor en la ecuación de la recta proyectiva $y_M = x_M \tan \alpha$. A partir de aquí obtenemos la diferencia entre considerar la proyección ortográfica en vez de estereográfica en unidades lineales. La diferencia angular en segundos de arco para un observador situado en la Tierra sería

$$\Delta y (") = \frac{\Delta y}{D} 206265".$$

La Figura 2.8 muestra cómo varía la diferencia angular entre ambas proyecciones en función de la elongación geocéntrica. La diferencia de distancia al centro del disco solar varía entre ambas proyecciones entre un mínimo igual a cero en sus extremos y un máximo de 1623.004 km, lo que supone unas diferencias angulares vistas desde la Tierra de entre 0" y 2.23776599". Así, esta diferencia angular es nula en el centro y los bordes del disco, y máxima cuando $\alpha = 0.1889^\circ$.

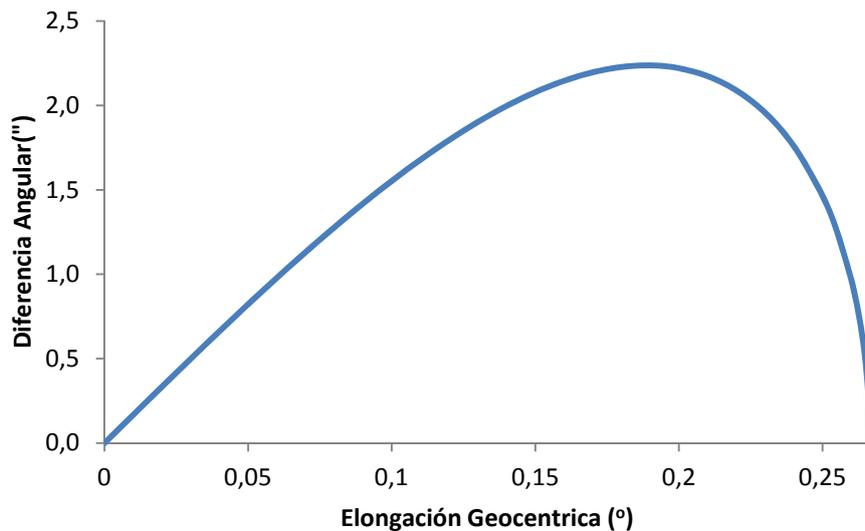


Figura 2.8. Diferencias angulares en segundos de arco (ordenadas) entre la proyección escenográfica y ortográfica en función de la elongación geocéntrica en grados sexagesimales (abscisas).

La Figura 2.9 muestra también la diferencia angular entre los dos tipos de proyecciones en función de la elongación heliocéntrica (ρ). La elongación heliocéntrica observada desde la Tierra varía entre 0° y $89^\circ 44' 0.8''$ alcanzando la máxima diferencia casi en el valor medio, en 44.96016° ($44^\circ 57' 36.6''$).

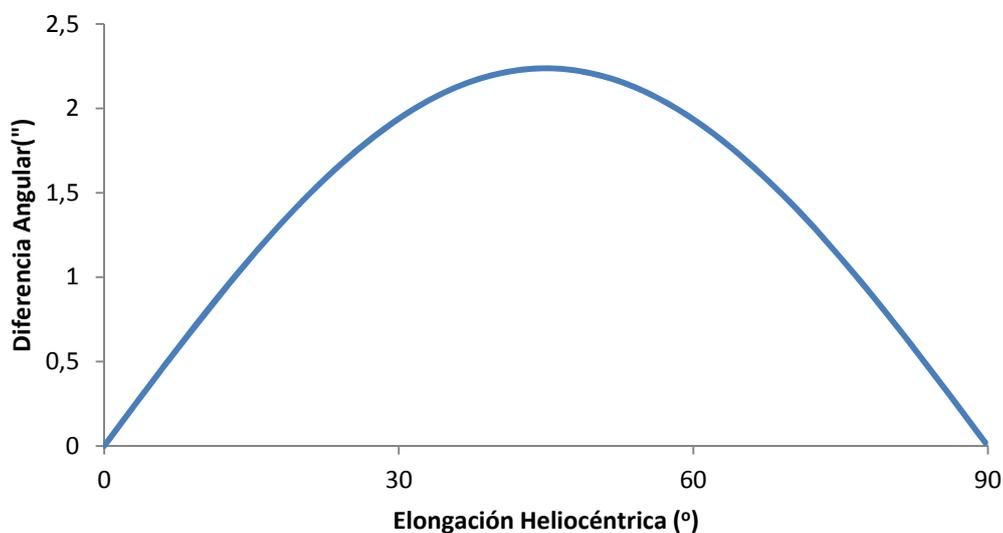


Figura 2.9. Diferencias angulares entre la proyección escenográfica y ortográfica según la elongación heliocéntrica.

En los cálculos anteriores, hemos considerado conocidos con suficiente precisión la distancia Tierra-Sol y el radio solar para determinar la diferencia entre proyecciones ortográfica y escenográfica. A partir de estos supuestos, hemos determinado las coordenadas de M en la sección normal y de M' y M'' (proyecciones escenográfica y ortográficas, respectivamente) en el plano del cuadro. En el caso de las observaciones históricas, aquellos valores no eran conocidos por lo que para determinar la longitud heliocéntrica se utiliza la expresión aproximada, que ya hemos visto en el capítulo 1, siguiente (Sánchez-Bajo y Vaquero, 2013):

$$\rho = \sin^{-1} \frac{\sin \alpha}{\sin S} - \alpha.$$

Si determinamos la elongación heliocéntrica en función de la ordenada del punto M mediante la expresión $\rho = \sin^{-1} \frac{y_M}{R}$, hemos calculado que ambos valores son prácticamente coincidentes para cualquier valor entre 0° y 0° y $89^\circ 44' 0.8''$.

2.5.1. Error gráfico de la diferencia de proyecciones.

Si tenemos en cuenta que las fuentes históricas nos proporcionan dibujos del disco solar en papel, según sea la escala de representación no sería apreciable la diferencia entre considerar el dibujo del mismo como proyección escenográfica u ortográfica. El límite de percepción visual a simple vista sin instrumentos ni lentes es 0.2 mm. Para que la diferencia encontrada de $2.2''$ sea inferior a 0.2 mm, teniendo en cuenta que el radio angular del Sol visto desde la Tierra es $959.23''$, el radio del disco solar dibujado no debería ser mayor que 85.6 mm. Por tanto, para dibujos del disco solar de diámetro inferior a unos 17 cm no se aprecia la diferencia entre considerar la proyección ortográfica o escenográfica.

2.5.2. El caso del satélite artificial Solar Orbiter.

El satélite artificial Solar Orbiter es una misión de la Agencia Espacial Europea (ESA) con el objeto de estudiar con un detalle sin precedentes la superficie del Sol. El lanzamiento está programado para octubre de 2018. El satélite tendrá una órbita alrededor del Sol muy elíptica estando en el perigeo 0.28 UA, más cerca del Sol que la órbita de Mercurio.

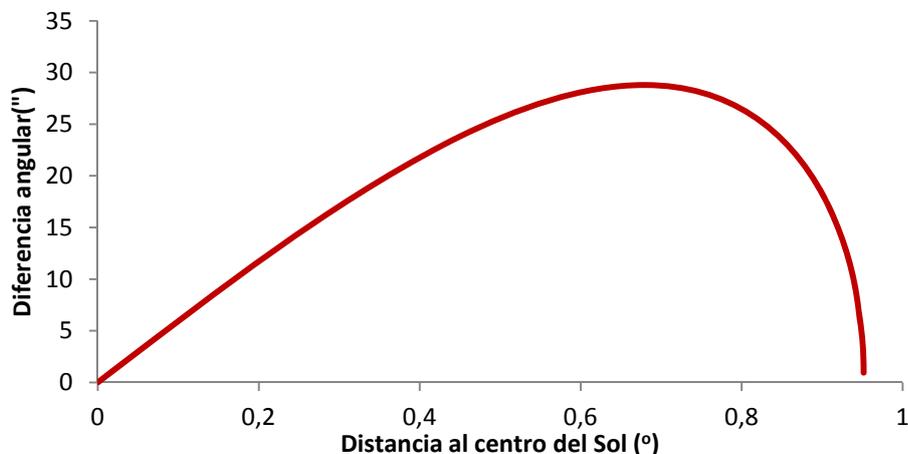


Figura 2. 10. Diferencia entre proyecciones escenográfica y ortográfica desde el satélite Solar Orbiter en función de la distancia angular al centro del Sol.

Al estar el punto de observación más cercano al Sol que desde la Tierra, se observa una porción menor de la semiesfera solar y el semidiámetro angular del Sol es mayor. Así, el Sol desde la posición (en el perigeo) de Solar Orbiter tendrá un radio angular de 0.95° . En esta situación, los puntos de tangencia de las visuales a la esfera solar estarán a 89.05° de elongación heliocéntrica.

En este caso, la diferencia entre considerar las fotografías realizadas como proyección ortográfica en vez de escenográfica tendría un valor máximo de $28.78''$ en los 0.6809° de elongación desde el satélite y en los 45° grados de elongación heliocéntrica según muestran respectivamente la Figura 2. 10 y la Figura 2.11. Por

tanto, para este caso, sí es claramente apreciable la diferencia entre las citadas proyecciones.

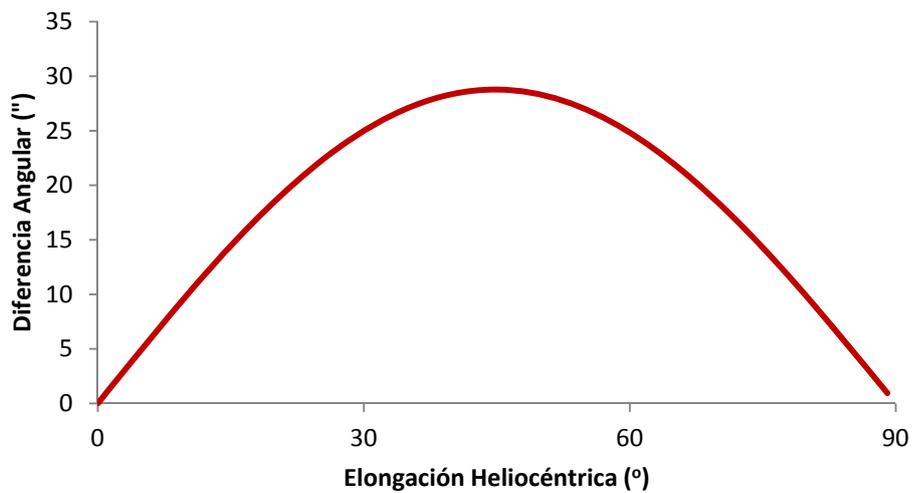


Figura 2.11. Diferencias entre proyecciones desde el satélite Solar Orbiter según la latitud heliocéntrica.

Capítulo 3. Manchas solares observadas por Soemmering (1826-1829)

Este capítulo trata sobre la recuperación parcial de las observaciones perdidas del Dr. Samuel Thomas Soemmering a través de los diagramas incluidos en sendas publicaciones realizadas por el Dr. Ludovico Thilo y por el Dr. R.C. Carrington. La herramienta utilizada para digitalizar los datos de los diagramas y obtener información numérica de los mismos ha sido un programa de dibujo asistido por ordenador (CAD).

3.1. Los diagramas de Thilo a partir de las observaciones de Soemmering

En la disertación de L. Thilo, publicada por la Sociedad de Curiosidades Naturales de Senckenberg de Frankfort en el año 1828 con motivo de la jubilación de Soemmering, se incluyen dos diagramas de forma rectangular en coordenadas heliográficas longitud y latitud (Figura 3.1) en los que se han representado las manchas solares observadas por Soemmering, desde el 1 de julio de 1826 hasta el 21 de junio de 1827 en Frankfort. El autor explica en la parte literal de la disertación el contenido de dichos diagramas y la metodología seguida para obtener los mismos a partir de las observaciones originales.

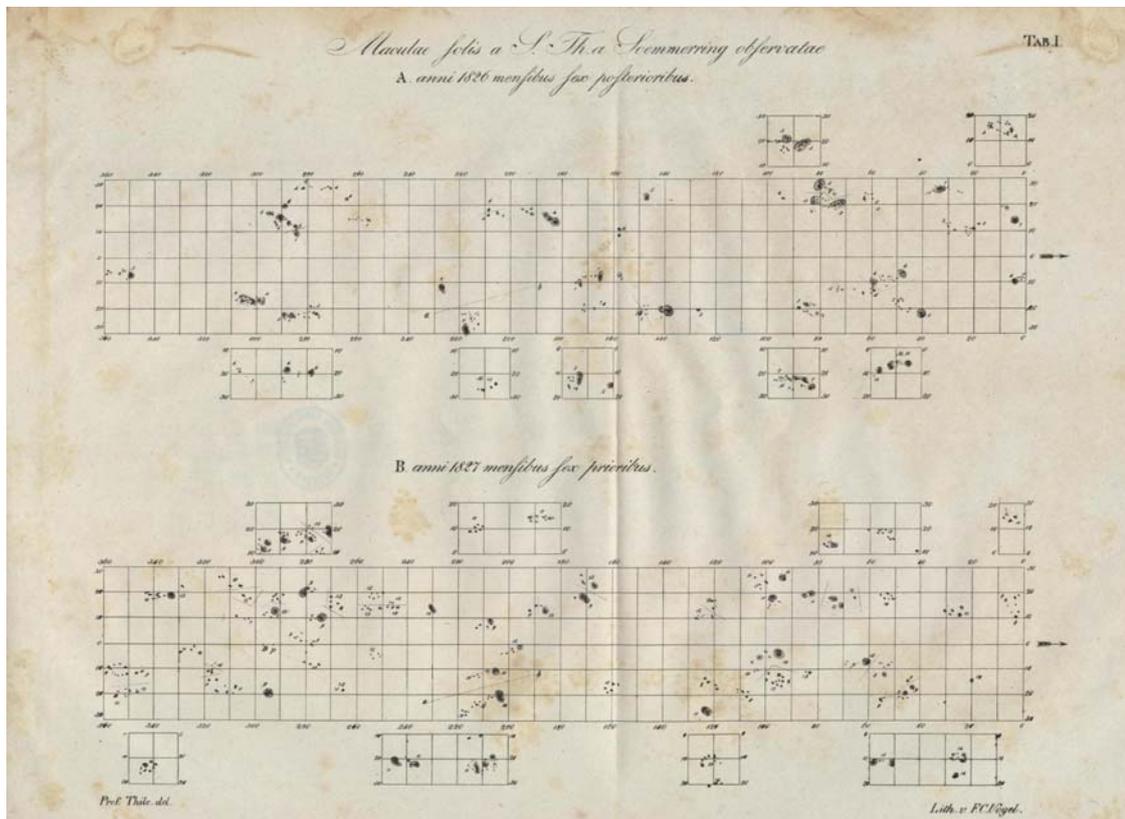


Figura 3.1. Gráficos de Thilo dibujados a partir de las observaciones de Soemmering.

En los dos diagramas, Thilo representa con siete líneas horizontales el ecuador y los paralelos a ambos lados del Ecuador, comprendidos entre 30° y -30° , con una equidistancia de 10° . También representa, con líneas verticales perpendiculares a la línea del ecuador, los meridianos solares entre 360° y 0° ; también, con un intervalo de 10° , por lo que los diagramas están divididos en cuadrados que representan sectores esféricos de 10° por 10° grados (en latitud y longitud solares). La graduación en el ecuador solar crece de derecha a izquierda, de 0 a 360° .

Dentro del área de los gráficos aparecen dibujadas las manchas solares, por lo que es sencillo determinar las coordenadas heliográficas de las manchas gráficamente. Junto a cada mancha solar o grupo de manchas parece rotulado un número comprendido entre 1 y 14, que indica el período en el que se observó la mancha, correspondiente a cada uno de los periodos siguientes:

1. Desde el inicio del 1 julio del año 1826 hasta el 28 julio a las 8 de la mañana.
2. Desde el 28 julio a las 8 de la mañana hasta el 24 agosto a las 4 de la tarde.
3. Desde 24 agosto a las 4 de la tarde hasta el fin del 20 septiembre.
4. Desde el inicio del 21 septiembre hasta el 18 octubre a las 8 de la mañana.
5. Desde el 18 octubre a las 8 de la mañana hasta el 14 noviembre a las 4 de la tarde.
6. Desde el 14 de noviembre a las 4 de la tarde hasta el final del 11 diciembre.
7. Desde el inicio del 12 diciembre de 1826 hasta el 8 enero a las 8 de la mañana de 1827.
8. Desde el 8 enero de 1827 a las 8 de la mañana hasta el 4 febrero a las 4 de la tarde.
9. Desde el 4 febrero a las 4 de la tarde hasta el fin de 3 marzo.
10. Desde el comienzo del 4 marzo hasta el 31 marzo a las 8 de la mañana.
11. Desde el 31 marzo a las 8 de la mañana hasta el 27 abril a las 4 de la tarde.
12. Desde el 27 abril a las 4 de la tarde hasta el final del 24 mayo.
13. Desde el inicio del 25 mayo hasta el 21 junio a las 8 de la mañana.
14. Desde el 21 junio a las 8 de la mañana hasta el final de las observaciones de de las imágenes.

Cada periodo tiene una duración de 27 días y 8 horas. En el primer diagrama están representadas las manchas de los 7 primeros periodos, es decir, desde el 1 de julio de 1826 hasta el 8 de enero de 1827. En el segundo diagrama se representan las manchas de los periodos 8 a 14, hasta el final de la observación hasta el 21 de junio de 1827. Fuera del área principal de los dos diagramas, en las partes superiores e inferiores, dibuja otras manchas en grupos de cuadrados de las mismas dimensiones que los de los diagramas principales, en los que aparecen rotulados la latitud (Figura 3.2), cuyo objeto no es otro que no dibujar superpuestos grupos de manchas en los diagramas principales de diferentes periodos pero de coordenadas parecidas, lo que restaría claridad al diagrama.

Thilo indica que la situación de las manchas es la misma que en las imágenes, "...la cual, cuando el Ecuador solar está paralelo con el horizonte, se muestra en el propio Sol cuando miramos hacia la estrella. Por tanto, lo que se ve encima del Sol, lo mismo aparece en la parte superior de la imagen."

Para determinar la posición de las manchas, Thilo utilizó como valor de la inclinación del ecuador del Sol respecto del plano de la eclíptica $7^{\circ} 30'$, como periodo de rotación del Sol sobre su eje 25 días y 10 horas.

Thilo explica que el valor de este periodo de rotación solar lo tomó de La Lande de las "Memoires de L'Acad. D. sc. De Paris 1776 et 1778". Por otra parte, Thilo indica que no adoptó como valor del ángulo de inclinación del Sol respecto de la eclíptica el valor indicado en esta publicación de $7^{\circ} 20'$, estando el nodo a 218° , por que ya habían

realizados varias tablas de cálculos para describir las imágenes de las manchas y reconstruirlos no valía el esfuerzo. Estima que entre ambas inclinaciones $7^{\circ} 30'$ y $7^{\circ} 20'$ habría un error de posición de $1/6$ de grado en el caso de las imágenes más distantes del ecuador.

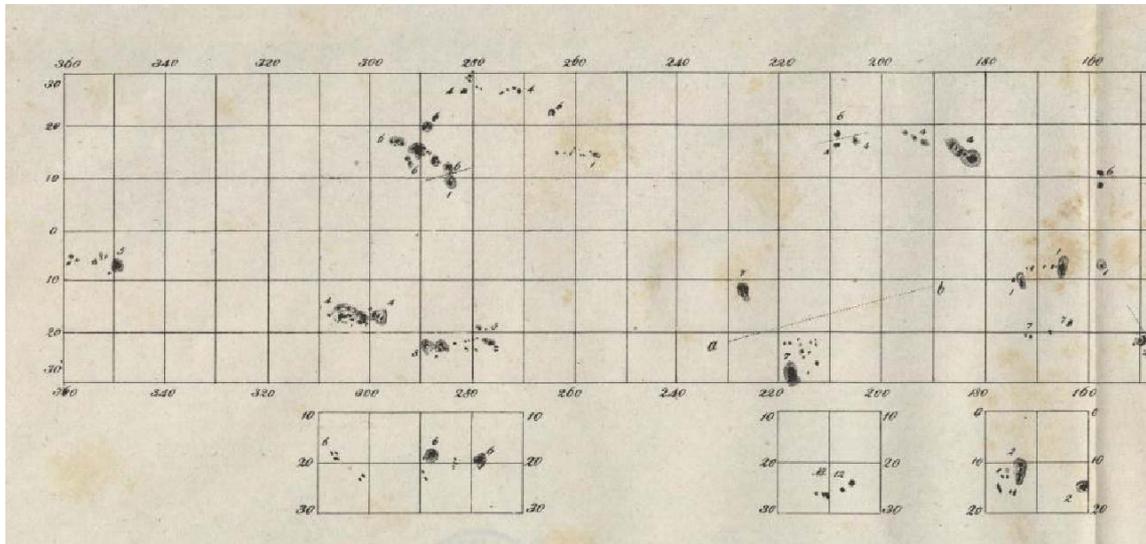


Figura 3.2. Detalles del Gráfico de Thilo.

Por otro lado al considerar Thilo que “... el punto 0° del Ecuador del Sol atraviesa el arco del círculo del Meridiano solar, en la medianoche del 30 de junio y el 1 de julio del año 1826, cuando alcanzó su punto más alto, según cuentan los astrólogos. Por lo tanto, ya que se supone que un período solar es de 27 días y 8 horas, el mismo punto 0 del ecuador está delante del círculo del Meridiano del día 28 de julio a las 8 de la mañana, del día 24 agosto a las 4 de la tarde, etc.” De aquí surgen los 14 períodos contenidos en los diagramas indicados más arriba. Añade que, a partir de este índice de períodos, se puede encontrar con facilidad el tiempo en el que cada mancha se plasmó en sus imágenes teniendo en cuenta que un día es igual a casi 12° de la línea ecuatorial.

Thilo explica que cada mancha se describe tal cual se mostraron a la vista, cuando se veía casi la mitad del hemisferio solar frente a ellos, entre la salida del Sol y su ocaso. En aquellos días que no se pudo observar dibujaron las manchas cuando estaban cerca de los bordes del Sol. Thilo añade que las observaciones se interrumpieron 8 días del 12 al 19 de diciembre de 1826. Thilo afirma que las manchas permanecen en el hemisferio visible desde la Tierra durante al menos 13 días, por lo que si alguna mancha ve interrumpido su retorno durante otros periodos de tiempo, se puede creer con razón que esas manchas no han aparecido en el Sol. Para terminar, añade que juzgaron omitir unas pocas manchas pequeñas y cambiantes.

3.2. Metodología. Digitalización de los diagramas de Thilo

Hemos obtenido una copia digital (en formato de imagen jpg) del trabajo de Thilo de la Biblioteca de la Universidad de Dresden. El objeto de este trabajo es obtener, en formato digital, las manchas dibujadas por Thilo en los dos diagramas además de las coordenadas numéricas de las mismas. Hemos empezado desagregando estos dos diagramas, dibujando unos gráficos de las mismas proporciones que los de Thilo por cada uno de los 14 períodos representados. Al final, obtenemos 14 diagramas de coordenadas con la situación de las manchas, uno para cada periodo, a partir de los dos de Thilo. Es como si hubiéramos descomprimido los diagramas de Thilo. Además se

han obtenido las superficies y las coordenadas de las manchas. Describimos brevemente las fases que hemos seguido para digitalizar los diagramas de Thilo:

a. Dibujo de las cuadrículas de los diagramas

En un programa de dibujo CAD, se dibujaron las cuadrículas de 14 diagramas de coordenadas divididos en cuadrados, similares a los de los diagramas de Thilo. Se hizo de tal manera que los diagramas tenían 6 cuadrados de alto por 36 de largo. Se completaron rotulando las coordenadas de la misma forma que estaban los diagramas de Thilo es decir, de 360° a 0° en longitud y de 30° a -30° en latitud (Figura 3.3). A continuación, importamos al programa CAD la imagen con los gráficos de Thilo de tal forma que es posible superponer las cuadrículas dibujadas anteriormente sobre las imágenes.

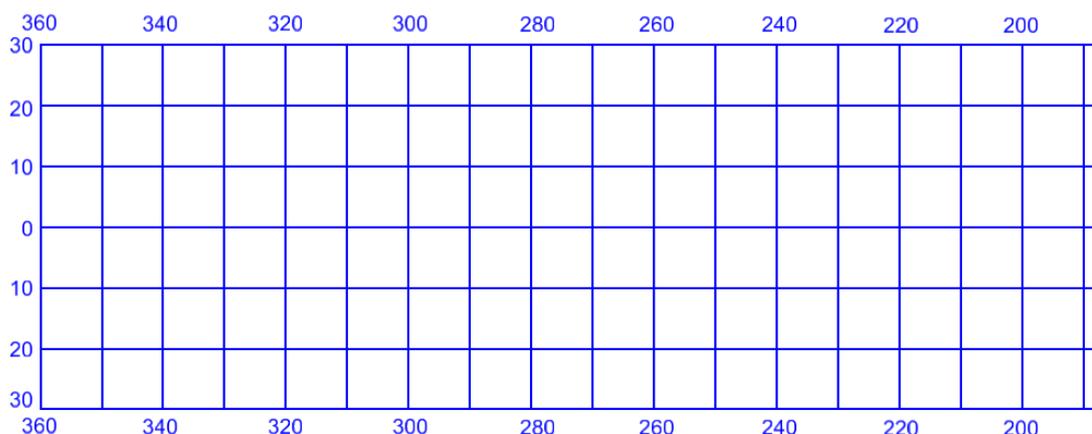


Figura 3.3. Cuadrícula de coordenadas según los diagramas de Thilo.

b. Ajuste de imágenes

Con las herramientas del programa de dibujo se ajustaba la imagen a la cuadrícula dibujada. Esto es necesario ya que la imagen escaneada tiene distorsiones, motivadas por: (i) las deformaciones y dobleces del papel, (ii) el desajuste del escáner, e incluso (iii) pequeños errores del dibujo original. Se ajustaba la imagen de manera que la cuadrícula de la imagen coincidiera con la cuadrícula del diagrama dibujado en el programa CAD. Este ajuste es necesario realizarlo en cada malla de la cuadrícula, siendo el ajuste válido para el interior del cuadrado de la malla ya que, a medida que nos alejamos de la malla en cuestión, ya no coincide la cuadrícula de la imagen con la cuadrícula del diagrama dibujado por las causas expuestas (Figura 3.4).

Con este ajuste y utilizando las posibilidad de ampliar el tamaño de la imagen con las herramientas de aumento de la imagen del programa CAD, también conseguimos que los errores de la digitalización sean inferiores a los de la imagen original y por tanto no sea necesario tenerlo en cuenta.

c. Toma de las manchas

Una vez ajustada la imagen en la zona de un grupo de manchas (de forma que la retícula que circunscriben el grupo de manchas en la imagen coincide con la retícula dibujada), se pasa a dibujar cada una de las manchas. Para esto se dibuja una línea de contorno cerrada con la herramienta correspondiente del programa, por el borde de la mancha, con todo el detalle posible al poder utilizar la imagen ampliada. La línea de contorno dibujada quedaba guardada en el fichero de dibujo para posteriores cálculos y

análisis. Si la mancha tenía umbra también se dibujaba el límite de la misma, ya que el esfuerzo de dibujo era mínimo al haber pocas, aunque no se realizó con las mismas ningún análisis. Pues se puede hacer alguno muy fácil: si hay tiempo al final hacemos algo de esto. Apúntalo que no se nos olvide. Ratio Umbra/penumbra



Figura 3.4. Ajuste de Cuadrícula y dibujo de manchas.

Repetimos los procesos de ajuste de cuadrícula en cada malla que contuviera manchas y el dibujo de las mismas, dibujando cada grupo en el diagrama correspondiente a su periodo (1 a 14), según indica su número adjunto. Las manchas dibujadas fuera de las áreas principales se incluyen ahora dentro del área principal de su periodo correspondiente, ya que al desagregar los gráficos ya no se superponen manchas de diferentes periodos.

Como resultado obtenemos los diagramas de Thilo desagregados en cada uno de los 14 períodos que se muestran en el Apéndice 1.

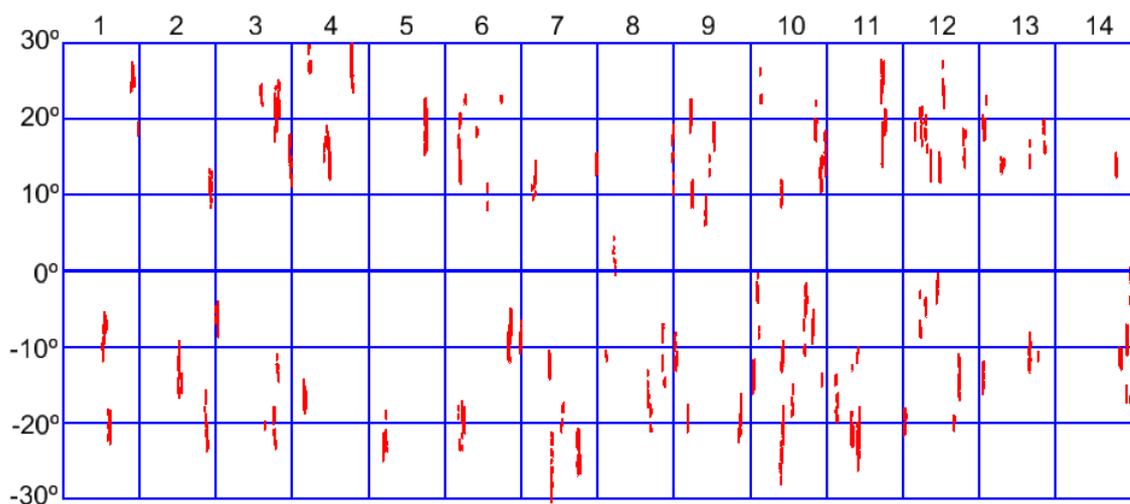


Figura 3.5. Diagrama de Mariposa de Thilo desagregado en los 14 periodos.

d. Dibujo de los diagramas

Una vez dibujadas todas las manchas, cada una en el diagrama correspondiente a su periodo, se realizaron diversas acciones para poder comparar de forma gráfica las observaciones realizadas con los gráficos de otros autores. Para esto se redujo la escala horizontal de cada uno de los 14 diagramas dibujados. La escala se redujo 36 veces, con lo que los 360 grados de la anchura de cada diagrama ahora estaban comprendidos

en 10° de su valor inicial, por lo que las manchas dibujadas se mostraban casi como líneas verticales, al haberse reducido su escala horizontal y haber mantenido la vertical.

A continuación, se situaron cada uno de estos diagramas reducidos, uno a continuación de otros de manera ordenada. De esta forma tenemos dibujado un nuevo diagrama de mariposa para el total del periodo de las observaciones utilizadas por Thilo (Figura 3.5).

3.3. Cálculo de coordenadas y de superficies

Con los dibujos de las manchas digitalizadas en los 14 diagramas determinamos la superficie y las coordenadas del centro de cada mancha (ya que el programa CAD facilitaba ambos valores a la vez). Con ello, obtenemos las coordenadas longitud y latitud solar según el sistema de referencia acordado por Thilo. Como conocemos la fecha inicial de cada uno de los 14 periodos y su duración, podemos determinar la fecha de cada mancha con un simple cálculo de proporcionalidad, transformando los incrementos de longitud en incrementos de tiempo y sumándoselo a la fecha inicial de cada periodo. Como resultado obtenemos una tabla que figura en el Apéndice 2, con las coordenadas del centro de cada mancha junto con la superficie de la misma, indicando latitud y longitud establecida por Thilo, y la fecha en años y también en días julianos. Ahora, sería posible dibujar el diagrama de mariposa correspondiente para poderlo comparar con los de otros observadores. En esta tabla se indica también para cada mancha el periodo de los 14 en los que se observó, un número de orden del grupo de manchas dentro de cada periodo y el número de orden de cada mancha dentro del grupo. En total, hemos determinado las coordenadas y superficies de las 581 manchas que figuran en los diagramas de Thilo.

3.4. Reducción de los datos de Soemmering por Carrington

En 1860, Carrington publica en la revista de la Royal Astronomical Society el artículo titulado: “*On Dr. Sommerring’s Observations of Solar Spot in the Years 1826, 1827, 1828, and 1829. By R.C. Carrington; Esq.*” En este artículo, Carrington incluye un diagrama de mariposa de manchas solares (Figura 3.6) que obtiene a partir de las observaciones realizadas por S. Th. Soemmering entre junio de 1826 y enero de 1830.

Dentro de este intervalo de tiempo a partir de junio de 1827 hay una interrupción de siete meses en las observaciones de Soemmering. Por lo que hay dos periodos de observación, el primero desde el 1 de julio de 1826 hasta el 21 de junio de 1827 (al que se refiere la publicación de Thilo ya expuesta en este capítulo) y un segundo periodo de observaciones desde febrero de 1828 hasta enero de 1830 publicadas sólo por Carrington.

El diagrama de Carrington es un diagrama de mariposa con una cuadrícula de formar rectangular sobre la que se han dibujado la distribución de manchas solares mediante **segmentos de líneas verticales**. En el eje horizontal se representa el tiempo dividido en 47 periodos solares, mediante líneas verticales. Incluye también líneas verticales que indican el inicio de cada año durante la observación; en su eje vertical, se representan las latitudes solares entre los 40 y los -40 grados, mediante líneas horizontales espaciadas 10 grados. De esta forma, en el diagrama se representa mediante una cuadrícula con una malla de rectángulos de 10 grados de alto por un periodo solar de ancho. Las escalas gráficas de ambas magnitudes empleadas hacen que los rectángulos sean el doble de alto que ancho.

Además del diagrama de mariposa, Carrington incluye en su artículo una parte literal en donde explica cómo obtuvo los registros de Soemmering y cómo los trató posteriormente hasta obtener las coordenadas de las manchas solares observadas y poder dibujar el diagrama de mariposa de las mismas.

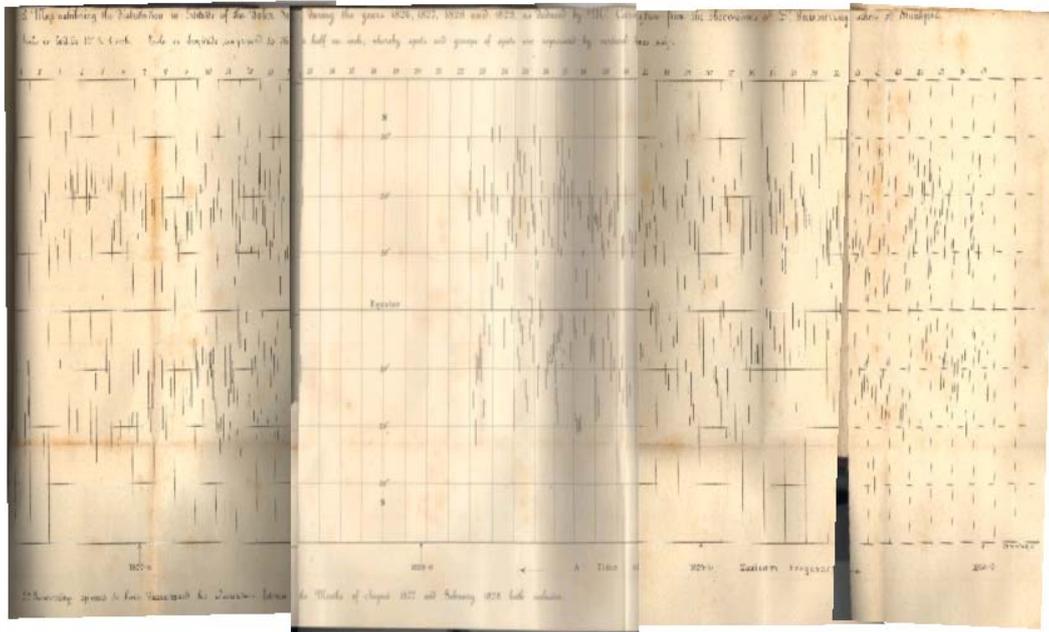


Figura 3.6. Diagrama de mariposa de Carrington elaborado a partir de las observaciones realizadas por Soemmering entre los años 1826 y 1830.

Carrington inicia su artículo narrando cómo tuvo conocimiento de las observaciones de Soemmering, a partir de una disertación publicada en 1828 por su discípulo el Profesor Thilo sobre las observaciones de aquel y de cómo le podrían servir dichas observaciones para obtener un valor más preciso del periodo de rotación solar al disponer de una serie antigua. Comenta Carrington cómo consiguió en 1857 los registros de Soemmering a través del hijo de éste el Dr. Wilhelm Soemmerring, gracias a la intermediación del Dr. Argelander de Bonn, al no haber podido encontrar dichos registros en la biblioteca de Gotinga (Alemania) donde, supuestamente, estaban depositados. Sin embargo, Carrington no pudo comenzar a trabajar con los citados registros hasta el año 1859 por estar finalizando trabajos previos. Carrington realizó entonces una copia de los diagramas de Soemmering y, posteriormente, realizó la reducción de los mismos con la ayuda de sus colaboradores.

Carrington hace referencia al trabajo de Thilo (expuesto en los primeros apartados de este capítulo) cuyas conclusiones confirmarían los trabajos de La Lande según él.

Los registros de Soemmering que Carrington recibe consisten en diagramas del disco del Sol, contenidos en dos libros delgados cosidos y dos grandes volúmenes encuadernados, copias de los dibujos realizados con el telescopio. De los registros recibidos, rechazó algunos diagramas de diversas grandes escalas entre abril y julio de 1826 por no tener indicada la dirección del movimiento diurno. El resto eran discos del Sol de 90 milímetros de diámetro, cruzados por dos líneas paralelas verticales y dos líneas paralelas horizontales. La intersección de estas líneas formaba un cuadrado en el centro cuyos lados eran de 30 milímetros y distaban 30 milímetros del cenit, nadir y los puntos de horizontales E y O.

Carrington deduce que el telescopio empleado por Soemmering tendría unos ejes de movimiento alrededor de los ejes vertical y horizontal, con un cuadrado en su campo dividiendo el disco toscamente en terceras partes verticales y horizontales, y que las posiciones que se guardaban se estimaron a ojo, con la asistencia del cuadrado de hilos atornillado aproximadamente en el centro del disco visible del sol. Estima que el método de observación es molesto además de que el cuadrado divide el disco en tercios inexactos por la variación del diámetro solar. No obstante considera que este error es insignificante en comparación con los de estimación del punto norte a partir del punto nadir dado y con el de determinación del tiempo, que durante los dos primeros años se dio a la hora o media hora más cercana y durante los dos últimos años con la aproximación de un cuarto. Este defecto es para Carrington la parte más débil de los registros de Soemmering. Para él, esta debilidad quedaría compensada al ser los registros continuos y las posiciones de las manchas muy numerosas en días sucesivos, lo que reduce el error de posición al hacer la media, por debajo del de una observación individual. Esto le indujo a emprender la reducción de las observaciones, unido a la creencia de que no podría encontrar más observadores micrométricos con series de mayor precisión.

Carrington rechazó unos 80 diagramas de la primera mitad de 1826, y mantuvo otros 80 realizados entre el 3 de agosto y el 31 de diciembre de ese mismo año, y alrededor de 160 entre enero y el 31 de julio de 1827. También mantuvo los discos más cuidadosos y precisos tomados entre primeros de marzo de 1828 y el 31 de diciembre de 1829, 240 discos de cada año, en total 720 discos. Carrington indica que de estos 720 discos, el tracto del profesor Thilo comprende la parte del primer tercio solamente; por lo que no conoce a nadie con anterioridad a él que hubiera realizado un examen de la última y más valiosa parte de estos registros, a lo largo del periodo de la máxima frecuencia determinada por el Prof. Wolf de Zurich a partir de las observaciones de Schwabe y Staudacher.

Continúa Carrington explicando el método que realizó para la reducción de las observaciones mediante métodos gráficos, empezando por copiar los 720 dibujos a una escala 3-4 veces mayor, desde los dibujos de 90 milímetros a los de 12 pulgadas inglesas (305 mm), por ser el tamaño de los discos de que disponía y porque deseaba tener una copia de los registros. Carrington comenta que las copias se realizaron con un pantógrafo de fabricación casera y se determinó su error por ensayo, estimando que no se introducía errores adicionales en la posición. Las copias realizadas, en tres volúmenes se exhibieron en la reunión de la Royal Astronomical Society en enero de 1860.

Seguidamente, Carrington expone los tres elementos que es necesario calcular para realizar la reducción por el método gráfico:

“1º. El ángulo entre la línea zenit y nadir del disco con la proyección del eje del Sol.

2º. El ángulo de inclinación con respecto al plano del ecuador del Sol de la línea que une los centros de la tierra y sol, que es sensiblemente la misma que la dirección de la visión.

3º. El meridiano del sol, que en el momento de la observación pasa a través del centro del disco”.

Carrington explica cómo con estos elementos y un conjunto de proyecciones de los principales meridianos y paralelos de latitud previamente preparados para diferentes valores del segundo elemento, se puede ver la posición de cada mancha para cada día

por superposición sobre el registro en el ángulo adecuado (1) la proyección adecuada (2), y leyendo las longitudes por sus diferencias con (3). Carrington expone que *el ángulo (1) es la suma (con el propio signo) de otros tres ángulos, S el ángulo en el centro del Sol entre el polo y el zenit de Frankfur, β el ángulo por el cual el eje de la Tierra, parece inclinado con respecto a una línea vertical sobre la eclíptica, para un observador en el sol, y γ el ángulo por el cual el eje del sol, parece inclinado con respecto a la vertical para un observador en el centro de la Tierra.* Los elementos empleados para el cálculo fueron $N = 74^{\circ} 8'$ y $I = 7^{\circ} 10'$ Sol.

Carrington indica que al depender el ángulo S de la hora, tendría un error considerable en ciertas posiciones al no haberse tomado el tiempo de observación con la precisión suficiente. Por ello, tras preguntarse cómo tratar los errores de observación (individualmente grandes), decidió realizar medias ya que estaba fuera de cuestión aplicar ecuaciones de condición. Carrington realiza una prueba con el siguiente esquema, primero dibuja la proyección principal de meridianos y paralelos para el tiempo dado estrictamente; entonces ensambla todas las posiciones individuales de las mismas manchas, y adopta los lugares medios de la primera aproximación; continúa comparando la posición de cada día con la media previamente obtenida alterando el ángulo S con lo que la diferencia del día se podría deducir; y así para cada día sucesivo: finalizando dibujando los principales meridianos y paralelos, con los valores correctos de S, y tomando las posiciones medias de las manchas y grupos. Aunque este método no presentaba dificultad para él; observó que las medias finales, en la mayoría de las partes, diferían tan poco de las de la primera aproximación cuando se rechazaban a su juicio algunas observaciones manifiestamente malas, por lo que la labor de repetición apenas compensaba. Este método lo encontró impracticable para sus asistentes por la dificultad de establecer normas satisfactorias para su guía en su ausencia por lo que, finalmente, decidió hacer medias simples de los resultados y no depender de las posiciones cerca del limbo, en los que los errores de S tienen mucho efecto. Carrington estima que, aunque el proceso es grosero, el resultado final para el grupo es casi tan correcto como cualquier otro que se podría obtener por medios más refinados. Las posiciones de los grupos así obtenidas se incluyeron en una serie de hojas (exhibidas en la reunión de la Sociedad). No creyó justificado pedir a la Sociedad que publicara los resultados *in extenso*, tan sólo se limita en dar a conocer los resultados que se extrajeron de la observación, y que están en su poder y accesibles para su uso a cualquier estudiante a cuyas investigaciones puedan servirles. Por esto, Carrington sólo muestra en este artículo el resumen gráfico de la distribución en latitud de estos cuatro años, similar a su anterior artículo de noviembre de 1858.

Analizando los resultados, Carrington añade que en cuanto a la distribución de latitud no hay ningún cambio singular; y lo único que se puede destacar es que durante 1828 y 1829 la región del ecuador parece haber tenido menos manchas de lo que es usual. Además, indicó que el tamaño de los grupos era inusualmente grande. La evidencia de sus dos mapas le ha hecho muy escéptico sobre la supuesta observación de manchas en las latitudes altas; por lo que juzga desacreditada la afirmación de que las manchas han estado en la latitud de 70 grados, por lo que cree que esto ha surgido de errores en la reducción.

A pesar de que Carrington buscó los registros de Soemmerring con el fin de obtener un valor más exacto del período de rotación del Sol, añade que hasta ahora está desconcertado ya que no reconoce los indicios de recurrencia que le podrían permitir llegar al resultado, por lo que concluye que este fenómeno, todavía quiere una teoría adecuada. Como otros que han tratado de identificar la recurrencia de manchas

individuales y grupos por las peculiaridades de tamaño o forma, ha agrupado los brotes de lotes sucesivos de 4 o 5 rotaciones; pero hasta el momento la idea le falla. Carrington expone que este problema es de mucha importancia para entender la teoría física del Sol; y aunque las operaciones deben prolongarse, no tiene ninguna duda de que a su debido tiempo habrá una conclusión.

3.5. Metodología. Digitalización del diagrama de Mariposa de Carrington

Vamos a explicar en este apartado cómo realizamos la digitalización del diagrama de mariposa de Carrington en un programa de dibujo asistido CAD y cómo, a partir de aquí, obtuvimos las coordenadas numéricas de las manchas representadas en dicho diagrama.

Este artículo de Carrington se ha descargado de la página web del “*NASA Astrophysic Data System*” en formato PDF. Como el diagrama de mariposa que incluía no era legible, solicitamos una copia del mismo a la biblioteca del Real Observatorio de la Marina en San Fernando (Cádiz) donde se encuentra un ejemplar de la revista original. Desde esta biblioteca, nos facilitaron una copia más detallada del diagrama de mariposa en formato ráster con extensión “jpg”, descompuesto en 4 imágenes ya que el tamaño del gráfico original en papel superaba al del escáner utilizado (Figura 3.6). Por ello, la imagen facilitada está rota y tiene grandes deformaciones como se puede observar. Los diferentes procesos seguidos se describen en los siguientes apartados:

a. Dibujo de los diagramas de coordenadas

En primer lugar, en un programa de dibujo CAD se comenzó dibujando una cuadrícula de color rojo de proporciones similares a las del diagrama original de Carrington (Figura 3. 7). Así, el diagrama dibujado es una cuadrícula de 8 rectángulos de alto por 47 de ancho, cada uno de de los cuales mide el doble de alto que de ancho. Se completó el diagrama añadiendo los mismos rótulos que figuran en el diagrama de Carrington, indicando periodos solares e incluyendo también las líneas verticales correspondientes al inicio de cada año.

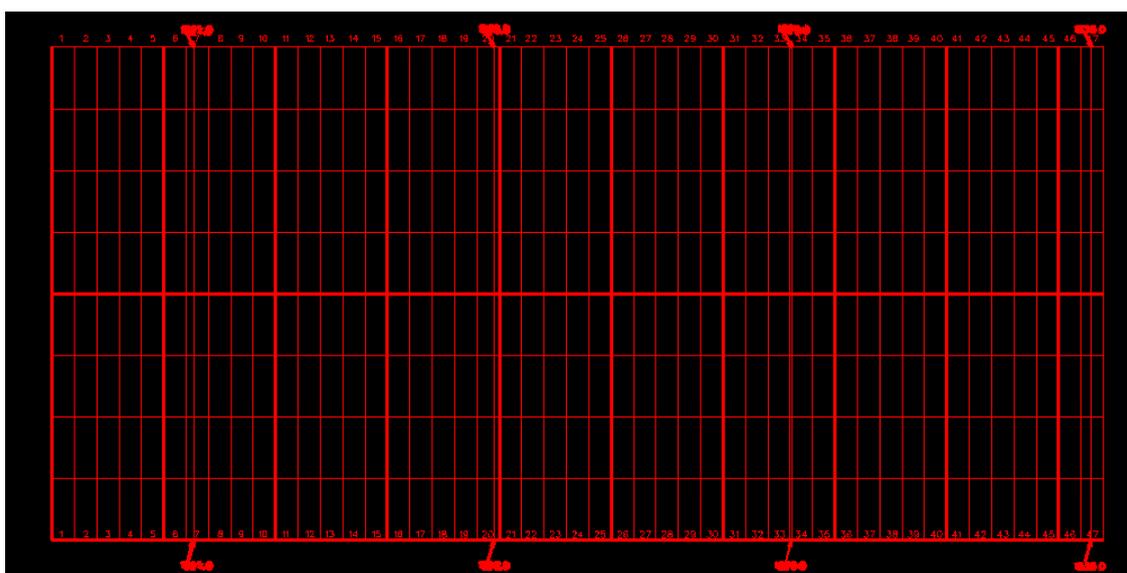


Figura 3. 7. Cuadrícula del Diagrama de Carrington

b. Importación y ajuste de las imágenes

A continuación, se importaron al programa CAD las cuatro imágenes ráster facilitadas, resultado de escanear el gráfico de Soemmering, de tal forma que es posible superponer la cuadrícula dibujada en la fase anterior sobre estas imágenes importadas. Luego, es necesario ajustar las imágenes importadas a la cuadrícula dibujada, ya que las imágenes facilitadas tienen grandes deformaciones, como ya hemos comentado, debidas a las dobleces del papel cuando se realizaron las copias digitales. Para esto es necesario rectificar la imagen hasta que la cuadrícula de esta sea coincidente con la cuadrícula del diagrama dibujado (Figura 3.8), de manera que modificamos la imagen original cambiando su forma y tamaño, además de desplazarla.

Las deformaciones de las imágenes escaneadas eran tan grandes que era necesario realizar el ajuste para cada rectángulo de la cuadrícula, ya que el ajuste sólo es válido en el interior de cada rectángulo. A medida que nos alejamos, las deformaciones aumentan y ya no coincide la cuadrícula de la imagen con la cuadrícula del diagrama dibujado. Con esta forma de proceder, quedaban prácticamente eliminadas las deformaciones de la imagen original.

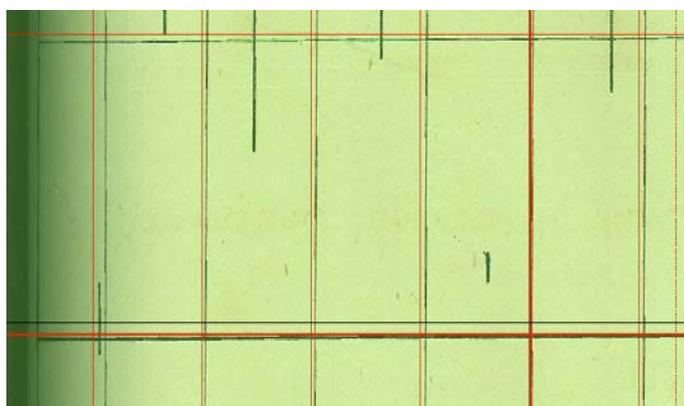


Figura 3.8. Falta de ajuste de imagen (líneas negras) y cuadrícula (líneas rojas).

c. Digitalización de las manchas solares

Una vez ajustada la cuadrícula de la imagen a la cuadrícula dibujada en un rectángulo que contuviera manchas, se procede a dibujar cada una de las líneas verticales que representan las manchas del interior de dicho rectángulo. Para esto, se toma cada una de las líneas verticales que hay dentro del rectángulo en cuestión, dibujando una línea de color azul superpuesta a la línea de la imagen, que queda grabada internamente en el fichero de dibujo. Este proceso se podría hacer al máximo detalle al poder aumentar la vista de la imagen y, así, poder dibujar cada línea con toda la exactitud del original, haciendo despreciables los errores de esta toma de datos. No obstante, la precisión de esta toma de datos tiene la máxima precisión que puede tener el gráfico original. El grosor de las líneas que representan las manchas es de aproximadamente un veinteavo del ancho de los rectángulos de la cuadrícula, que equivale a un periodo solar. Por lo tanto, la precisión en fecha de las manchas dibujadas en el gráfico de Carrington sería aproximadamente $\pm 2/3$ de un veinteavo de un periodo sinódico de 27,275 días, es decir, de aproximadamente $\pm 0,9$ días.

Estos dos procesos los repetimos en cada rectángulo del gráfico, en el que hay representadas manchas: ajuste de la imagen a la cuadrícula y toma de las manchas interiores al rectángulo. Al final del proceso, obtenemos el dibujo del diagrama de Carrington en formato digital (Figura 3.9).

d. Obtención de coordenadas de las manchas

Una vez digitalizadas cada una de las líneas que representaban manchas, se pasa a determinar las coordenadas de los extremos de cada una. Cuando se seleccionan las líneas que representan las manchas mediante un comando del programa CAD, es posible obtener información de los elementos seleccionados del dibujo, tales como las coordenadas de los extremos de una línea. El programa muestra esta información en un fichero de texto editable que se exporta a un fichero Microsoft Word.

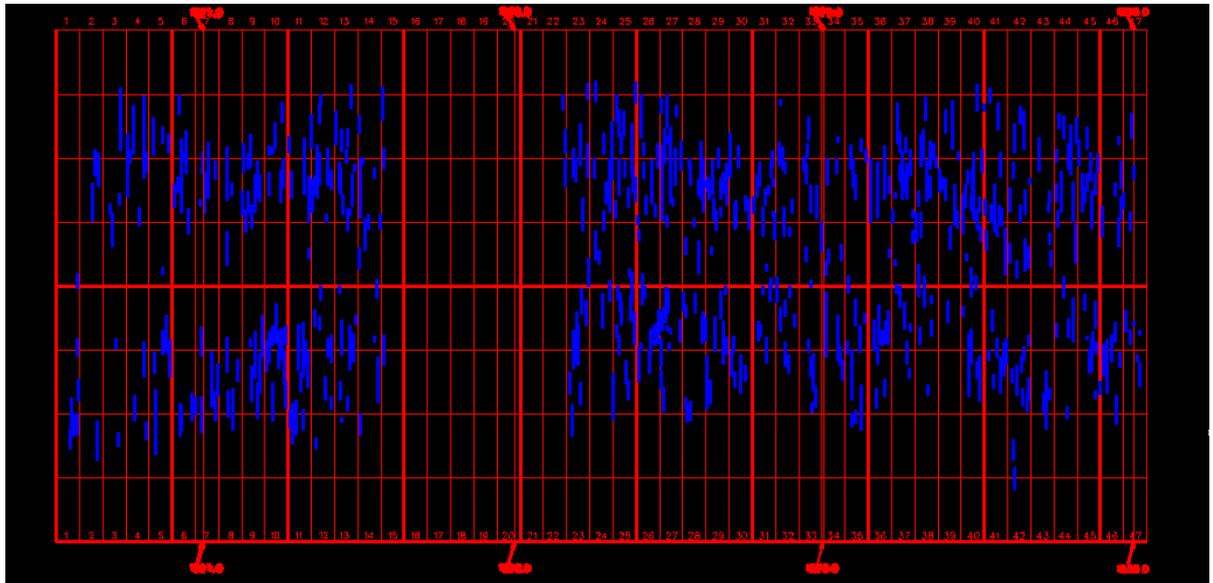


Figura 3.9. Diagrama de Carrington digitalizado-

En Microsoft Word se depuraba la información, eliminando los textos con información que no era relevante, quedando únicamente el número de línea (según código interno del CAD) y las coordenadas de sus puntos extremos en el sistema de coordenadas del dibujo. Al final disponemos de un listado de 565 líneas verticales con las coordenadas de sus extremos.

e. Transformación de coordenadas

La información se pasó a una tabla de Microsoft Excel para poder determinar las coordenadas transformadas de los puntos, ya que el dibujo realizado en el CAD está en coordenadas rectangulares lineales del sistema de referencia del dibujo, que no se corresponde con las escalas representadas en el diagrama de Carrington (tiempo y latitud en grados). Para esto, primero se realizó una traslación de coordenadas, para que el origen del gráfico tuviera las coordenadas (0.000, 0.000) al igual que el diagrama de Carrington y se realizó una transformación de coordenadas y unidades, obteniendo las coordenadas de los extremos de cada línea en el sistema de referencia de tiempo en abscisas y latitud en ordenadas. Finalmente, se obtiene como coordenadas de cada mancha el punto medio de la línea que la representa, haciendo la media aritmética de las latitudes de sus dos extremos y tomando como fecha de la mancha la misma de los puntos extremos de la línea.

El Apéndice 3 contiene una tabla en la que se muestran las coordenadas de las manchas solares del gráfico de Carrington obtenidas a partir de las observaciones de Soemmering.

3.6. Thilo versus Carrington

En la Figura 3.10, se pueden comparar las posiciones de manchas determinadas por Thilo y por Carrington, del primer periodo de observación de Soemmering, entre junio de 1826 y marzo de 1827. Puede notarse que aunque ambos autores representan un número parecido de manchas, no existe una coincidencia perfecta entre las posiciones determinadas por ambos autores aunque sí parecen tener una distribución parecida, con pocas manchas en la zona ecuatorial durante el periodo considerado y manchas más numerosas al final del periodo. Mientras que Thilo representa 581 posiciones de manchas, Carrington sólo representa 565. Esto quizás se deba a que Carrington desechó 80 registros de las observaciones realizadas por Thilo en ese periodo, porque no indicaban la dirección del movimiento diurno.

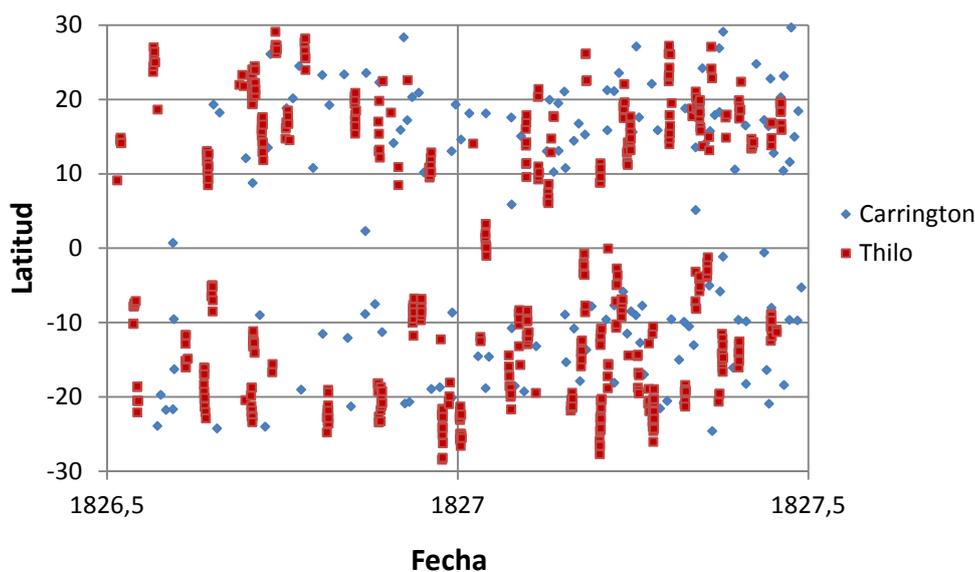


Figura 3.10. Posiciones manchas solares determinadas por Thilo y Carrington a partir de las observaciones de Soemmering.

Una de las posibles causas de la diferente distribución de las posiciones es que el método utilizado para obtenerlas ha sido diferente. Mientras que Carrington determinaba la posición de una mancha mediante la media de varios días de observación, Thilo obtenía la posición cuando la mancha estaba situada en el centro del disco solar.

Otra causa de esta diferencia es que los dos autores consideraron diferente el ángulo de inclinación del eje solar respecto del eje de la eclíptica. Mientras que Thilo toma un valor de $7^{\circ} 10'$, Carrington utiliza un valor de $7^{\circ} 30'$, por lo que al reducir las observaciones han obtenido posiciones diferentes de las manchas.

Por otro lado, mientras que en el diagrama de Carrington parecen estar determinadas la posición de manchas asiladas, en el de Thilo se representan las posiciones de las manchas de cada grupo.

3.7. Comparación de las observaciones de Soemmering y Schwabe.

Samuel Heinrich Schwabe hizo 8486 dibujos del disco solar con manchas solares desde el 5 de noviembre de 1825 hasta el 29 de diciembre de 1867. R. Arlt et al (2014) en “Sunspot positions and sizes for 1825–1867 from the observations by Samuel Heinrich Schwabe” muestran el resultado de la medición del tamaño y del cálculo de las coordenadas heliográficas de manchas solares en las imágenes digitalizadas de esos

dibujos. A partir de aquí, han creado una base de datos en la que han incluido un total de aproximadamente 135.000 mediciones de manchas solares individuales.

Ya que las observaciones de Soemmering que hemos estudiado en este capítulo se encuentran dentro de dicho intervalo de tiempo (1826 junio – 1830 enero), se hace necesario comparar las observaciones de este con las Schwabe.

En la base de datos de Schwabe figuran muchos más datos que los que hemos podido obtener de los diagramas de Thilo y Carrington. Los datos que aparecen en esta base de datos se muestran en una tabla con las siguientes columnas: año, mes, día, hora y minuto de cada observación, longitud y latitud heliográfica del centro del disco solar, longitud y latitud heliográfica de cada posición aislada de cada mancha, además de otros datos. Sin embargo, en los diagramas de Thilo y de Carrington, no figuran todas las posiciones aisladas observadas por Soemmering. Thilo dibuja en sus gráficos las manchas cuando están en el centro del Sol y no en todas sus posiciones. Mientras, Carrington obtiene las posiciones dibujadas en su diagrama a partir de la media aritmética de las posiciones reducidas de una misma mancha en días sucesivos. Por tanto, los dos autores muestran diagramas de resumen y no datos parciales. Además, de los diagramas de Thilo y Carrington sólo hemos podido obtener latitud y fecha de cada posición representada y no con demasiada precisión. Por tanto, es obligado comparar los resultados de la base de datos de Schwabe con los obtenidos de las observaciones de Soemmering con ciertas reservas.

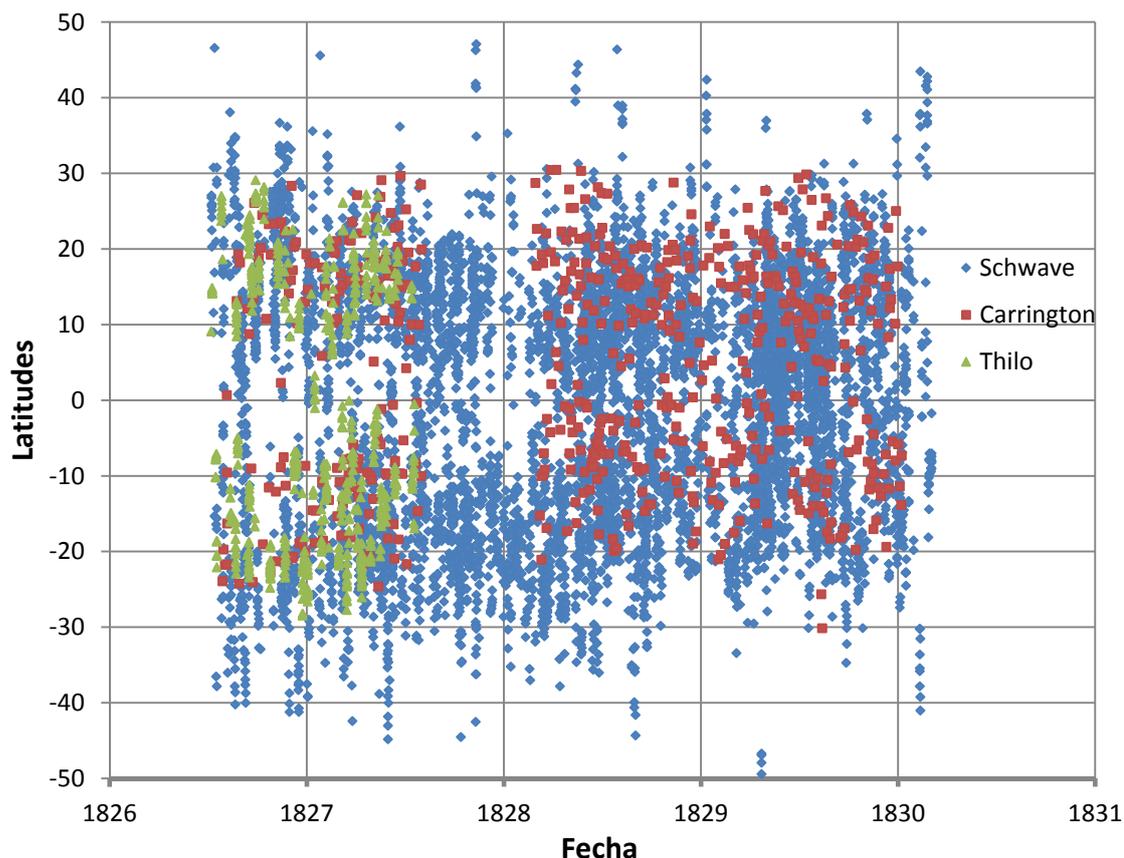


Figura 3.11. Diagrama de mariposa de las observaciones de Schwabe y Soemmering.

A partir del fichero de texto con la base de datos de Schwabe, se realizan varios procesos para poder representar juntos los datos de Soemmering y Schwabe para así compararlos gráficamente:

1. En primer lugar se carga los datos del fichero de texto con la tabla de datos en un fichero Excel.

2. A continuación, se filtran los datos, eliminando las filas correspondientes a posiciones fuera del periodo de observación de Soemmering, con lo que restan 7482 posiciones de manchas solares individuales.

3. Se realiza un nuevo filtrado eliminando las líneas de posiciones de manchas en las que no figura la latitud y nos quedamos sólo con las columnas correspondientes a la fecha y la latitud de cada posición de las manchas, para poder comparar en un diagrama de mariposa similar a los de Thilo y Carrington. En total nos quedan 7302 posiciones aisladas de manchas.

4. Con las columnas de tiempo se calcula la fecha juliana en unidades de tiempo y en años con decimales. No se han tenido en cuenta los minutos, dada las precisiones que podemos obtener de los gráficos de Thilo y Carrington.

5. Se obtiene un diagrama de mariposa (Figura 3.11) para el periodo estudiado en el que representamos los datos obtenidos por Thilo y Carrington a partir de las observaciones de Soemmering, y los datos obtenidos por Arlt et al. (2014) a partir de las observaciones de Schwabe.

A la vista del diagrama de mariposa obtenido, vemos que las posiciones calculadas a partir de los datos del Soemmering se solapan con posiciones obtenidas de Schwabe para las mismas fechas o cercanas. Sin embargo, vemos que Schwabe obtiene posiciones en latitudes más altas que las obtenidas de Soemmering. Esto quizás se deba en parte a que, según Thilo, no se tomaron datos de manchas y grupos pequeños.

Existe acuerdo entre las posiciones determinadas por Soemmering y las de Schwabe, aunque mucho más numerosas en este, al ser las posiciones recuperadas de Soemmering resultado de una media aritmética en el caso de Carrington, o de una selección en el caso de Thilo.

Capítulo 4. Manchas solares observadas por Sestini (1850)

En este capítulo, vamos a explicar la reducción que hemos hecho de las manchas solares dibujadas por el profesor Benedict Sestini en 1850. Además, analizamos la utilidad del programa Software HSunpots (Cristo et al., 2011) para obtener datos de este tipo de trabajo. Finalmente comparamos los resultados obtenidos con la base de datos elaborada por Arlt et al. (2013) a partir de las observaciones realizadas en la misma fecha por el astrónomo amateur alemán S. H. Schwabe.

4.1. Las observaciones de Sestini

La publicación astronómica del *National Observatory* de Washington titulada “*Astronomical Observations made during the year 1847 at the Vol. III.1853*” recoge en su apéndice A las observaciones de manchas solares hechas en el observatorio del Georgetown College, desde el 20 de septiembre hasta el 6 de noviembre de 1850, por el profesor Benedict Sestini.

La Figura 4.1 muestra los días en los que Sestini hizo observaciones y, por lo tanto, un dibujo del disco del Sol está disponible para cada uno de estos días. Debemos notar que Sestini no incluyó dentro de ese periodo de tiempo las observaciones de los días 18 octubre y del 24 al 27 de octubre (Figura 4.1) por estar el Sol cubierto.



Figura 4.1. Días en los que Sestini realizó sus dibujos de manchas solares (año 1850)

Las observaciones de esta publicación de Sestini consisten en una serie de 42 dibujos diarios del disco solar, como el que se muestra en la Figura 4.2, sobre los que representa con gran detalle las manchas visibles del día observado.

El disco de cada día de observación se presenta en el centro de una sola página, en la que se indica el orden de la plantilla en numeración romana en la parte superior derecha y la fecha a la que corresponde debajo del dibujo del disco solar. En la parte superior del disco se indica mediante la letra *N* la dirección del norte, por lo que supusimos inicialmente que los discos solares estaban bien orientados. Por ello, suponemos que Sestini debió utilizar un telescopio con montura ecuatorial o debió orientar previamente el antejo antes de realizar el dibujo de las manchas. Sestini utilizó un telescopio Pixii de 4 pies (122 cm) con una lente de 3 pulgadas (76 mm) y 40 aumentos. Por los dibujos de las manchas, deducimos que Sestini realizó sus dibujos mediante observación directa ya que, en los dibujos, el movimiento aparente de las manchas es de izquierda a derecha, por tanto el Este estaría a la izquierda y Oeste a la derecha.

Sestini incluye junto con la serie de dibujos diarios del Sol una carta dirigida al Teniente M. F. Maury de la Armada Estadounidense, director del *National Observatory* de Washington, en la que explica las observaciones de manchas solares que adjunta. La

carta termina con un diario en el que describe brevemente detalles de observación de cada día de observación.

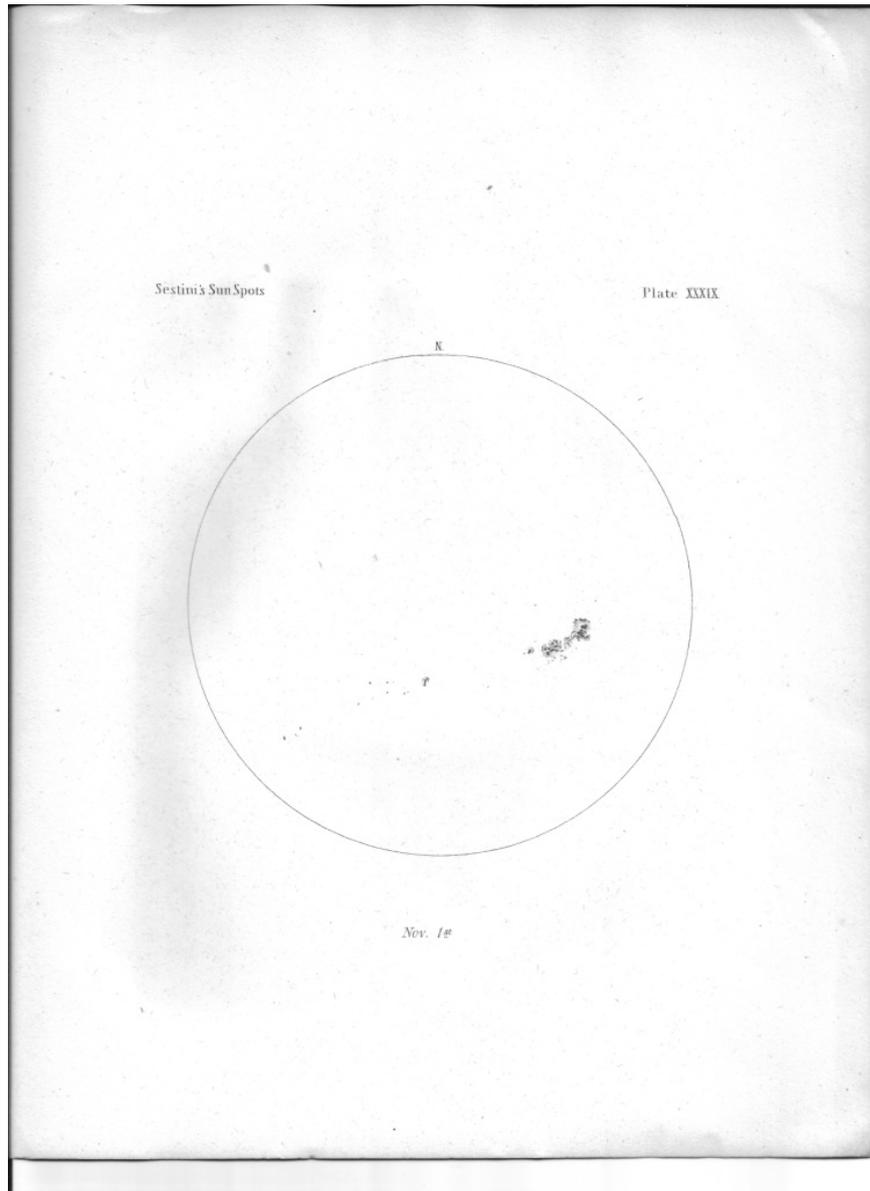


Figura 4.2. Un ejemplo de los dibujos de manchas solares realizados por Sestini. En este caso, se trata de la lámina 40 correspondiente al 2 de noviembre de 1850.

A lo largo de esta carta, Sestini relata que inició estas observaciones a sugerencia del Profesor F. Curley, director del observatorio del Georgetown College. Sestini indica que realizó los dibujos mirando directamente al Sol por considerarlo un método superior al de tomar dibujos de la imagen del Sol recibida en papel blanco. Sestini, aunque estima que sus observaciones no proporcionan hechos tan numerosos como para que se pudieran derivar conclusiones satisfactorias, señala algunos hechos que en su opinión merecen una atención peculiar y considera que, presentando al público una serie abundante de observaciones, puede ocurrir que otros descubran lo que él no puede encontrar. Las explicaciones de Sestini se refieren generalmente a las variaciones que fueron experimentando las manchas y grupos de manchas durante los días que realizó los dibujos y la posible naturaleza física de las manchas.

Sestini explica que para definir la posición de las manchas que observaba colocó once hilos de seda situados paralelos y verticalmente y otros tantos horizontalmente en la montura del telescopio, formando un cuadrado dividido en 100 cuadrados pequeños. De esta manera fija el centro de las manchas, para marcarlas en el círculo que representa el disco solar, antes de comenzar los dibujos. Sestini considera que toma la posición de las manchas con la suficiente precisión, ya que su objeto no es el de determinar la trayectoria de las manchas, y por tanto le es suficiente con tener cada día la posición aproximada de ellas con referencia al disco solar.

Sestini apunta que como los dibujos de las manchas requerían mucho tiempo no dibujó las fáculas por la difícil definición de sus contornos. Sin embargo, aunque no llega a representar en sus dibujos las fáculas, incluye comentarios de estas en la carta y en el diario. Los comentarios de Sestini se refieren a los cambios de tamaño que observa en las manchas y de cómo estas aparecen o desaparecen junto con las fáculas visibles, así como los cambios producidos por los grupos aumentando o disminuyendo el número de núcleos de que constan.

4.2. Manejo del programa HSunspots con las observaciones de Sestini

El programa HSunspots es un software que permite obtener superficies y coordenadas heliográficas de manchas solares a partir de imágenes digitales de dibujos del disco solar de una manera gráfica y muy sencilla. El programa fue diseñado para analizar dibujos históricos de manchas solares por Alejandro Cristo, José Manuel Vaquero y F. Sánchez-Bajo.

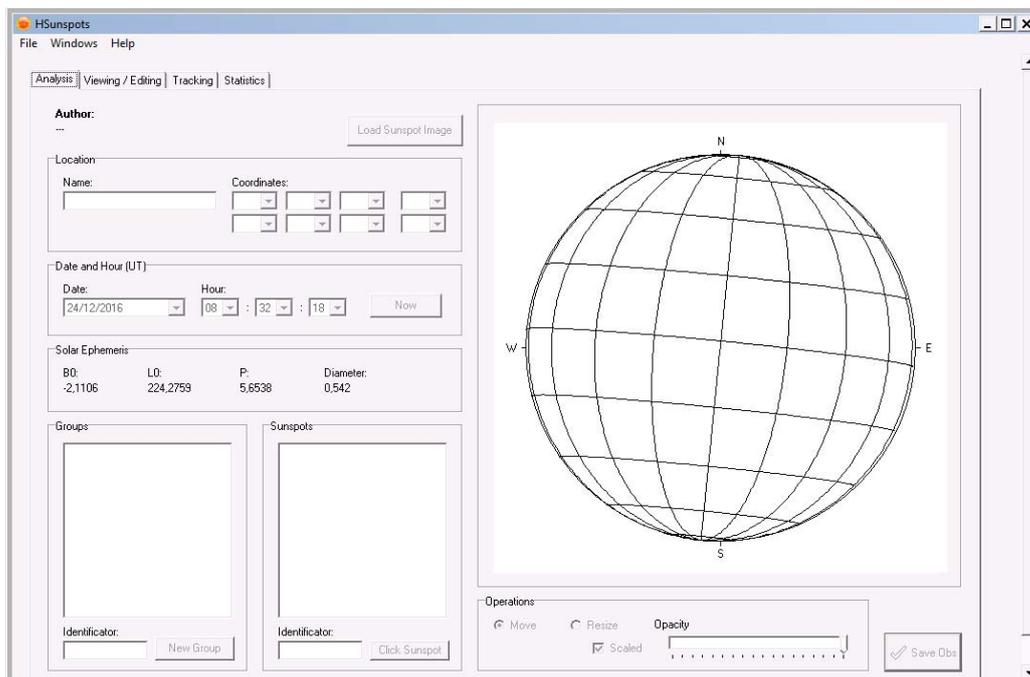


Figura 4.3. Vista *Analysis* del programa HSunspots

El programa se ejecuta en entorno Microsoft Windows sin más que hacer clic en el icono del fichero ejecutable una vez instalado, en el lugar dónde se ubique en el PC (Inicio/todos los programas/HSunspots /HSunspots.exe). También es posible ejecutar el programa en entorno GNU Linux.

Al ejecutar el programa se muestra por defecto la vista *Analysis* del programa (Figura 4.3). En la parte superior, independientemente de la vista del programa seleccionada, se sitúa el menú principal con tres comandos: *File*, que permite crear y guardar los ficheros de los proyectos generados por el usuario y también exportar resultados; con la opción *Windows* se puede seleccionar las diferentes vistas que muestra el programa para introducir datos o para obtener resultados o estadísticas; y mediante la opción *Help* se muestra información de la versión del programa y de sus diseñadores.

Bajo la línea de comandos del menú principal, hay una segunda línea de pestañas en la que también se puede seleccionar una de las cuatro vistas del programa (de la misma forma que en la opción *Windows* del menú principal).

La vista principal *Analysis*, mostrada por defecto al ejecutar HSunspots, se encuentra dividida en dos partes. Tenemos, por un lado, la parte de la izquierda en la que se introducen los datos de la observación (ubicación, fecha, hora, ...) y se muestran las efemérides del Sol para la fecha y hora introducidas. Por otro lado, tenemos la parte de la derecha donde se muestra un gráfico de la proyección (ortográfica) de la cuadrícula de paralelos y meridianos del Sol en función de la fecha y hora de la observación que se ha introducido. En esta parte se muestra superpuesta la imagen que se debe cargar en el programa con los dibujos de manchas, para poder adquirir los datos.

Para poder reducir los dibujos de Sestini, digitalizamos con un escáner las hojas con los 42 dibujos diarios observados y se salvaron las imágenes con formato ráster con extensión jpg.

En HSunspots, el eje de rotación solar tiene orientación diferente a los dibujos de Sestini, estando el Oeste (W) a la izquierda del N y el Este (E) a la derecha. En los dibujos de Sestini, se sitúan al contrario como pudimos deducir de las diferentes posiciones que tenían las manchas en días sucesivos, las cuales se movían en sentido directo de izquierda a derecha. Como en HSunspots hay que cargar las imágenes en sentido inverso, realizamos un segundo conjunto de copias simétricas respecto del eje vertical con lo que cambiaron las posiciones de E y W. Con ello, veríamos en HSunspots que las manchas se moverían aparentemente en sentido inverso, de derecha a izquierda, pero correctamente de E a W.

4.2.1. Creación de un proyecto y carga de imágenes.

Se inicia una sesión de trabajo seleccionando en la opción *File* del menú principal *New Project*. Tras esto y teniendo abierta la vista *Analysis* se abre un cuadro de diálogo en el que se pueden introducir diferentes datos del autor del nuevo proyecto. Cuando se cierra este cuadro de diálogo aparece el nombre del Autor del proyecto en la vista del programa.

A continuación se debe cargar la imagen con el dibujo de las manchas solares cliqueando en *Load Sunspot Image* que abre un cuadro de diálogo con el árbol del directorio del ordenador donde se selecciona la imagen que se desea estudiar. El programa admite imágenes en los formatos de imagen ráster con extensiones: jpg, jpeg, bmp, ico, emf y vmf.

Una vez abierta la imagen seleccionada, se cierra el cuadro de diálogo anterior y la imagen con el dibujo de manchas solares seleccionado aparece superpuesta en la parte derecha de la vista (Figura 4.4), encima de la imagen de la proyección de la cuadrícula. Entonces, seleccionamos alguna de las Operaciones (Operations) que parecen en la parte inferior de la parte derecha, bajo la imagen de la cuadrícula, con el fin de ajustar la

imagen superpuesta hasta hacer que el borde del disco de la imagen cargada coincida con el círculo exterior de la imagen de la cuadrícula que aparece debajo.

Para esto, la operación Move permite mover la imagen superpuesta manteniendo pulsado el botón izquierdo del mouse con el cursor encima de la imagen cargada. Con la operación Resize, se puede cambiar el tamaño de la imagen cargada de la misma manera (manteniendo pulsado el botón izquierdo del mouse sobre la imagen). Por último, la operación Opacity permite difuminar la imagen cargada haciéndola traslúcida para poder ajustarla a la imagen de la cuadrícula que se ve debajo, mediante una escala gráfica.

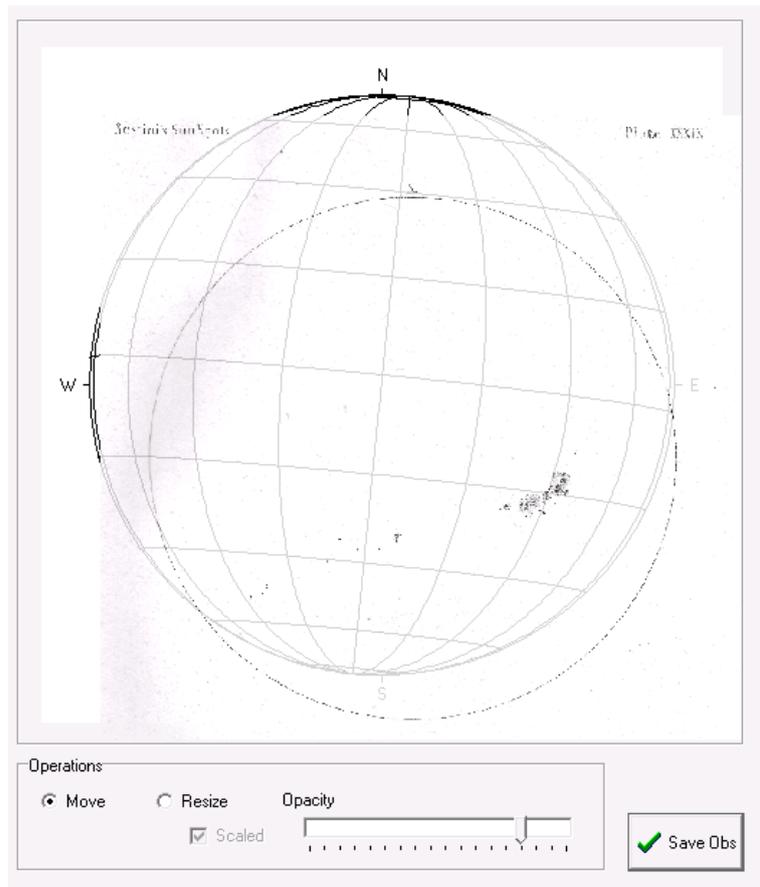


Figura 4.4. Ajustando la imagen cargada a la cuadrícula

De esta manera, utilizando alternativamente estas tres operaciones, se va modificando el tamaño y la posición de la imagen hasta que el círculo del disco solar de la imagen cargada coincide con el círculo de la proyección de la cuadrícula generada por HSunspots.

Uno de los problemas que nos surgió en esta fase fue que las imágenes escaneadas de los discos, al ser de la página completa, al cargarla en el programa, tapaban el cuadro *Operations*, por lo que no era posible seleccionar las diferentes operaciones al estar la imagen cargada encima. Por esto, fue necesario realizar un tercer conjunto de copias a partir del segundo conjunto de imágenes inversas, en las que recortamos la parte inferior de la página, quedando la parte superior necesaria con el dibujo del disco.

4.2.2. Cálculo de efemérides solares

Una vez ajustada la imagen, es necesario introducir la fecha y la hora del momento en el que se realizaron los dibujos de la observación. Esto se hace en el cuadro *Date and Hour* de la parte izquierda de la vista (Figura 4.5). La hora debe introducirse en Tiempo Universal (*UT*), por lo que es necesario tener en cuenta la longitud geográfica del lugar en el que se hicieron las observaciones.

The screenshot shows two main sections in a light-colored window. The top section is titled 'Date and Hour (UT)' and contains a 'Date:' dropdown menu with '01/11/1850' selected, and a 'Hour:' section with three dropdown menus for hours, minutes, and seconds, showing '17', '08', and '18' respectively. A 'Now' button is located to the right of the hour dropdowns. The bottom section is titled 'Solar Ephemeris' and contains a table with four columns: B0, L0, P, and Diameter. The values are: B0: 4,1221; L0: 117,1821; P: 24,6162; Diameter: 0,5375.

B0:	L0:	P:	Diameter:
4,1221	117,1821	24,6162	0,5375

Figura 4.5. Efemérides solares calculadas en HSunspots, en una fecha y hora determinadas

Al introducir la fecha y la hora se obtienen automáticamente las efemérides solares correspondientes, las cuales se muestran en el recuadro *Solar Ephemeris*: coordenadas heliográficas del centro del disco solar (B_0 y L_0), el ángulo de posición del eje del Sol respecto del eje terrestre P y el valor del semidiámetro aparente del Sol s .

A la vez, también se modifica la imagen de la proyección de la cuadrícula que se muestra en la parte derecha de la vista, modificando el ángulo P y modificando la cuadrícula de coordenadas para que las coordenadas heliográficas del dentro del disco se correspondan con las calculadas.

Teniendo en cuenta la longitud geográfica del Georgetown College en Washington ($77^{\circ}4'22''$ W) y suponiendo que Sestini realizaba sus observaciones próximas al mediodía, tenemos una diferencia horaria, con respecto al meridiano de Greenwich de $5^{\text{h}} 8^{\text{m}} 17,5^{\text{s}}$, por lo que la hora en Tiempo Universal (*UT*) de observación de Sestini sería próxima a $17^{\text{h}} 8^{\text{m}} 17,5^{\text{s}}$.

En la Figura 4.5, se muestran las efemérides solares determinadas en HSunspots para el 1 de noviembre de 1850 al mediodía en el Georgetown College en Washington.

The screenshot shows two side-by-side panels. The left panel is titled 'Groups' and contains a list box with a single item '1' highlighted in blue. Below the list box is an 'Identificator:' label followed by an empty text input field and a 'New Group' button. The right panel is titled 'Sunspots' and contains an empty rectangular area. Below this area is an 'Identificator:' label followed by a text input field containing the number '1' and a 'Click Sunspot' button.

Figura 4.6. Introducción de los identificadores de Grupo y Mancha en HSunspots

4.2.3. Toma de las manchas solares

Cuando la imagen del disco solar está cargada y ajustada a la cuadrícula de la fecha y hora, el siguiente proceso es el levantamiento de las manchas. Para esto, hay que introducir primeramente en la parte inferior de la parte izquierda de la vista *Analysis* el número del grupo de manchas en la ventana *Identificator* del recuadro *Groups* y hacer clic en *New Group* (Figura 4.6).

Seguidamente, se introduce el número de la mancha en la ventana *Identificator* del recuadro *Sunspots*. Tras esto, se hace clic en el botón *Click Sunspot* en este mismo recuadro para tomar la mancha (simplemente haciendo clic sobre el dibujo de la mancha en la imagen cargada en la parte derecha de la vista).

Cuando se hace clic en el dibujo de la mancha, se activa el botón *Stop Clicking*, en el cuadro *Operations* de la parte derecha de la vista (Figura 4.7). Pulsando este botón, quedan grabados los datos de la mancha y es posible introducir un nuevo identificador de mancha, o de grupo, en la parte izquierda de la vista *Analysis* como en el paso anterior. Así se continúa tomando todas las manchas de un grupo y tomando nuevos grupos de manchas.

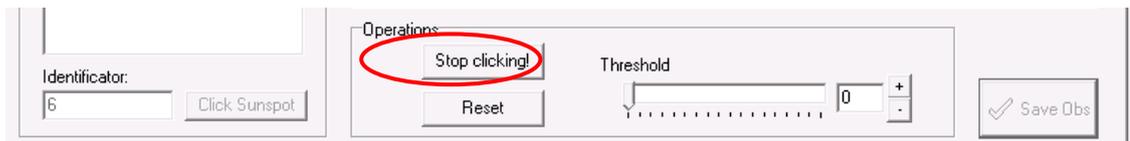


Figura 4.7. Tomando la mancha 6

También es posible, después de hacer clic en el botón *Stop Clicking*, guardar las observaciones realizadas (haciendo clic en el botón *Save Obs* que aparece en la parte inferior de la parte derecha de la vista, Figura 4. 8). Al ir seleccionando las manchas en la imagen cargada, estas aparecen coloreadas en color rojo.



Figura 4. 8. Tomar una nueva mancha o salvar las observaciones

4.2.4. Visualización y edición de observaciones

En la parte izquierda de la vista *Viewing/Editing*, se muestran tres recuadros donde es posible visualizar, o eliminar, las observaciones de un día, de un grupo o de una mancha individual (Figura 4.9), mostradas respectivamente en su recuadro correspondiente. En la parte derecha de cada recuadro, se muestra la información guardada:

En el recuadro *Observations* se muestran los datos del día de observación seleccionado: nombre y coordenadas del lugar de observación introducidas por el usuario, la fecha y hora, el día juliano correspondiente, el número de grupos observados en ese día y el número de manchas observadas del día.

En el recuadro *Groups* podemos ver información del grupo seleccionado tal y como área del grupo en pixels y en millonésimas, el hemisferio donde se encuentra y el número de manchas de que consta.

En el recuadro *Sunspots*, son visibles para cada mancha seleccionada sus coordenadas heliográficas, su superficie (en pixeles y en millonésimas) y el hemisferio en el que se ubica.

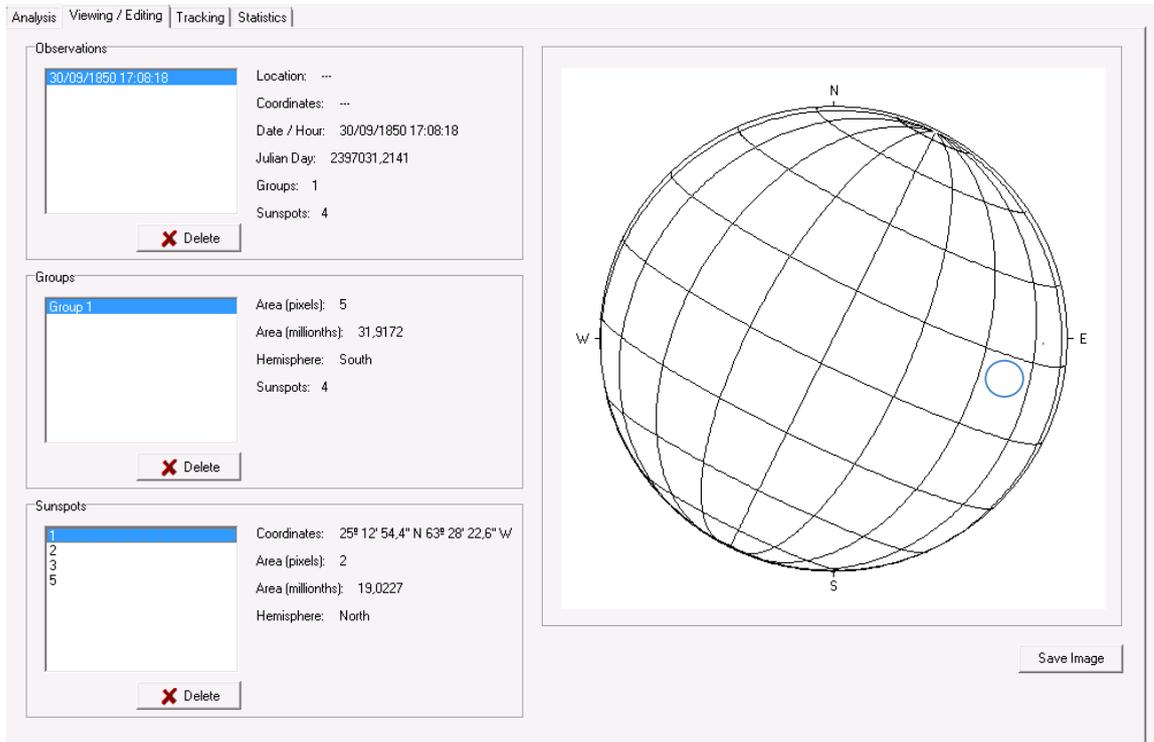


Figura 4.9. Vista de Viewing / Editing de HSunspots, con los datos de la mancha 1 del grupo 1, en 1850, Sep, 30

En la parte derecha de la vista, sobre la imagen de la proyección de la cuadrícula, se muestran marcadas en rojo las manchas por día, grupo o individualmente, según el elemento que seleccionemos en los recuadros de la parte izquierda. Estas imágenes, con el elemento seleccionado coloreado en rojo, pueden exportarse como ficheros en formato de imagen.

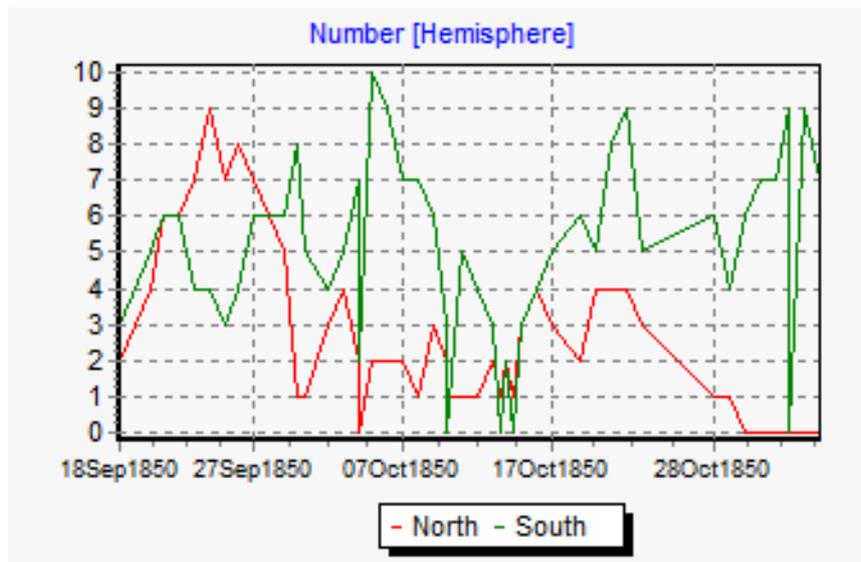


Figura 4.10. Número de manchas por hemisferio a lo largo del periodo

4.2.5. Seguimiento de manchas y estadísticas

En la vista *Tracking*, es posible obtener en el disco solar todas las posiciones de una mancha seleccionada mostrando su traza a través del disco solar mediante la serie de dibujos de la mancha en color rojo. Esta imagen del disco solar puede exportarse como una imagen en formato ráster.

En la vista *Statistics*, es posible obtener diferentes gráficos resumen de los datos obtenidos a lo largo del periodo observado, tales como número de grupos y de manchas por hemisferio, superficie total de manchas solares por hemisferio (Figura 4.10) y cambios en la superficie individual de cada mancha (Figura 4.11). Estos gráficos también pueden exportarse como imágenes ráster.

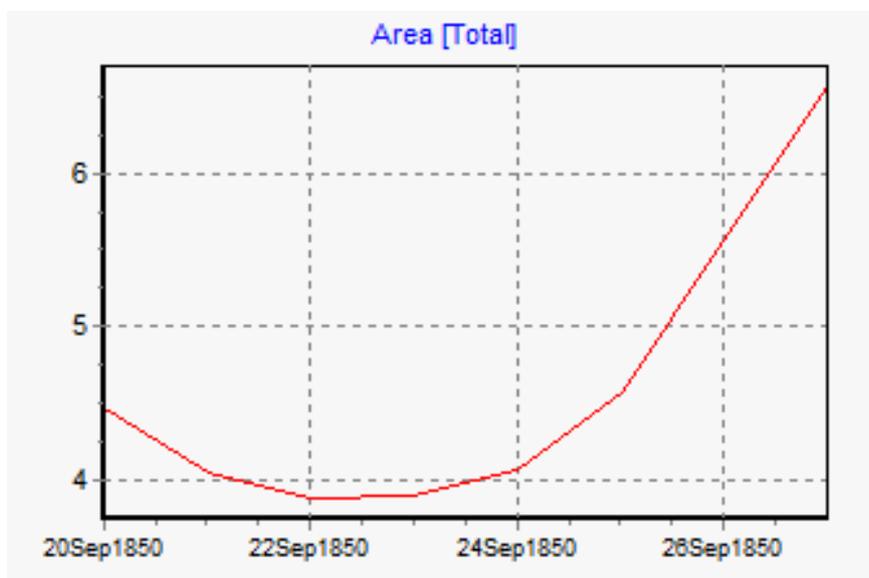


Figura 4.11. Cambio del área de la mancha 7 entre el 20 y el 27 de septiembre de 1850

4.2.6. Exportación de resultados

En el menú principal, en *File*, existe la opción *Export to File*. Esto permite exportar los resultados en un fichero compatible con Microsoft Excel (*.csv). Mediante esta

opción HSunspots genera una tabla ordenada por fecha que contiene en primer lugar el identificador del grupo, el número de manchas del grupo, la superficie del grupo en millonésimas parte del disco solar, el hemisferio solar, norte o sur, en el que se encuentra el grupo de manchas, el número de manchas del grupo, el identificador de la manchas, las coordenadas heliográficas de cada manchas, la superficie de cada mancha (en pixeles y en millonésimas partes) y, por último, el hemisferio en el que se sitúa la mancha solar.

4.3. Limitaciones y mejoras de HSunspots

Aunque el programa HSunspots es una herramienta válida para reducir dibujos de observaciones antiguas de manchas solares, tiene una serie de limitaciones que merman su utilidad. Sería práctico que tuviera más herramientas para la manipulación y tratamiento de las imágenes digitales, y que podrían implementarse en una nueva versión del programa.

4.3.1. Determinación incorrecta de la longitud heliográfica

En el programa debe haber un error de programación, por el que no determina correctamente la longitud heliográfica del centro del disco solar (L_0) para fechas anteriores a 1 de enero de 1854 12:00 horas UT. Por tanto, tampoco se determinan correctamente las longitudes heliográficas de las manchas, las cuales son función de la longitud heliográfica del centro del disco solar.

Esta fecha define el punto a partir del cual se define la longitud heliocéntrica, es decir, el punto de origen que tomó Carrington para sus observaciones, la posición que supuestamente ocupaba el nodo ascendente del ecuador solar sobre la eclíptica el día 1 de enero de 1854 a mediodía (hora de Greenwich). Para esta fecha, prácticamente coinciden los valores de L_0 calculados por nosotros y los determinados en HSunspots. (26,9213° y 26.9209° respectivamente).

Los cálculos de las demás efemérides, como la latitud heliográfica del centro del disco solar (B_0), ángulo de posición del eje solar (P) y fecha juliana (JD), son correctos para fechas anteriores y posteriores a la indicada (1854 enero 0,5). Para comprobar nuestros propios cálculos, utilizamos una fuente contrastada como es la web Horizons de la NASA. Encontramos diferencias en fechas anteriores y posteriores a 1854 en L_0 de 0.1°; en B_0 de 0.02° y en P diferencias de 0.002°, valores admisibles en función de la precisión de las observaciones recogidas en fuentes históricas.

Por tanto, el software HSunspots es útil para reducir observaciones solares de fechas posteriores a 1 de enero de 1854 a las 12 horas UT, aunque podría ser práctico para determinar las superficies de las manchas para cualquier fecha. Estas limitaciones nos hicieron desistir de utilizar el programa para la determinación de las coordenadas heliográficas de las manchas dibujas por Sestini en 1850, que era uno de nuestros propósitos. Tras estas comprobaciones tuvimos que hacer los cálculos en una hoja de cálculos Microsoft Excel, que desarrollaremos en el capítulo 5 de esta tesis.

4.3.2 Sólo admite observaciones de imágenes inversas y recortadas

Otra de las limitaciones del programa, que ya hemos apuntado, es que no tiene la posibilidad de utilizar imágenes tomadas en sentido directo. Por ello, es necesario modificar dichas imágenes directas transformándolas en imágenes simétricas, antes de utilizarlas, como es el caso de las observaciones de Sestini. Por ello, hubiera sido útil que el programa contara con la opción de generar el caneavá de meridianos y paralelos del Sol también en sentido inverso.

La otra limitación que hemos encontrado al tratar las observaciones de Sestini es que si la imagen cargada tiene un área extensa, por debajo del disco solar, tapa los comandos de modificación de las imágenes e impide el uso de los mismos, por lo que sólo se pueden utilizar imágenes con su extensión reducida a poco más que el disco solar.

4.3.3. Imposibilidad de girar y ampliar las imágenes

Otra limitación del programa es que no permite girar las imágenes que se cargan, lo que sería muy útil cuando alguna imagen de una serie no está orientada perfectamente, como es el caso de las imágenes de Sestini en las que se observan saltos en la traza seguida por las manchas en días consecutivos.

Por otro lado, la vista de la imagen del disco solar es relativamente pequeña y no es posible ampliarla mediante un zoom gráfico. Esto mejoraría la precisión en la toma del centro de la mancha y también diferenciar manchas pequeñas individuales dentro de un grupo. Así, por ejemplo, Sestini dibuja detalladamente cúmulos de manchas que no es posible diferenciar en la vista de HSunspots.

4.3.4. Identificación errónea de la superficie de las manchas

El programa tiene una serie de limitaciones a la hora de manejar y tratar las imágenes para poder determinar correctamente la posición y la superficie de las manchas. La Figura 4.11 nos muestra unos valores de superficie de la mancha 7 un tanto irregular, similares a los que hemos obtenido de otras manchas. Se obtienen unos valores muy reducidos de las superficies de la mancha si se compara con la superficie del disco solar, donde las superficies que determina de las manchas son de menos de 10 millonésimas partes de la superficie del disco, valores que creemos están fuera de la realidad.

Por otro lado, también es irregular la propia gráfica, ya que en su recorrido a lo largo del disco solar la mancha debería tener su mayor superficie cuando se encuentra en el centro del disco solar y, por efecto de la perspectiva, debería tener menos superficie hacia los extremos. En las gráficas de la Figura 4.11 sucede lo contrario. Por esto suponemos que el algoritmo correspondiente del programa no ha podido identificar correctamente los píxeles pertenecientes a cada mancha y por tanto no se han podido determinar correctamente las superficies.

4.3.5. Limitaciones de tratamiento digital de imágenes

Sabemos que el programa identifica las manchas por el tono de gris del píxel en el que se hace clic y, mediante un algoritmo identifica los píxeles vecinos, del mismo tono de gris o similares, como pertenecientes a la misma mancha. Con los píxeles seleccionados se calcula la superficie de mancha en relación a la superficie del disco solar representado y se representa redibujando los píxeles seleccionados en color rojo. Si las imágenes no son nítidas y bien contrastadas no determina correctamente las superficies de las manchas al no seleccionar los píxeles vecinos como pertenecientes a la mancha. De aquí viene que los valores de superficie determinados son muy pequeños, muy inferiores a los que correspondería. Por esto mismo, cuando ha coloreado las manchas, estas son casi imperceptibles.

En otros casos, sucede lo contrario. Se confunden texturas del papel digitalizadas con manchas solares amplificando la superficie de la mancha. Incluso, en ciertos casos, cuando estas texturas rebasan el disco solar, llega a bloquearse la ejecución del programa. Por ello, es necesario un tratamiento digital previo de las imágenes, antes de cargarlas en el programa, para limpiarlas de texturas y manchas del papel, y aplicar un

filtro con el fin contraer los diferentes tonos de gris de una mancha haciendo que el tono de gris de los píxeles sea más nítido y destacado del fondo. Este tratamiento digital previo también mejoraría los resultados que muestran las vistas: *ver/editar*, *tracking* y *statistics*, al aparecer las manchas mejor coloreadas y definidas. En nuestro caso, las marcas sobre el gráfico del disco solar en la situación de las manchas tomadas es casi imperceptibles por no haber incluido todos los píxeles de la imagen correspondientes a la mancha. Por tanto, tampoco se han podido determinar correctamente las superficies de las manchas.

A pesar de estas limitaciones, HSunspots es una herramienta útil para estimar las posiciones y superficies de las manchas solares de dibujos de observaciones posteriores al inicio del ciclo de Carrington si utilizamos imágenes con el disco solar limpio y los dibujos de las manchas son nítidos y bien contrastados. Las imágenes también deben estar perfectamente orientadas y recortadas.

4.4. Cálculo de Coordenadas de las manchas solares dibujadas por Sestini

Al no poder reducir los datos de las observaciones de Sestini con HSunspots, lo hicimos obteniendo las coordenadas relativas de las manchas con respecto al centro del disco solar en un programa CAD para después tratarlas en la hoja de cálculos hoja de cálculos Microsoft Excel, siguiendo los siguientes pasos:

- Tras crear un nuevo fichero en un programa de dibujo CAD, se importaron las imágenes resultantes de haber escaneado los dibujos originales publicados por Sestini, sin ningún tipo de modificación.
- En cada imagen importada al programa de dibujo CAD, dibujábamos un recuadro auxiliar que circunscribía el disco solar (Figura 4.12) situando las cuatro rectas tangentes horizontales y verticales al mismo, con la mayor precisión posible utilizando la herramienta de zoom del programa CAD, hasta hacer las rectas coincidentes con el borde de los píxeles en los cuatro puntos de tangencia.

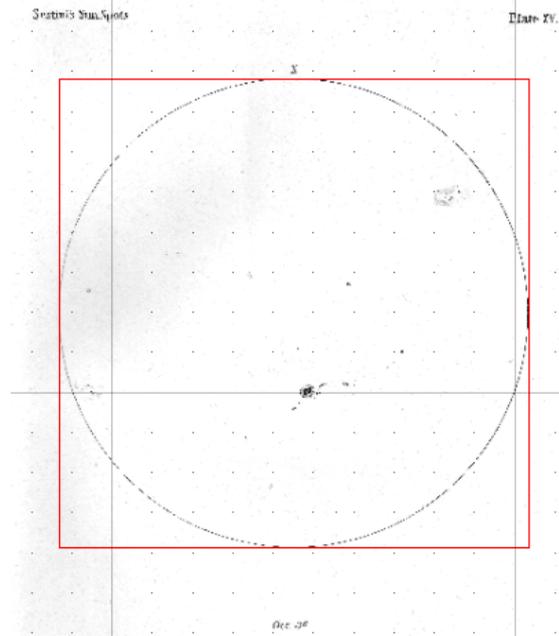


Figura 4.12. Cuadrado auxiliar circunscrito al disco solar

- Tras esto, se obtenían las coordenadas de las esquinas superior izquierda e inferior derecha del recuadro de cada imagen y las coordenadas del centro de las manchas

de cada dibujo, asignando un número de orden a cada mancha que se mantenía en las imágenes de días sucesivos. En total, tomamos coordenadas de 48 manchas diferentes en este periodo de observación.

- Las coordenadas de las esquinas de los recuadros y de las manchas de cada respectivo día se exportaron a una hoja de cálculo Microsoft Excel donde determinamos las coordenadas de las manchas respecto del centro del disco solar de su día de observación y también el valor del radio del disco solar de cada imagen.
- A partir de las coordenadas de las manchas respecto de su respectivo centro de disco y de los valores de los radios, determinamos las coordenadas heliocéntricas de las manchas medidas aplicando los cálculos explicados en el Capítulo 5 de esta tesis, obteniendo las coordenadas de las manchas que pueden verse el Apéndice de este capítulo.

En la hoja de cálculo, se determina la abscisa del centro del disco solar determinando la media aritmética de las abscisas de las esquinas tomadas (Figura 4.13), que viene a ser la abscisa de una recta vertical situada en el punto medio entre las rectas tangentes verticales. De la misma forma, determinamos la ordenada del centro del disco solar, mediante la media aritmética de las ordenadas de las esquinas tomadas. Si x_r y $x_{r'}$ son las abscisas respecto del origen de coordenadas O de las dos rectas tangente verticales r y r' a uno de los discos solares, la abscisa del centro del disco solar O' será:

$$x_{O'} = \frac{x_r + x_{r'}}{2}$$

donde, como ya hemos dicho, x_r y $x_{r'}$ son las abscisas de las dos rectas tangentes verticales r y r' ; y_r e $y_{r'}$ son las ordenadas de las dos rectas tangentes horizontales s y s' .

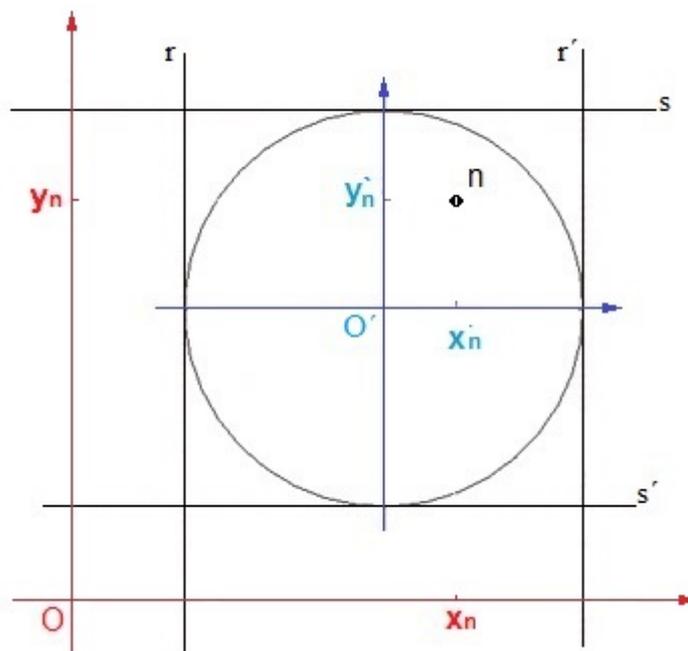


Figura 4.13. Transformación de sistema de coordenadas

De la misma manera, si s y s' son las dos rectas tangentes horizontales a uno de los discos solares, siendo y_r y $y_{r'}$ sus ordenadas respectivas con relación a O , tendremos que la ordenada del centro del disco solar será:

$$y_{O'} = \frac{y_s + y_{s'}}{2}$$

Una vez determinadas las coordenadas de los centros de los discos solares de cada día respecto del origen de coordenadas, se determinan las coordenadas de las manchas del día respecto del centro del disco en el que se encuentran mediante una transformación de coordenadas consistente en una traslación, sin más que restar a las coordenadas de la manchas las coordenadas del centro del disco solar en el que se encuentran.

Si llamamos x_n y y_n a las coordenadas de la mancha n respecto del origen de coordenadas O del dibujo CAD, sus coordenadas (x'_n, y'_n) respecto del centro del disco O' en el que se sitúa serán:

$$x'_n = x_n - x_{O'}$$

$$y'_n = y_n - y_{O'}$$

También se determina el valor del radio de cada disco solar, ya que es necesario para calcular la elongación heliocéntrica de cada mancha con posterioridad. La expresión utilizada para obtener un radio medio ha sido la siguiente:

$$R = \frac{(x_{r'} - x_r) + (y_{s'} - y_s)}{4}$$

Esta forma de determinar la situación del disco solar es más precisa que identificarlo mediante la toma de tres o cuatro puntos sobre la imagen, ya que los errores que pudieran cometerse en la definición de la circunferencia se compensarían en toda la superficie del disco afectando muy poco a la posición de cada mancha individual.

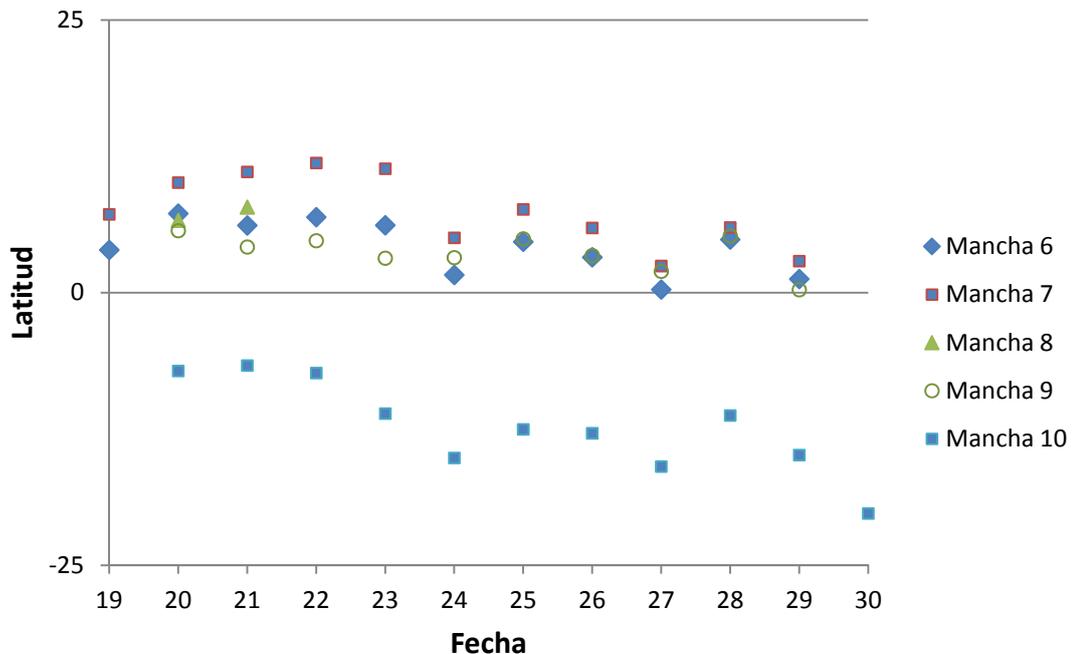


Figura 4.14. Cambio de latitud de las manchas entre el 19 y el 30 de septiembre de 1850

4.5. Resultados y conclusiones

En el Apéndice 4 se encuentra la tabla con las coordenadas heliográficas de las manchas de los dibujos observados por Sestini en 1850, determinadas con las fórmulas descritas en Duffett-Smith y Zwart (2011). En las columnas aparecen sucesivamente el número identificador de la mancha, la fecha en años, el día juliano (JD), la longitud heliográfica de la mancha (L), la latitud heliográfica (B), la longitud respecto del meridiano central (A) y la superficie determinada con HSunspots. En total hemos determinado las coordenadas heliográficas 289 posiciones de 48 manchas.

En la Figura 4.14, tenemos los valores obtenidos de la latitud de las manchas observadas entre los días 19 y 30 de septiembre de 1850. Podemos observar que la latitud de las manchas varía mucho en días sucesivos para deberse a errores accidentales de observación y, más bien, se deben a errores de orientación del disco solar. Así, vemos cómo la latitud de la mancha que hemos denominado 10 varía entre -6° y -20° . Además, vemos que esas variaciones son parecidas a otras manchas observadas en los mismos días y que, incluso, hay cambios bruscos en días consecutivos para todas las manchas (que ocurren el mismo día). Lo mismo sucede con los valores de longitud de días sucesivos mostrados en la Figura 4. 15. De aquí deducimos que los discos de Sestini no están orientados con toda precisión. Para poder obtener las coordenadas correctas de las manchas, sería orientar los discos de un modo más preciso.

A la vista de los resultados y de los comentarios que el profesor Sestini indica en su carta publicada, su verdadero interés era obtener datos sobre las propiedades físicas del Sol y de las propias manchas más que obtener unas posiciones precisas de las mismas.

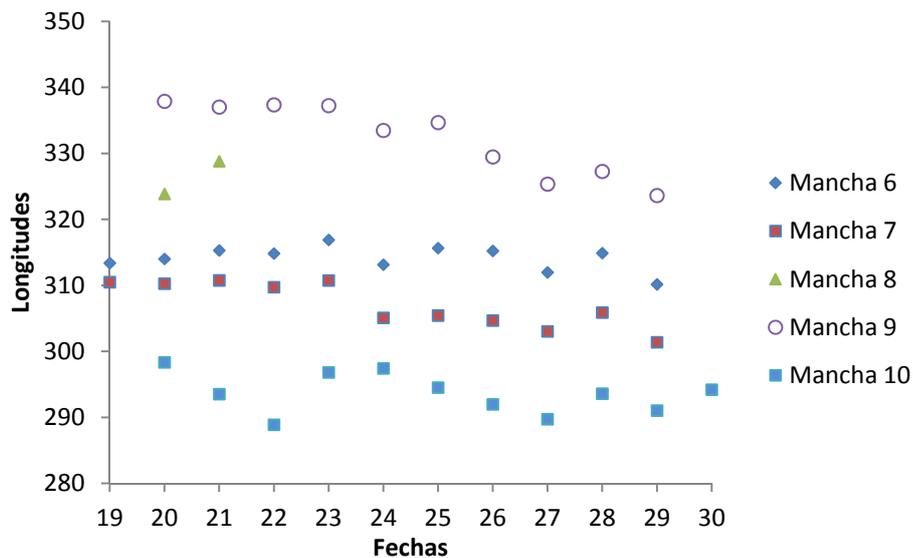


Figura 4. 15. Cambio de longitud de las manchas entre el 19 y el 30 de septiembre de 1850

En la Figura 4. 16, tenemos el diagrama de mariposa del periodo observado por Sestini entre el 19 de octubre y el 4 de noviembre de 1850.

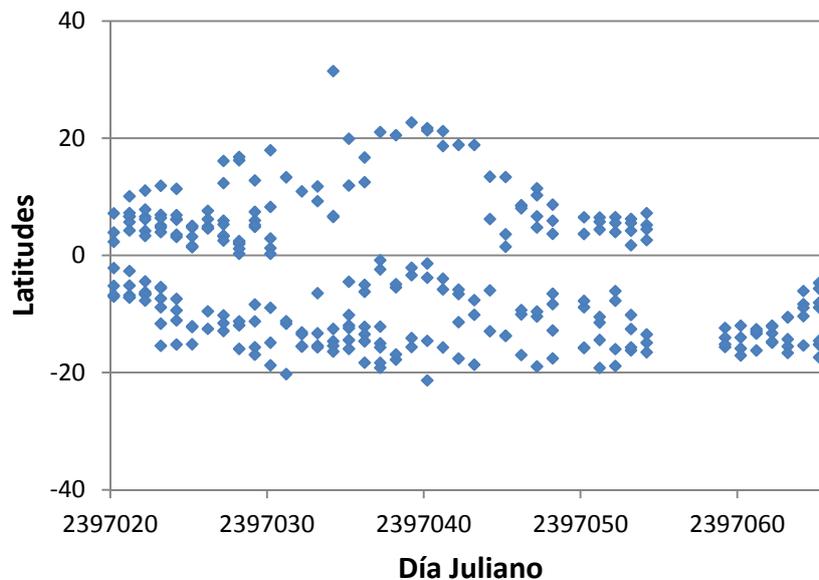


Figura 4. 16. Diagrama de mariposa de las observaciones de Sestini

4.6. Comparativa de los datos de Sestini con los Schwabe

Las observaciones realizadas por Sestini en 1850, que estamos tratando en este capítulo, se encuentran dentro del intervalo de tiempo (1825 noviembre – 1867 enero) en el que el astrónomo Samuel Heinrich Schwabe realizó 8486 dibujos del disco solar con manchas. Arlt et al. (2014) muestran cómo han realizado la medición del tamaño y el cálculo de las coordenadas heliográficas de las manchas presentes en dicho dibujos de Schwabe y han creado una base de datos con mediciones de manchas solares individuales. Compararemos, en este apartado, las observaciones de Sestini con las de Schwabe.

La base de datos sobre las observaciones de Schwabe consiste en una tabla en la que figuran entre otras el momento de observación, la longitud y la latitud heliográfica de cada mancha, además de otros datos.

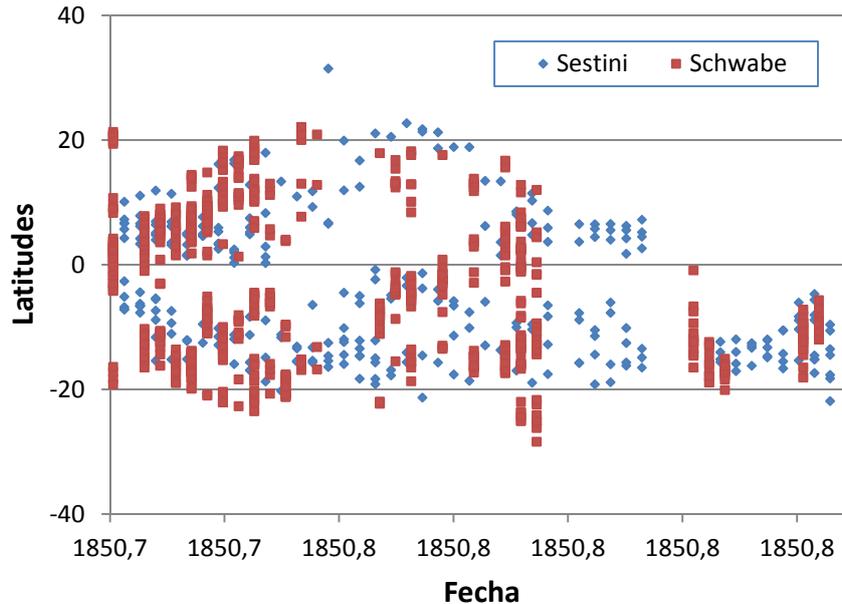


Figura 4.17. Diagrama de mariposa con las posiciones de Sestini y Schwabe en 1850.

A partir de la base de datos de Schwabe, se realizaron varios procesos en programa de Microsoft Excel para poder representarlos junto con los datos de Sestini:

1. En primer lugar, se cargan los datos de la tabla en un fichero Excel.
2. A continuación, se filtran los datos, eliminando las filas correspondientes a posiciones fuera del periodo de observación de Sestini.
3. Con las columnas de tiempo se calcula la fecha juliana en años con decimales.
4. Se obtiene un diagrama de mariposa (Figura 4.17) para el periodo estudiado, en el que representamos los datos obtenidos a partir de las observaciones de Sestini, y los datos obtenidos por Arlt et al. (2014) a partir de las observaciones de Schwabe.

A la vista del diagrama de mariposa comparativo, vemos que la distribución de posiciones obtenidas de los datos de Sestini es parecida a la distribución de las posiciones obtenidas de Schwabe para las mismas fechas. Así, las posiciones determinadas para este periodo podrían complementar las más abundante posiciones de la base de datos de Schwabe.

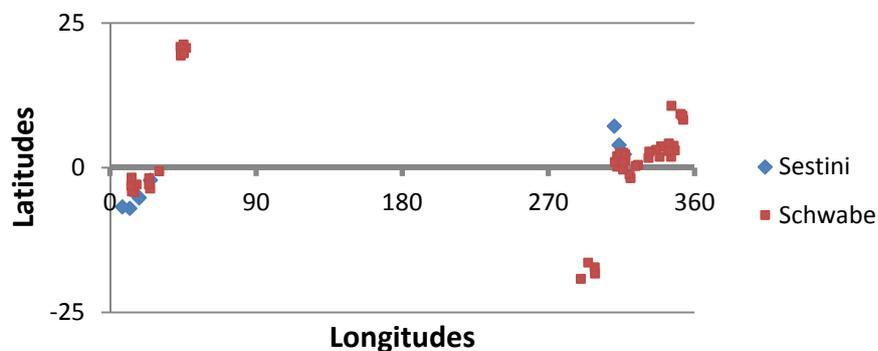


Figura 4.18. Sestini vs. Schwabe 1850 Sep 20.

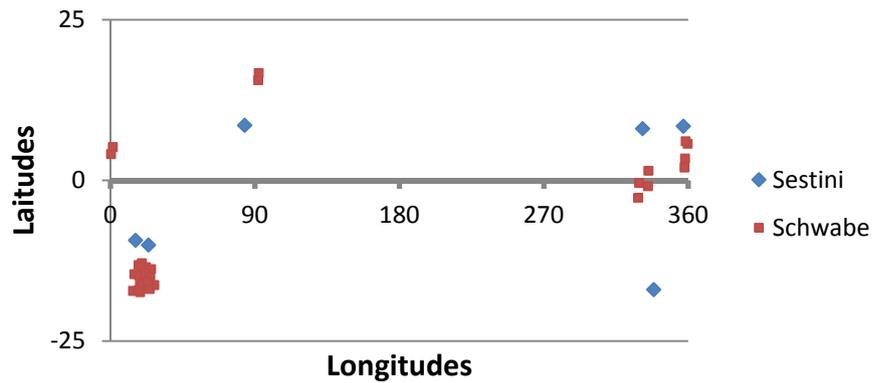


Figura 4.19. Sestini vs. Schwabe 1850 Oct. 15.

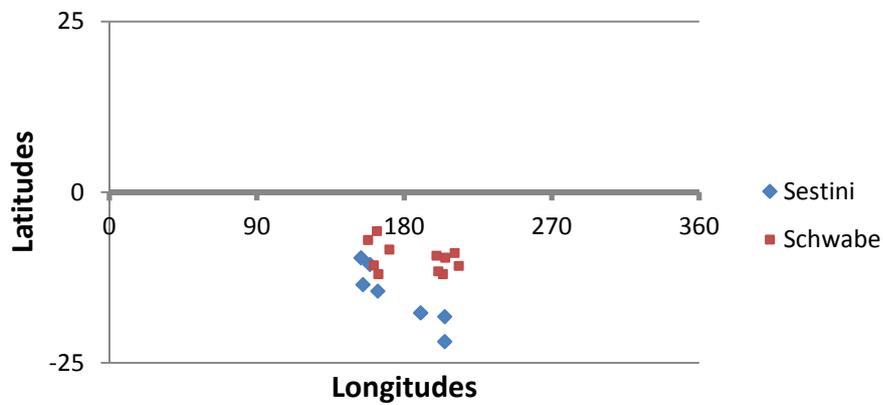


Figura 4.20. Sestini vs. Schwabe 1850 Nov. 4.

Ambos observadores obtienen relativamente pocas manchas próximas al ecuador en este periodo estudiado, aunque no parecen coincidir exactamente en latitud.

En las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20, vemos las posiciones de las manchas solares en la misma fecha según los datos de la base de datos de Schwabe recogidos por Arlt et al. (2014) y los determinados por nosotros. Se han escogido las imágenes de estas tres fechas como una muestra, por estar al inicio, en medio y al final del periodo de observación de Sestini, aunque hay más manchas en fechas coincidentes.

De estas imágenes, concluimos que las coordenadas obtenidas por de Sestini y Schwabe tienen longitudes parecidas pero las latitudes heliográficas varían mucho. Esto podría deberse a que las imágenes de Sestini están levemente desorientadas como hemos dicho.

La manera de mejorar estos resultados sería llegar a determinar el verdadero giro de las coordenadas de Sestini de manera que las latitudes de las manchas en días consecutivos sean parecidas.

Capítulo 5. Observaciones de Oriani (1778-1779)

El objetivo de este capítulo es doble. Por un lado, queremos determinar las coordenadas heliográficas de las manchas solares que observó Bardana Oriani en los años 1778 y 1779 (que hizo con el deseo de que sirvieran para confirmar o enmendar los elementos de rotación solar establecidos por Scheiner). Por otro lado, queremos comparar las observaciones de Oriani con otras realizadas en fechas coincidentes por el astrónomo alemán Staudacher.

5.1. Contenido de los artículos de Oriani

En 1780 y 1783, dos artículos de Bardana Oriani aparecieron en las *EPHEMERIDES ASTRONOMICAE, AD MERIDIANUM MEDIOLANENSEM, supputatae AB ANGELO DE CESARIS*. El artículo publicado en 1780 se titulaba “*Observationes macularum Solis anno 1178, peractae in Specula Astronomica Mediolanensi*”, mientras que el artículo de 1783 llevaba el título de: “*Observationes macularum Solis. Habita mensibus Januario, Februario, & Martio An. 1779*”.

Ambas publicaciones comprenden las observaciones de manchas solares realizadas, como sus títulos indican, en los años 1778 y 1779, por el propio Bardana Oriani en Milán en el observatorio de Brera (latitud = 45° 28' 17" N, longitud = 9° 11' 22" E).

Cada uno de los artículos consta de una primera parte explicativa y de tres tablas (Tabula I, Tabula II & Tabula III). La Tabula I contiene las observaciones realizadas. La Tabula II ofrece un listado de los valores de los senos y los cosenos del ángulo de posición P y del valor del diámetro solar de los días en que se realizaron las observaciones. La Tabula III facilita la conversión de partes de micrómetro a segundos sexagesimales. El segundo artículo es un complemento del previo, añadiendo las observaciones realizadas en 1779, con una breve explicación complementaria de lo descrito años antes. Se incluye en el Apéndice 5 la traducción del artículo de 1780, realizada con el apoyo de la Profesora de Lenguas Clásicas Dña. María Dolores González Molina, que contiene las explicaciones necesarias para entender las observaciones realizadas por Oriani.

Oriani comienza su artículo de observaciones de 1778 haciendo referencia a la disputa existente en su época sobre la cuestión de si las manchas solares estaban adheridas al “globo” del Sol o eran planetas entre Mercurio y el Sol. En la primera mitad del siglo XVII, Galileo demostró con rigor geométrico que las manchas solares deben estar justamente en la “superficie” solar y que su movimiento común evidencia la rotación del Sol sobre su eje. Scheiner, contemporáneo de Galileo, determinó el tiempo de rotación, la inclinación del ecuador solar con la eclíptica y la longitud del polo del ecuador.

Continúa explicando Oriani cómo hasta la época de Cassini quedó intacto lo establecido por Scheiner y, por lo tanto, los astrónomos posteriores a este se dedicaron sólo a hacer que la imagen del Sol fuera más exacta y dibujaron muchos diagramas, como los de Cassini, De La Hire y L'Isle, que realizaron representaciones precisas de manchas, y de cómo este último había explicado dos métodos gráficos distintos para determinar la posición y el movimiento de las manchas, a través de una proyección ortográfica o estereográfica.

Según Oriani, todos estos astrónomos se apoyaban en la hipótesis de que las manchas estaban adheridas a la “superficie” del Sol, por lo que no variaron apenas los elementos establecidos por Scheiner. Añade cómo después estas observaciones se adjuntaron unas

a otras en diversas colecciones. No obstante, Oriani indica que estas observaciones se obtuvieron por métodos indirectos reflejando la imagen del Sol en un heliotropo, por lo que estima que errores en la posición de las manchas de 15 o 20 minutos serían difícilmente evitables, a causa de los errores de delineación (además de la deformación del papel de impresión). Como manera de evitar estos errores, Oriani señala a los astrónomos que miran directamente al Sol con buenos telescopios y micrómetros, pero lamenta que sean tan pocos, e indica que si cometen errores no sería posible distinguirlos, por lo que para evitarlo propone la observación repetida y concurrentes de las mismas manchas. Por todo esto, Oriani ofrece las observaciones de este artículo a aquellos astrónomos geómetras que deseen emprender la resolución del problema de la distancia de las manchas a superficie del Sol o que quieran confirmar o enmendar los elementos de rotación establecidos por Scheiner, ya que considera que sus observaciones son necesarias para solucionar estas cuestiones.

Tras estos antecedentes, Oriani pasa a explicar cómo realizó las observaciones contenidas en la Tabula I. Explica primero las características del instrumento utilizado (un telescopio con montura ecuatorial), las comprobaciones que formalizó y los errores que detectó en el mismo, los cuales no influyen en la precisión de las observaciones por su pequeñez y por haberse hecho las observaciones próximas al mediodía y con respecto a los bordes del disco solar. En segundo lugar, expone el método de observación diario, mirando directamente al sol al medio día, el cual realiza en dos fases. Tras fijar el instrumento, primero determina la diferencia de tiempo entre el primer paso por el hilo horario del sol y el centro de cada una de las manchas, cuando el Sol en su movimiento aparente recorre el hilo paralelo al ecuador celeste. Terminaba la observación de esta fase determinando la diferencia de tiempo entre los pasos extremos de los limbos del disco solar. En la segunda fase, determinaba la diferencia de declinación entre el borde superior del disco solar y el centro de cada una de las manchas, en partes de micrómetro. Para esto enrasaba con el hilo ecuatorial el borde superior del disco solar y, a continuación, actuando sobre el tornillo micrométrico, desplazaba el hilo ecuatorial al centro de cada una de las manchas y anotaba las partes de micrómetro. Terminaba la observación de esta segunda fase con la determinación de la diferencia de declinación entre los bordes superior e inferior del disco solar. Añade Oriani que, cuando las manchas eran pocas y estaban separadas, determinaba a la vez las diferencias de tiempo y de declinación de cada una de las manchas.

Sigue explicando la forma en que aparecen los datos de la observación en las columnas de la Tabula I: fecha y hora de observación, referencia o número de las manchas, diferencias de tiempo y de declinación; y una última columna con notas en las que describía circunstancias observadas en las manchas. Comenta que, desafortunadamente para nosotros, omitió una columna con los dibujos de las manchas por la imprecisión de la impresión y por el número de ellas (que encarecía el coste de esta columna), además de que nada o poco aportaban a la cuestión de la distancia de las manchas a la superficie del Sol. Indica también que trató de suplir esta carencia con las explicaciones de la última columna.

A continuación incluye Oriani las fórmulas y cálculos necesarios para, a partir de las diferencias de declinación y de ascensión recta entre las manchas y los bordes del Sol anotadas en la Tabla I, determinar la longitud y la latitud heliocéntrica de las manchas, así como la distancia de estas al centro del disco solar, o elongación geocéntrica. Para realizar estos cálculos es necesario conocer el ángulo de posición del Sol P , cuyos valores (concretamente, valores de sus senos y sus cosenos) para los días de observación figuran en la Tabula II. Además, los valores de conversión de partes de

micrómetro a segundos sexagesimales están expresados en la Tabula III. Termina Oriani exponiendo diferentes fórmulas y aproximaciones utilizadas por De la Lande, B. Tob o Mayer, para calcular la elongación heliocéntrica a partir de la elongación geocéntrica.

5.2. Observaciones de Oriani

Las observaciones de la Tabula I (Figura 5.1) se agrupan por días de observación. Cada fila se corresponde, o bien con la observación correspondiente a una mancha, o bien con la observación del segundo borde del disco solar. Para cada día, observa las manchas que puede ver. Y el diámetro del Sol es la última observación de cada día.

171

TABULA I.					
OBSERVATIONES MACULARUM SOLIS.					
Mensis Majis	Temp. vero	Signa mac.	Diff. transf. prim. limbi Solis, & macul. in secundis temporis	Differ de clin. inter limbi su- per. Solis & macul. in partib. microm.	Adnotanda.
2	o. h 15'	I	33'',0	805 P	I. & II. sunt mediocri- magnitudinis & figura quasi sphaericae. III. est major, & oblonga ejus diameter in ascens. re- cta 2'' . 7' temporis, & in declin. 30 parit. microm. IV. est parva & angulosa. I. III. IV. ut heri. V. modo videtur omnino in extremitate disci sicut fra- ctura in limbo. Limbus Solis bene termi- natus. V. tota annaret: est oblonga
		II	36 ,5	880	
		III	108 ,0	408	
		IV	123 ,0	981	
		☼	131 ,5	1884	
3	o. 30	I	23 ,0	882	
		II	25 ,7	967	
		III	98 ,5	452	
		IV	112 ,0	1026	
		V	101 ,3	173	
☼	131 ,7	1885			
4	o. 20	I	14 ,0	940	
		II	16 ,0	1029	

Figura 5.1. Imagen de la Tabula I que contiene las observaciones de manchas solares realizadas por Oriani.

La primera columna se utiliza para indicar el mes y día de observación; en la segunda columna se indica la hora de observación, en tiempo verdadero (*Temp Vero*) indicando hora y minuto del inicio de la observación, con una apreciación de 15 minutos. La tercera columna indica el nombre de la mancha observada (*Sigma mac.*), con números romanos (de I a XI), precedido a veces de un número arábigo, cuando se refiere a segundas manchas importantes circundantes a la primera, e incluso añade a veces al inicio otro número arábigo más pequeño, a modo de subíndice, cuando se refiere a pequeñas manchas circundantes a las segundas. Termina la observación del día con un símbolo estrellado en esta tercera columna (Figura 5.2) que se refiere a la observación del segundo paso del limbo solar con el que se determina el diámetro.



Figura 5.2. Segundo paso del limbo del Sol

Cuando las manchas pasan al hemisferio invisible del Sol se utilizan los mismos números para designar nuevas manchas.

La cuarta y quinta columna indican los dos valores de la observación de cada mancha. Así, en la cuarta columna anota la *Diferencia Transversal* de la mancha, con el primer paso del limbo solar (comienzo de paso del limbo del Sol) (*Differentia Trans.int. prim limb. Solis, & macul. in secundis temp.*), expresada en segundos de tiempo (con una apreciación de la décima de segundo). Termina la observación con el valor del paso del segundo borde del disco solar. En la quinta columna, se indica la *Diferencia de Declinación* entre cada una de las manchas y el extremo superior del limbo solar. Esta diferencia se expresa en partes de micrómetro (*Diff. Declinationis int. Limb. Superior Solis, & macul. in part. Micrometri*). Finaliza la observación de cada día con la diferencia de declinación del extremo inferior del limbo solar. En la última columna (*Adnotanda*), aparecen anotaciones como características de algunas de las manchas, o si hubo nubes el día de observación.

Las observaciones de 1778 se realizaron desde el día 2 de mayo hasta el 27 de agosto. Las observaciones de 1779 comprenden los registros realizados entre el 9 de enero y el 24 de marzo.

Hay días en los que no figuran observaciones en los que Oriani anota en la columna *Adnotanda* “nubes” o “pluvia”. Así ocurre en 1778 los días 9, 25, 26 y 28 de mayo; 5, 7, 8, 10, 12, 16, 28 y 29 de junio; 9, 10, 12, 20 y 31 de julio. En 1779, no se hicieron observaciones (totales o parciales) por nubes o lluvia los días 5, 12 y 13 de febrero. En marzo de 1779, faltan las observaciones del 8 al 13, del día 16 al 19 y del 21 al 23 todos inclusive, no indicando el motivo de estas faltas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Por otro lado, algunas de las observaciones están incompletas, al faltar una de las dos observaciones correspondiente al segundo paso del limbo solar o de una mancha. Evidentemente, cuando falta alguna de las dos observaciones del segundo paso del limbo solar no es posible determinar las coordenadas heliográficas de las manchas de ese día, y cuando falta alguna de las observaciones de una mancha no es posible determinar directamente las coordenadas de la mancha para ese día.

Así, en 1778, faltan una o las dos observaciones del limbo solar los días 5, 7, 14 y 18 de mayo, los días 4, 11 y 30 de junio; el 19 de julio y el 23 de Agosto. En 1779, faltan observaciones del limbo solar el 27 de enero. Igualmente, en 1778, hay mediciones incompletas de manchas aisladas los días 6, 10, 11, 21 y 31 de mayo, los días 3, 6, 9, 14, 17, 21, 22, 23 y 24 de Junio, en Julio los días 1, 5, 6, 18, 29 y 30; y en agosto los días 4, 13, 17, 20, 21 y 22. En 1779, hay mediciones incompletas de manchas aisladas los días 21 y 29 de Enero; y los días 1, 11, 16 y 17 de Febrero (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Además, hay lo que parece una errata el 6 de febrero en el valor de la declinación del segundo paso del limbo solar, donde dice 2919. Quizás debiera decir 1919, que es un valor similar al de los días contiguos. Aparte, hay observaciones de manchas aisladas

que deben tener una errata en sus observaciones o en la apreciación de las mismas ya que se ubicarían fuera del limbo solar a mayor distancia del centro del disco solar que el valor del semidiámetro, por lo que no se pueden determinar sus coordenadas matemáticamente con las expresiones utilizadas. Como estas diferencias son de unas pocas centésimas, del del radio solar calculado, podría corregirse suponiendo que se encuentran exactamente en el borde del disco solar a una distancia del centro e igual al valor del semidiámetro, y así poder determinar sus coordenadas heliográficas. Pero tampoco es recomendable ya que en las manchas cercanas al borde del disco solar se cometen grandes errores debido a que un pequeño error en la medición de la elongación geocéntrica produce un gran error en la determinación de la elongación heliocéntrica a causa de la perspectiva.

Tabla 5.1. Días de observación en los registros de Oriani.

Año 1778

MAYO							JUNIO							JULIO							
			1	2	3	4	5	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7
6	7	8	9	10	11	12	10	11	12	13	14	15	16	8	9	10	11	12	13	14	
13	14	15	16	17	18	19	17	18	19	20	21	22	23	15	16	17	18	19	20	21	
20	21	22	23	24	25	26	24	25	26	27	28	29	30	22	23	24	25	26	27	28	
27	28	29	30	31										29	30	31					

AGOSTO						
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Año 1779

ENERO							FEBRERO							MARZO								
			9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16		
20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23		
27	28	29	30	31			24	25	26	27	28			24								

 Observaciones completas	 Faltan observaciones de manchas individuales	 Falta observación del paso del limbo solar	 Sin Observaciones
---	--	--	---

De esta manera, están fuera del limbo en 1778:

- el 15 de junio las manchas 3 II y 5 II (7 y 5 centésimas superior al valor del radio),
- el 29 de julio la mancha 6 VI (2 centésimas superior al valor del radio),
- el 5 de agosto la mancha 2 II (2 milésimas superior),
- y, por último, el 18 de Agosto la mancha (3)3 I (3 centésimas).

Describimos ahora brevemente el método de observación de Oriani. Quedando fijo el movimiento horizontal del telescopio, próximo al mediodía solar, observaba el movimiento aparente del Sol al desplazarse siguiendo el hilo horizontal (hilo ecuatorial). De esta manera Oriani anotaba la diferencia de tiempo entre el paso del primer borde del Sol por el hilo vertical del retículo (hilo horario) de su anteojo y el paso del centro de cada una de las manchas por el mismo hilo vertical, anotando la diferencia de tiempo con el segundo paso del limbo solar. Posteriormente, enrasaba el hilo horizontal del retículo con la parte superior del limbo solar y movía el anteojo verticalmente hacia abajo para determinar la diferencia angular con el micrómetro entre

la parte superior del limbo solar y cada una de las manchas, finalizando con la lectura del extremo inferior del limbo solar. En las tablas, el orden de toma de las manchas es el tiempo, es decir, según su paso por el hilo vertical (hilo horario). Así, las observaciones del diámetro solar en sentido EW (horizontal) están determinadas en segundos de tiempo y en sentido SN (vertical) en lecturas del micrómetro.

5.3. Cálculo de las coordenadas heliográficas.

Para obtener las coordenadas heliográficas de las manchas solares observadas por Oriani se utilizó la hoja de cálculo Excel, introduciendo las fórmulas astronómicas necesarias que ya hemos visto en el Capítulo 1. Se comenzó introduciendo en una hoja de cálculos los datos que figuraban en las tablas de observaciones de Oriani con las mismas columnas y orden. Para los diferentes cálculos se han utilizado las fórmulas y procedimientos ofrecidos por Duffett-Smith y Zwart (2011). Se comenzó introduciendo las observaciones de 1778 y 1779. En la primera columna, la columna A, se introdujo el nombre del mes, en la columna B el día del mes, en las columnas C y D, minuto y segundo de la hora de inicio de la observación de cada día. En la Columna E se indicó el nombre de la mancha que asignó Oriani, en número arábigo en vez de romano, seguidos de los índices y subíndices con que precedía Oriani al número romano con el objeto de facilitar los análisis posteriores. Así por ejemplo la mancha $_{(1)2} VII$ del 13 de junio de 1778, se nombra como 7.2.1.

En la columna F, se introduce la diferencia de tiempo que indica Oriani, con la misma apreciación en décimas de segundo, entre el primer paso del limbo solar y el centro de cada mancha en cuestión, o con el paso del segundo paso del limbo solar.

En la columna G, introducimos la diferencia de declinación indicada por Oriani, en partes de micrómetro, entre el lado superior del limbo solar y la mancha en cuestión, o con el borde inferior del limbo solar.

De las columnas H a R se determina la fecha juliana (JD) de la hora de inicio de observación de cada día a partir de la fecha y la hora de la observación.

El procedimiento utilizado (Duffett-Smith y Zwart (2011)) para determinar la fecha juliana (JD) a partir de un año (y), un mes (m) y un día (d) de una fecha de calendario determinada tiene los siguientes pasos:

1. Si m es igual a 1 o 2 (enero o febrero) entonces hay que restar 1 al año y sumar 12 al mes, es decir

$$y' = y - 1 \quad y \quad m' = m + 12,$$

en caso contrario

$$y' = y \quad y \quad m' = m,$$

2. Como las fechas que utilizamos en este trabajo son posteriores al 15 de octubre de 1582, calculamos por un lado el valor A, el cual es igual a la parte entera del año dividida entre 100

$$A = \text{INT} \left(\frac{y'}{100} \right),$$

y por otro, determinamos un valor B como

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

3. Calculamos los valores de C y D como

$$C = \text{INT}(365.25 \text{ y}')$$

y

$$D = \text{INT}(30.6001 (m' + 1)).$$

4. La fecha juliana (JD) sería igual a

$$JD = B + C + D + d + 1720994,5$$

Para determinar la fecha juliana para una hora (h) y minuto (m) determinados calculamos la fracción correspondiente del día que representan y se le suma a la cantidad anterior. Por otro lado, como la fecha juliana está referida al meridiano de Greenwich es necesario tener en cuenta la diferencia horaria con el lugar de observación. Teniendo en cuenta la longitud del observatorio de Breda (9° 11' 22" E) en Milán donde Oriani realizó sus observaciones la fecha juliana correspondiente a las observaciones de Oriani las determinamos con la expresión

$$JD = B + C + D + d + 1720994,5 + \frac{h}{24} + \frac{m}{1440} - 0.6126$$

donde, h y m son la hora y minuto de la observación respectivamente y -0.6126 es diferencia horaria entre el lugar de observación y el meridiano origen.

Oriani determina las diferencias de tiempo con una apreciación de la décima de segundo lo que equivaldría a un error de posición de 8'11" en las coordenadas heliográficas. En cuanto a la diferencia de declinación una parte de micrómetro equivaldría a 5'45" en la determinación de las coordenadas heliográficas de cada mancha.

En la columna S se determina el número de siglos julianos T desde las 12 horas del 1 de enero de 1900 (1900 enero 0.5), como fecha de referencia, hasta la fecha juliana (JD) de cada día de observación (columna R), que será necesario en los cálculos siguientes, mediante

$$T = \left(\frac{JD - 2415020}{36525} \right).$$

A partir del valor de T, en las cuatro columnas siguientes (T, U, V y W) se calculan los parámetros de la posición del Sol en los días de observación, tales como la longitud eclíptica media del Sol en la época de referencia ε_g , la longitud eclíptica del Sol en el perigeo ω_g , la anomalía media M_\odot , y la excentricidad de la órbita Tierra-Sol e, mediante las expresiones siguientes:

- $\varepsilon_g = 279.6966778 + 36000768 \text{ 92 T} + 0.000 \text{ 3025 T}^2$
- $\omega_g = 281.2208444 + 1.719175 \text{ T} + 0.000452778 \text{ T}^2$
- $M_\odot = 358.47583 + 35999.04975 \text{ T} - 0.000150 \text{ T}^2 - 0.0000033 \text{ T}^3$
- $e = 0.01675104 - 0.0000418 \text{ T} - 0.000000126 \text{ T}^2$

La expresión de la anomalía media se ha obtenido de Meeus (1988). A continuación, calculamos la anomalía excéntrica, E, aplicando cuatro reiteraciones de la ecuación de Kepler

$$E - e \sin E = M_\odot$$

(columnas X a AA) con la que se obtiene una diferencia de una millonésima en la última reiteración.

Después de haber encontrado una solución de la anomalía excéntrica E , calculamos la anomalía verdadera v (columnas de AB a AE), mediante la expresión:

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}.$$

En la columna AF, calculamos la longitud eclíptica del Sol para la fecha de observación que viene dada por

$$\lambda_{\odot} = v - \varpi_g.$$

De las columnas AG a AP, se realizan los cálculos necesarios para obtener las coordenadas heliográficas B_0 y L_0 del centro del disco solar de cada día de observación, mediante las ecuaciones:

$$L_0 = \arctan\left(\frac{\sin(\vartheta - \lambda_{\odot}) \cos I}{-\cos \vartheta - \lambda_{\odot}}\right) + M$$

y

$$B_0 = \sin^{-1}(\sin(\lambda_{\odot} - \vartheta) \sin I)$$

donde

- λ_{\odot} es la longitud eclíptica geocéntrica del Sol,
- I es la inclinación del plano del ecuador solar respecto de la eclíptica ($I = 7^{\circ} 15'$),
- ϑ es la longitud eclíptica del nodo ascendente, dada por

$$\vartheta = 74^{\circ} 22' + 84' T$$

- M es la longitud heliográfica del nodo ascendente N , dado por la expresión

$$M = 360 - M',$$

donde

$$M' = \frac{360}{25.38} (JD - 239822.0).$$

En la columna AQ, se determina el número de siglos julianos T' desde el 1 de enero de 2000 a medio día (fecha juliana 2 451 545.0). A partir de T' , se determina la oblicuidad de la eclíptica ε en la columna AR mediante la expresión:

$$\varepsilon = 23^{\circ} 26' 21.45'' - 46.815'' T' - 0.0006'' T'^2 + 0.001 81'' T'^3.$$

De las columnas AS a AU, se determina el ángulo de posición del eje de rotación del Sol con respecto al eje de rotación de la Tierra, el ángulo P en la Figura 5.3, el cual viene dado por:

$$P = \theta_1 + \theta_2$$

con

$$\theta_1 = \tan^{-1}\{-\cos \lambda_{\odot} \tan \varepsilon\}$$

y

$$\theta_2 = \tan^{-1}\{\cos(\vartheta - \lambda_{\odot}) \tan I\}$$

donde ε es la oblicuidad media de la eclíptica, calculada anteriormente.

En las columnas AS y AT, se calculan respectivamente θ_1 y θ_2 y el ángulo P se determina en la columna AU.

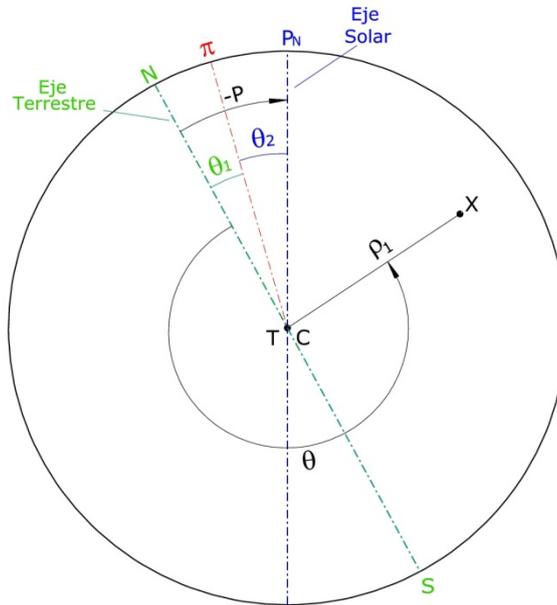


Figura 5.3. Ángulo de posición del eje solar y vector de posición de la mancha X.

Una vez calculadas las coordenadas del centro del disco solar de cada día de la observación, así como el ángulo posición P de esos mismos días, se puede determinar las coordenadas heliográficas de las manchas solares de cada día.

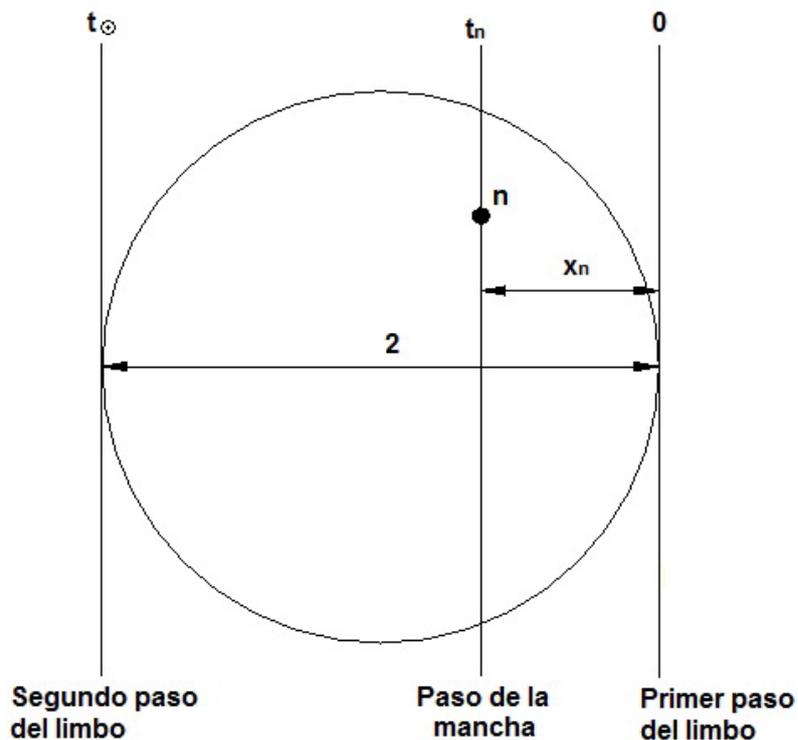


Figura 5.4. Diferencia Transversal y abscisa relativa

En las columnas AV y AW, se determinan las coordenadas relativas lineales de cada mancha respecto del origen de observación. Como ya se ha comentado, Oriani determina para cada mancha n la diferencia transversal (t_n), como la diferencia de tiempo de paso por el hilo horario (hilo vertical) del primer extremo del disco solar y del centro de la mancha. También determina la diferencia transversal del paso del segundo extremo del disco solar (t_\odot) por el hilo horario de la misma forma (Figura 5.4).

Por tanto, si asignamos al radio solar el valor relativo de 1, el diámetro valdría 2 y podemos deducir la siguiente relación de proporcionalidad:

$$\frac{t_n}{t_\odot} = \frac{x_n}{2}$$

Despejando obtenemos la abscisa relativa x_n de la mancha n con respecto al primer paso (extremo derecho) del limbo solar:

$$x_n = 2 \frac{t_n}{t_\odot} .$$

Los valores de t_n y t_\odot se introdujeron en la columna F de la hoja de cálculo.

De la misma manera, obtenemos la ordenada relativa y_n de la mancha n , respecto del extremo superior del limbo solar (Figura 5.5), a partir de la diferencia de declinación entre el extremo superior del limbo solar y la mancha (d_n), mediante la expresión

$$y_n = 2 \frac{d_n}{d_\odot} ,$$

en la que d_\odot es la diferencia de declinación del borde inferior del limbo solar con respecto al borde superior. Los valores de d_n y d_\odot se introdujeron en la columna G de la hoja de cálculo.

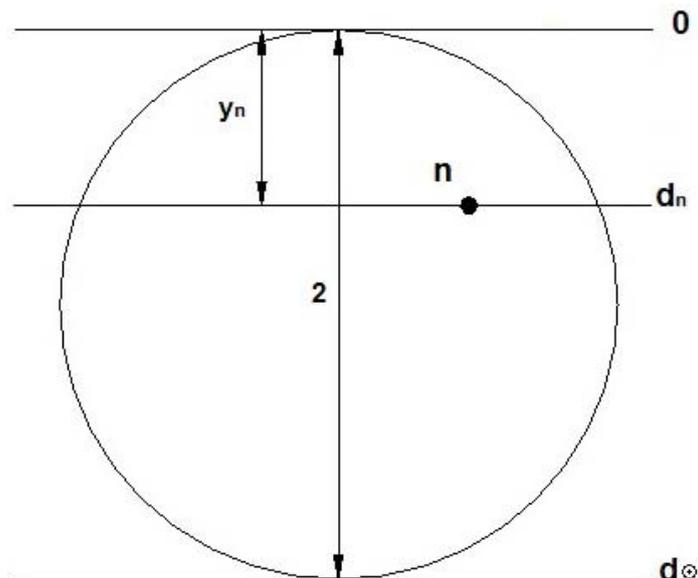


Figura 5.5. Diferencia de declinación y ordenada relativa

De esta forma, se pasa de medidas de tiempo y de partes de micrómetro a medidas lineales con valores de coordenadas comprendidos entre 0 y 2, con origen en O (Figura

5. 6), donde se cortan las rectas tangentes a los extremos superior y derecho del disco solar (ejes en color rojo), siendo las abscisas crecientes hacia la izquierda y las ordenadas crecientes hacia abajo según el sistema de coordenadas de observación.

Sin embargo, las coordenadas lineales de las manchas deben estar referidas al centro del disco solar. Se determinan las coordenadas respecto del centro del disco solar restándole a 1 el valor de las coordenadas relativas calculadas anteriormente.

$$x'_n = 1 - x_n$$

$$y'_n = 1 - y_n$$

De esta forma los valores de las coordenadas de las manchas están referidas al centro del disco solar y comprendidas entre -1 y 1 (en color azul en la Figura 5. 6). En las columnas AX y AY se determinan los incrementos de coordenadas de las manchas respecto del centro del limbo solar del día, punto O'.

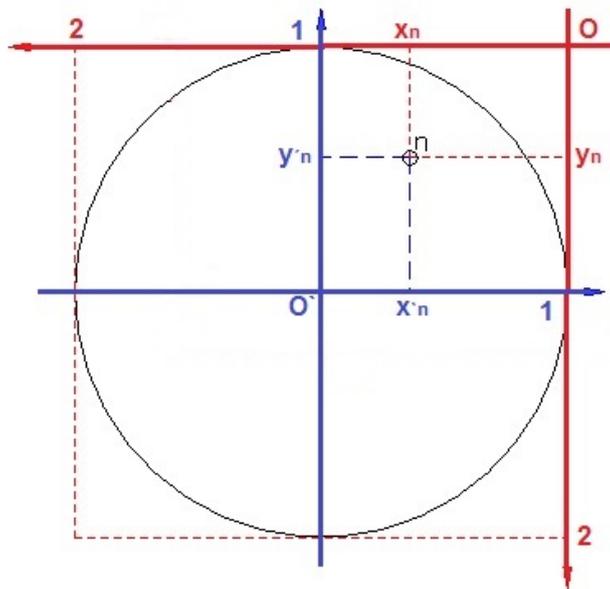


Figura 5. 6. Coordenadas de observación y respecto del centro del disco solar

A continuación, determinamos el ángulo θ que forman la dirección NS con el vector de posición de la mancha con respecto al centro del disco solar, medido en sentido directo. Para esto calculamos para cada mancha el arco tangente de x_n entre y_n (columna AZ) y aplicamos la regla de la tangente en función de los signos del cuadrante mediante una instrucción lógica anidada (columna BA) para determinar el ángulo θ definitivo:

$$\theta = \text{SI}(x>0; \text{SI}(y>0; \theta + 360; \theta + 180); \text{SI}(y>0; \theta; \theta + 180))$$

En la columna BB, calculamos el ángulo $P - \theta$ para cada mancha.

En la columna BC, se calcula la distancia lineal r de cada mancha al centro del disco solar mediante las coordenadas determinadas en las columnas BA y BB, aplicando la expresión

$$r = \sqrt{x_n^2 + y_n^2} .$$

En la columna BD, se determina el radio angular del Sol del momento de la observación mediante la expresión

$$s = s_0 \left(\frac{1 + e \cos v}{1 - e^2} \right)$$

donde e es la excentricidad de la órbita solar, ya determinada, v es la anomalía verdadera del Sol, también determinada anteriormente y s_0 es el radio angular del Sol para la época de referencia mediodía del 1 de enero de 1900.

Tabla 5. 2. Resumen de cálculos en excel.

Columna	Contenido
A	Mes de la observación
B	Día del Mes de la observación
C	Hora de inicio de la observación (minutos)
D	Hora de inicio de la observación (segundos)
E	Nombre de la Mancha
F	Diferencia de Tiempo con el paso del primer borde del disco solar
G	Diferencia de Declinación con el borde superior del limbo solar
H-R	Calculo del día Juliano (JD)
S	Siglos julianos desde 1900 enero 0,5 (T)
T	Longitud media eclíptica del Sol en la época T. (ϵ_g)
U	Longitud eclíptica del perigeo del Sol en la época T (ω_g)
V	Anomalía media de Sol (M_0)
W	Excentricidad de la órbita Tierra-Sol en la época T (e)
X-AA	Cálculo de la anomalía excéntrica (E)
AB-AE	Cálculo de la anomalía verdadera (v)
AF	Cálculo de la longitud eclíptica del Sol en la fecha de observación (λ_{\odot})
AG-AP	Cálculo de las coordenadas Heliográficas del centro del disco solar (B_0 y L_0)
AQ	Cálculo del número de siglos julianos desde 1 de enero de 2000 (T')
AR	Cálculo de la oblicuidad de la eclíptica (ϵ)
AS-AU	Cálculo del ángulo de posición del Sol (P)
AV-AY	Cálculo coordenadas lineales de las manchas respecto del centro del disco solar (x e y)
AZ-BA	Cálculo del ángulo de posición de cada mancha respecto del eje solar (θ)
BB	Cálculo del ángulo P - θ de cada mancha
BC	Cálculo de la distancia de cada mancha al centro del disco solar (r)
BD	Determinación del diámetro angular del Sol (S)
BE	Cálculo de la elongación Geocéntrica (ρ_1)
BF-BG	Cálculos de la elongación Heliocéntrica (ρ)
BH	Cálculo latitud Heliográfica de cada mancha (B)
BI	Cálculo de la longitud Heliográfica respecto del meridiano central de cada mancha (A)
BJ	Longitud heliográfica respecto el origen de rotación de Carrington (L)

En la columna BE, se determina la distancia angular entre la mancha y el centro del disco solar (elongación geocéntrica) ρ_1 , en segundos de arco desde la Tierra, mediante la expresión

$$\rho_1 = \tan^{-1} \left(\frac{r}{R} \tan \frac{S}{2} \right),$$

en la que, r es la distancia lineal de la mancha al centro del Sol (calculada en BC), R es el radio del Sol en la imagen (en nuestro caso su valor es 1) y S el diámetro angular del Sol desde la Tierra.

En la columna BF, se determina la elongación heliocéntrica ρ mediante la expresión

$$\rho = \arcsin \left(\frac{\sin \rho_1}{\sin S} \right) - \rho_1.$$

En la columna BG, se determina de nuevo la elongación heliocéntrica ρ mediante la expresión,

$$\rho = \arcsin \left(\frac{\rho_1}{S} \right) - \rho_1$$

como comprobación, teniendo unas diferencias de cuarto orden con la fórmula anterior.

En la columna BH, calculamos la latitud heliográfica de cada mancha mediante

$$B = \sin^{-1} \{ \sin B_0 \cos \rho + \cos B_0 \sin \rho \cos(P - \theta) \},$$

mientras que en la columna BI determinamos la longitud heliográfica de cada mancha, referida al meridiano central del momento de la observación, con

$$A = \arcsin \left\{ \frac{\sin \rho \sin(P - \theta)}{\cos B} \right\}.$$

En la columna BK, determinamos la longitud heliográfica referida al origen de rotación de Carrington (O).

$$L = A + L_0.$$

En el Apéndice 6, se incluyen la tabla con los resultados obtenidos en la determinación de las coordenadas heliográficas de las manchas de los años 1778 y 1779, junto con las observaciones de partida realizadas por Oriani. En total hemos podido determinar las coordenadas heliográficas de 1441 posiciones de manchas solares.

5.4. Análisis de los resultados

A partir de las coordenadas de las manchas de días sucesivos, se han realizado diferentes análisis. Primero, se ha determinado la tasa de rotación sinódica de cada mancha en función de la latitud heliocéntrica y, en segundo lugar, se ha calculado la distribución de manchas en función de la latitud.

A partir de la longitud heliográfica aparente (A) de cada mancha en días consecutivos, se determina la tasa de rotación sinódica de cada mancha. La tasa de rotación sinódica se obtiene a partir de la pendiente de un ajuste lineal del conjunto de posiciones. Así, la Figura 5.7 muestra un conjunto de valores de la longitud aparente de la mancha I entre los días 21 y 28 de julio de 1778 y un ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados. El valor de la pendiente de la recta es la tasa de rotación de la mancha. En este caso es igual 12,844 grados/día.

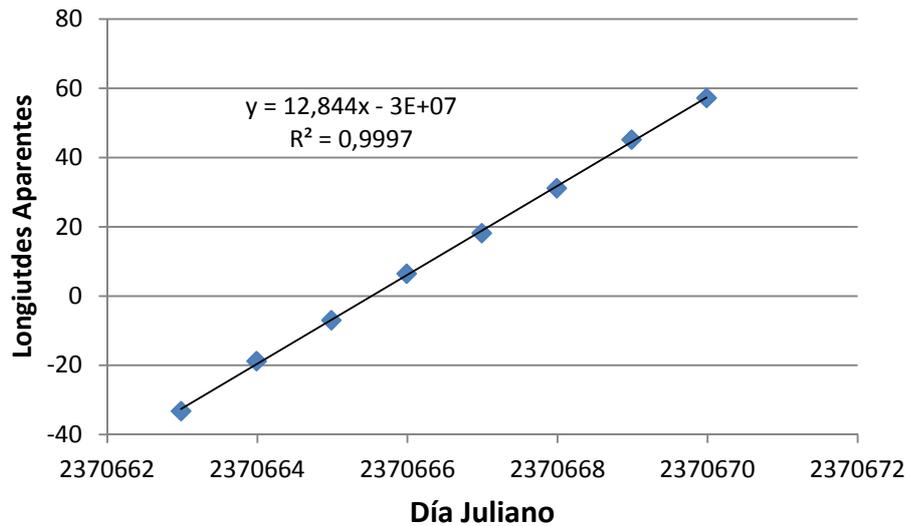


Figura 5.7. Longitud aparente de la mancha I durante 8 días

Para cada mancha hemos determinado, mediante este procedimiento, la velocidad de rotación sinódica y unas coordenadas heliográficas medias de los días consecutivos en los que aparecen, las cuales aparecen en el Apéndice 6. No hemos realizado estos cálculos para aquellas manchas de las que sólo se pudieron determinar una o dos posiciones al no poder comprobar o calcular la pendiente de la recta. Al obtener las coordenadas heliográficas medias de algunas manchas, no se han desechado las posiciones próximas a los bordes del disco solar al ser más imprecisas, por lo que se desviaban de la recta de ajuste. En total hemos determinado la tasa de rotación de 199 manchas las cuales aparecen el Apéndice 7.

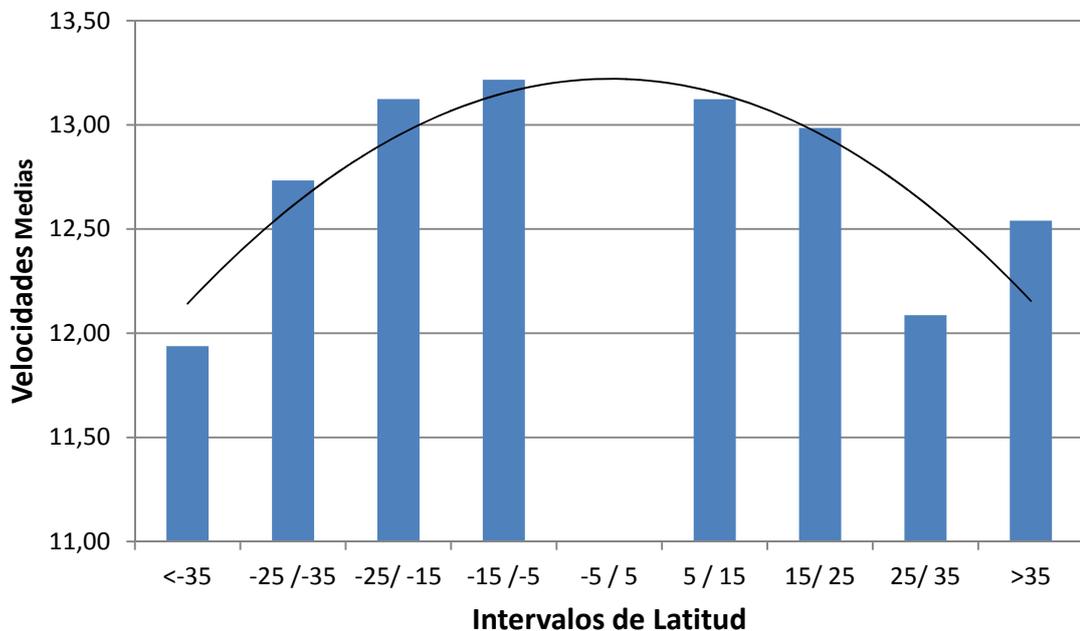


Figura 5.8. Intervalos medios de rotación

A partir de las tasas de rotación sinódica de todas las manchas, se determinan los valores medios para los diferentes intervalos de latitud obteniendo los valores de la Tabla 5. 3 y el histograma correspondiente (Figura 5. 8).

Tabla 5. 3. Velocidades medias de los intervalos de latitud

Intervalo de latitud	velocidad media
> -35	11,94
-25 a -35	12,84
-25 a -15	13,08
-15 a -5	13,20
-5 a 5	
5 a 15	13,28
15 a 25	12,94
25 a 35	13,00
< 35	12,54

A partir de la fecha juliana y de la latitud heliográfica de las manchas, obtenemos el diagrama de mariposa correspondiente de las manchas observadas por Oriani en 1778 y 1779 que se muestra en la Figura 5.9.

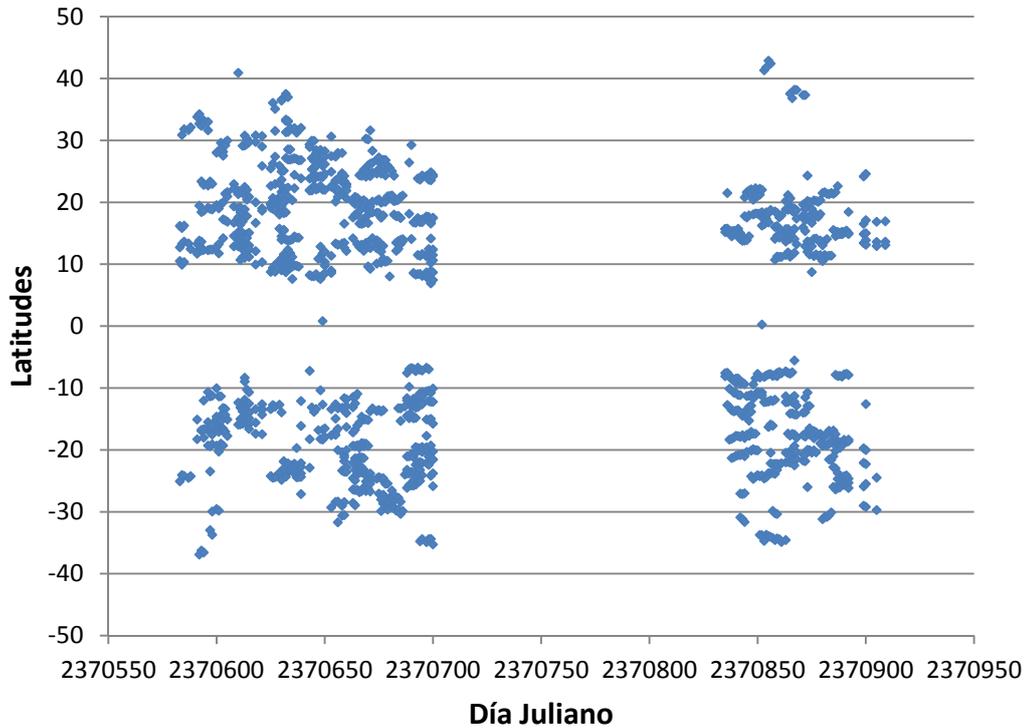


Figura 5.9. Diagrama de mariposa de las manchas observadas por Oriani en 1778 y 1779

5.5. Comparativa con las observaciones de Staudacher

Arlt (2008) realizó la digitalización de los dibujos originales de manchas solares realizados por J.C. Staudacher entre los años 1749 y 1796. Como resultado de este trabajo, se conocen las superficies y las posiciones de las manchas observadas por Staudacher. En la Figura 5.10, se muestra el diagrama de mariposa de las observaciones conjuntas realizadas por Staudacher y Oriani entre mayo de 1778 y marzo de 1779. Las

observaciones de Oriani son mucho más numerosas en este periodo, viniendo a complementar las de Staudacher.

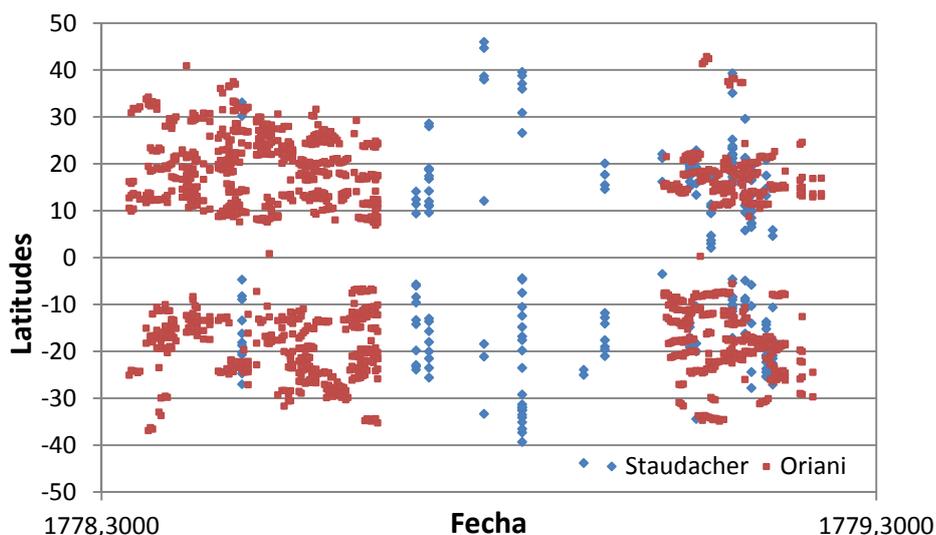


Figura 5.10. Diagrama de mariposa de las observaciones de Staudacher y Oriani desde mayo de 1778 a marzo de 1779

En las figuras que vemos seguidamente, se comparan las posiciones de manchas solares observadas por Oriani, calculadas en este capítulo, con las de Staudacher en los años 1778 y 1779, en los 9 días en que coincidieron sus observaciones. Concretamente, estas coincidencias se dieron en los días 24 de junio de 1778; 21 y 24 de enero de 1778; 10,16, 19 y 26 de febrero de 1779; y 1 de marzo de 1779.

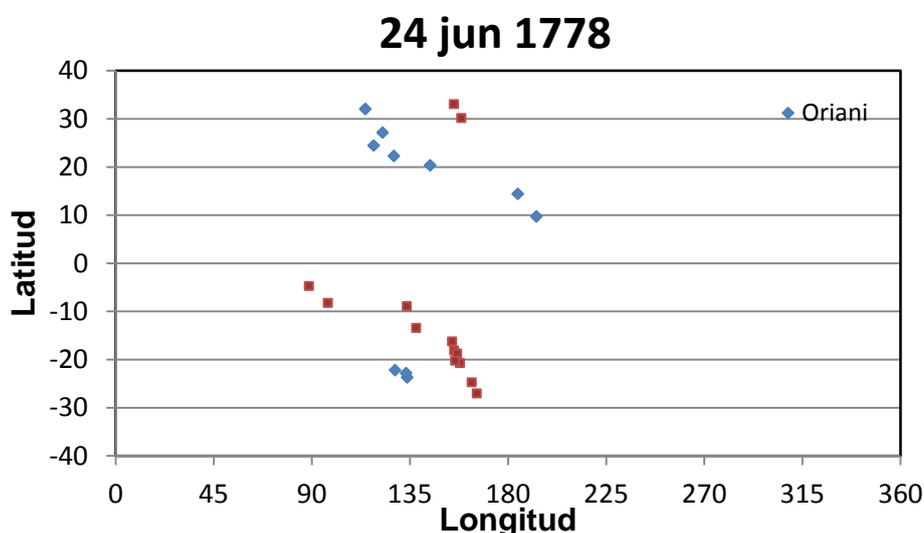


Figura 5.11. Posiciones de manchas solares el 24 junio 1778

Si comparamos las manchas solares observadas por uno y otro observador el 24 de junio 1778 (Figura 5.11), vemos que no coinciden las posiciones de las manchas. Las posiciones de las manchas parecen ser simétricas. La simetría es doble, sobre los dos ejes horizontal y vertical. En este día no se pudo calcular las coordenadas de la mancha 2.7 de Oriani pero sí los días previos, por lo que se ha incluido en la figura también las coordenadas de dicha mancha. Oriani observó menos manchas que Staudacher en este día.

21 ene 1779

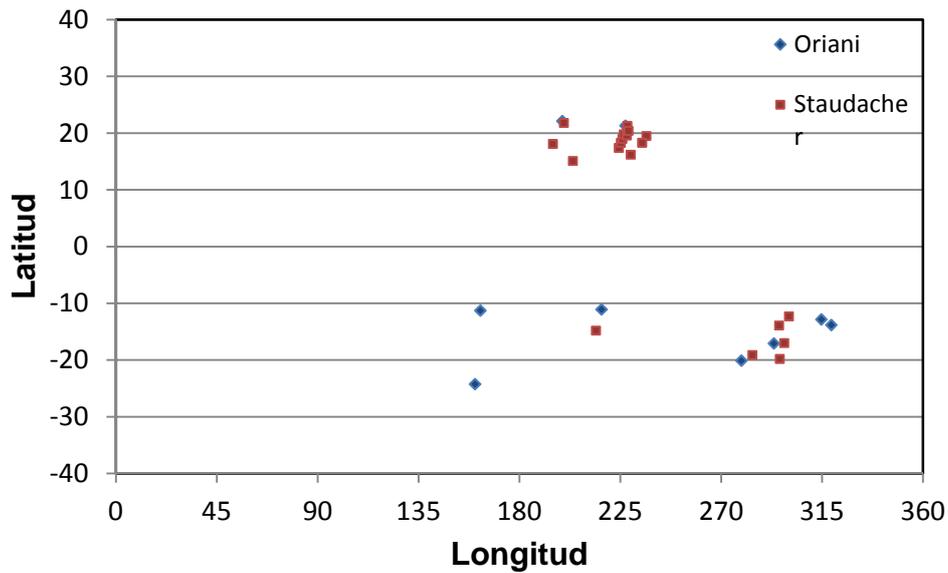


Figura 5.12. Posiciones de manchas solares 21 de enero de 1779

En la observación del 21 de enero de 1779 (Figura 5.12), las posiciones de manchas son parcialmente coincidentes, aunque Oriani observa menos manchas que las que refleja Staudacher.

El 24 de junio de 1779 (Figura 5.13), cuatro de las manchas coinciden prácticamente, otras tres parecen corresponderse aunque se ubican en la misma longitud pero con diferente latitud, estando las manchas de Staudacher desplazadas hacia el sur con respecto a las de Oriani. Otras no se corresponden. En total, Oriani observó 8 manchas mientras que Staudacher observa 9 manchas.

24 ene 1779

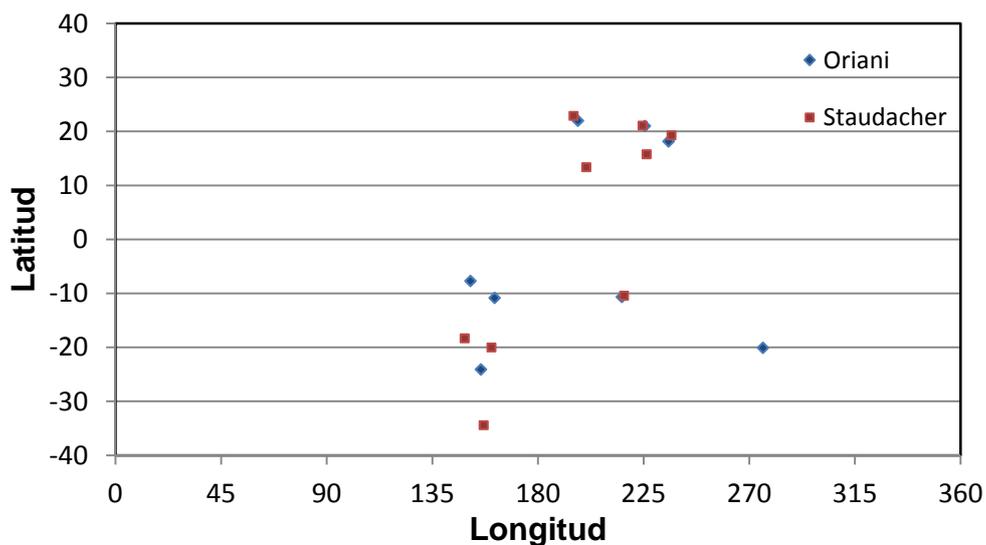


Figura 5.13. Posiciones de manchas solares el 24 de enero de 1779

Las observaciones del 31 de enero de 1779 (Figura 5.14) parecen indicar que las observaciones de Staudacher están giradas 90° con respecto a las de Oriani.

31 ene 1779

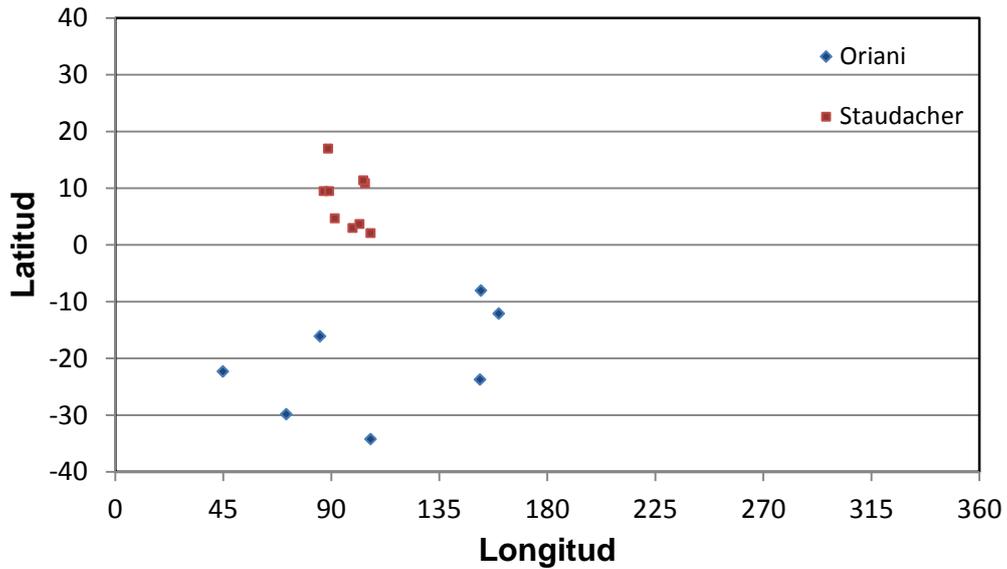


Figura 5.14. Posiciones de manchas solares 31 de enero de 1779

El número de manchas del día 10 de febrero de 1779 (Figura 5.15) es elevado en ambos observadores (14 Oriani y 35 Staudacher). Las manchas aparecen en las mismas zonas pero no son completamente coincidentes.

10 feb 1779

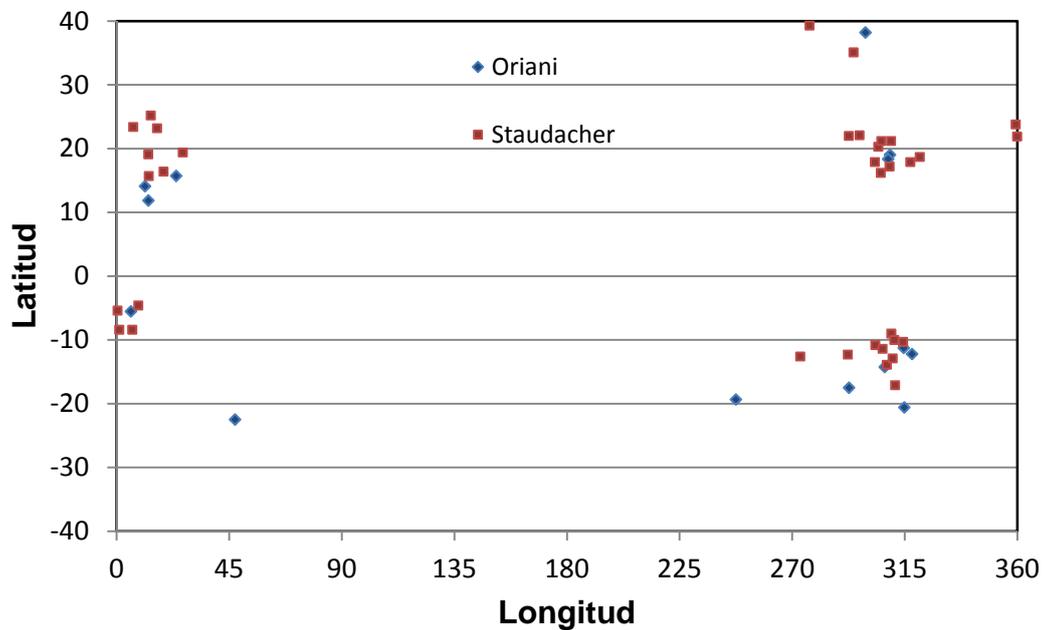


Figura 5.15. Posiciones de manchas solares 10 de febrero de 1779

En el 16 de febrero de 1779 (Figura 5.16), las posiciones de las manchas son similares a las de otros días. Las manchas están sensiblemente desplazadas hacia el ecuador solar en los datos de Staudacher con respecto a los datos de Oriani.

16 feb 1779

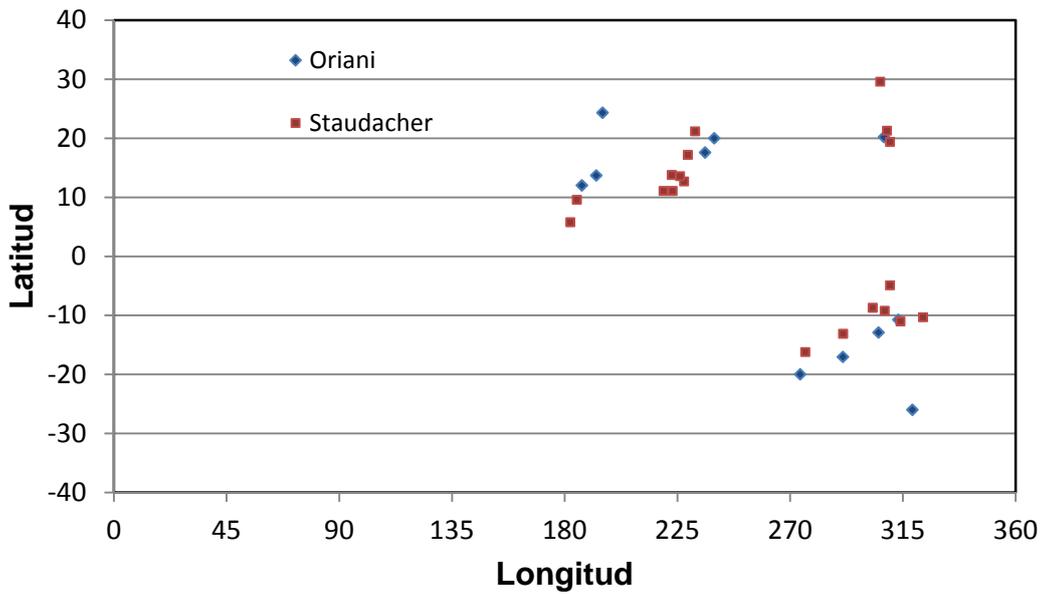


Figura 5.16. Posiciones de manchas solares 16 de febrero de 1779

Las manchas de ambos observadores del día 19 de febrero de 1779 (Figura 5.17), se encuentran en las proximidades, casi coincidentes en el hemisferio norte y desplazadas hacia el ecuador en el sur, posiblemente debido a un giro.

19 feb 1779

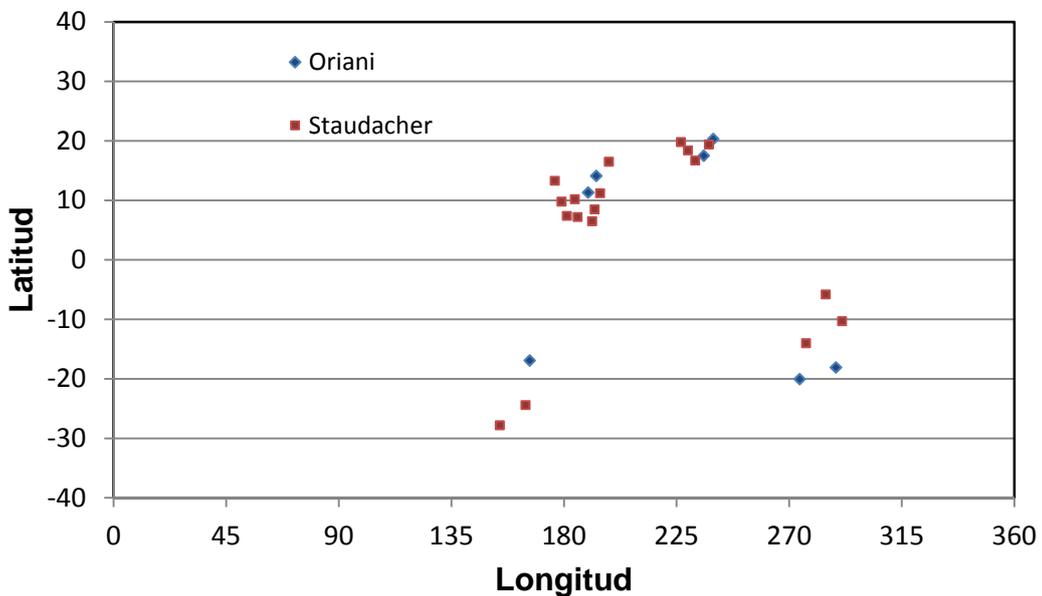


Figura 5.17. Posiciones de manchas solares 19 de febrero de 1779

El 26 de febrero de 1779 (Figura 5. 18), Oriani observó 7 manchas mientras son 22 las manchas que indica Staudacher. Algunas son coincidentes o muy cercanas en ambos observadores.

coincidentes con las observaciones de Staudacher, por si pudieran compararse con los dibujos originales utilizados por este observador.

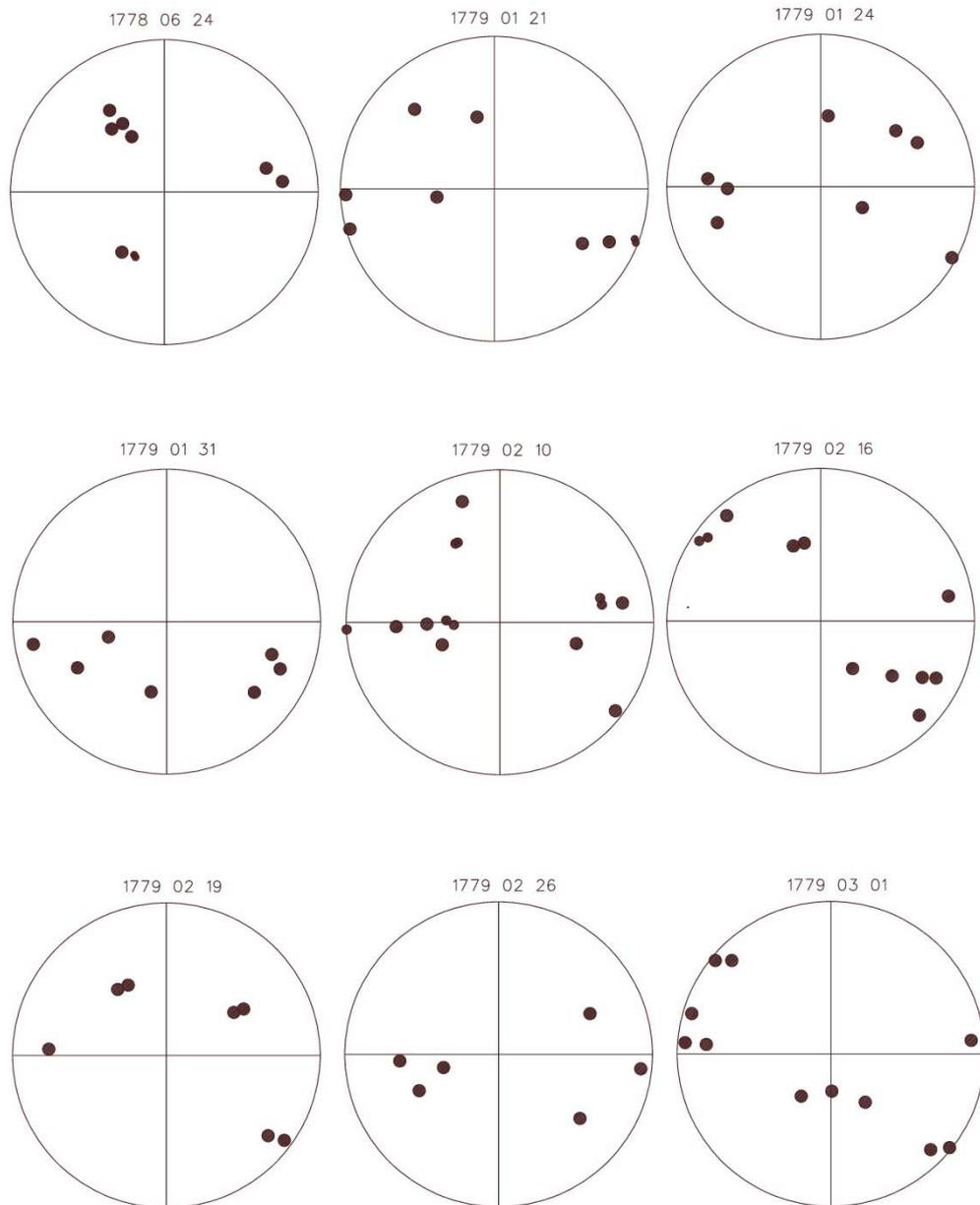


Figura 5. 20. Discos obtenidos a partir de las observaciones de Oriani en las fechas coincidentes con las observaciones de Staudacher

A la vista de los gráficos podemos concluir que hay problemas en la orientación de los dibujos de Staudacher al no haberse podido orientar de una manera precisa sus dibujos en el trabajo de Arlt (2008).

Capítulo 6. Latitudes de manchas solares durante el mínimo de Maunder

El mínimo de Maunder (1645-1715, aproximadamente) fue un periodo de actividad solar muy baja y con una asimetría hemisférica muy fuerte, con la mayoría de manchas solares en el hemisferio sur. En este capítulo, hemos recuperado para la comunidad científica internacional dos bases de datos de latitudes de manchas solares observadas durante el mínimo de Maunder. La primera base de datos está formada por las latitudes de manchas solares que aparecen en el catálogo publicado por Gustav Spörer hace unos 130 años. El segundo conjunto de datos está basado en las latitudes de manchas solares mostradas en el diagrama de mariposa del mínimo de Maunder que fue publicado por Ribes y Nesme-Ribes hace unos 20 años. Una versión digital de ambas bases de datos está disponible en el Historical Archive of Sunspot Observations (<http://haso.unex.es>). Su análisis confirma de fuerte asimetría hemisférica de la actividad solar durante ese gran mínimo.

6.1. Introducción

El mínimo de Maunder (MM) es un episodio especial de la historia reciente del Sol (Eddy, 1976) en el que las manchas solares casi desaparecieron por completo, mientras que el viento solar permanecía activo, aunque con velocidades más lentas a las actuales (Cliver et al., 1998; Usoskin et al., 2001). Las manchas solares raramente aparecían en el disco solar pero un análisis de los datos de radioisótopos (Beer et al., 1998) mostró claramente que el ciclo solar de 11 años fue débil pero bastante regular durante el MM. Posteriormente, este resultado ha sido confirmado incluso con antiguas observaciones telescópicas del Sol (Vaquero et al., 2015). Pueden encontrarse diferentes informaciones detalladas sobre el MM y otros aspectos históricos de la actividad solar en las monografías de Soon y Yaskel (2003) y Vaquero y Vázquez (1999), así como en los artículos de revisión de Vaquero (2007) y Usoskin (2013). A pesar de que el escenario clásico para el MM implica que la transición desde la actividad normal hasta el mínimo profundo fue brusca, las observaciones históricas recuperadas recientemente sugieren que el inicio del MM no habría sido tan repentino (Vaquero et al., 2011). Otra característica importante de la actividad solar durante el MM fue una fuerte asimetría norte-sur. Las manchas solares se observaron principalmente en el hemisferio solar sur (Spörer, 1889; Ribes y Nesme-Ribes, 1993).

Dos importantes estudios han demostrado claramente este último rasgo del MM. Por un lado, Spörer (1889) indica esta fuerte asimetría en un artículo publicado en el siglo XIX listando las posiciones conocidas de manchas solares, basándose principalmente en las observaciones y dibujos publicados hasta esa fecha. Además, Ribes y Nesme-Ribes (1993) informan de las características de la actividad solar durante el MM utilizando las observaciones conservadas en los archivos del Observatorio de París. Además, Ribes y Nesme-Ribes (1993) publicaron un diagrama de mariposa del periodo 1670-1720 basado en esas observaciones. Estos dos estudios son las fuentes principales de latitudes de manchas solares durante el MM, si no tenemos en cuenta las observaciones originales (Clette et al., 2014; Casas et al., 2006).

Aunque se han hecho en años recientes varios diagramas de mariposa con datos del siglo XVIII (Arlt, 2009; Cristo et al., 2011) y XIX (Arlt et al., 2013; Casas y Vaquero, 2014), no hay datos disponibles (en versión digital) para construir un diagrama de mariposa del siglo XVII (especialmente, del MM). Por esto, nuestro objetivo es

proporcionar a la comunidad científica internacional una versión digital con las latitudes de las manchas solares de los trabajos de Spörer (1889) y Ribes y Nesme-Ribes (1993).

6.2. Datos y Métodos

Como hemos señalado en el apartado anterior, hemos recuperado los datos de los trabajos de Spörer (1889) y Ribes y Nesme-Ribes (1993). El origen de los datos es bastante diferente. Spörer (1889) facilita una lista de latitudes de manchas solares. Sin embargo, Ribes y Nesme-Ribes (1993) consultaron los datos originales en el archivo del Observatorio de París y publicaron un diagrama de mariposa (Figura 6. 1. Panel superior de la Figura 6 de Ribes y Nesme-Ribes, 1993.). Por lo tanto, tenemos una base de datos extrayendo la información de ambas fuentes usando métodos diferentes.

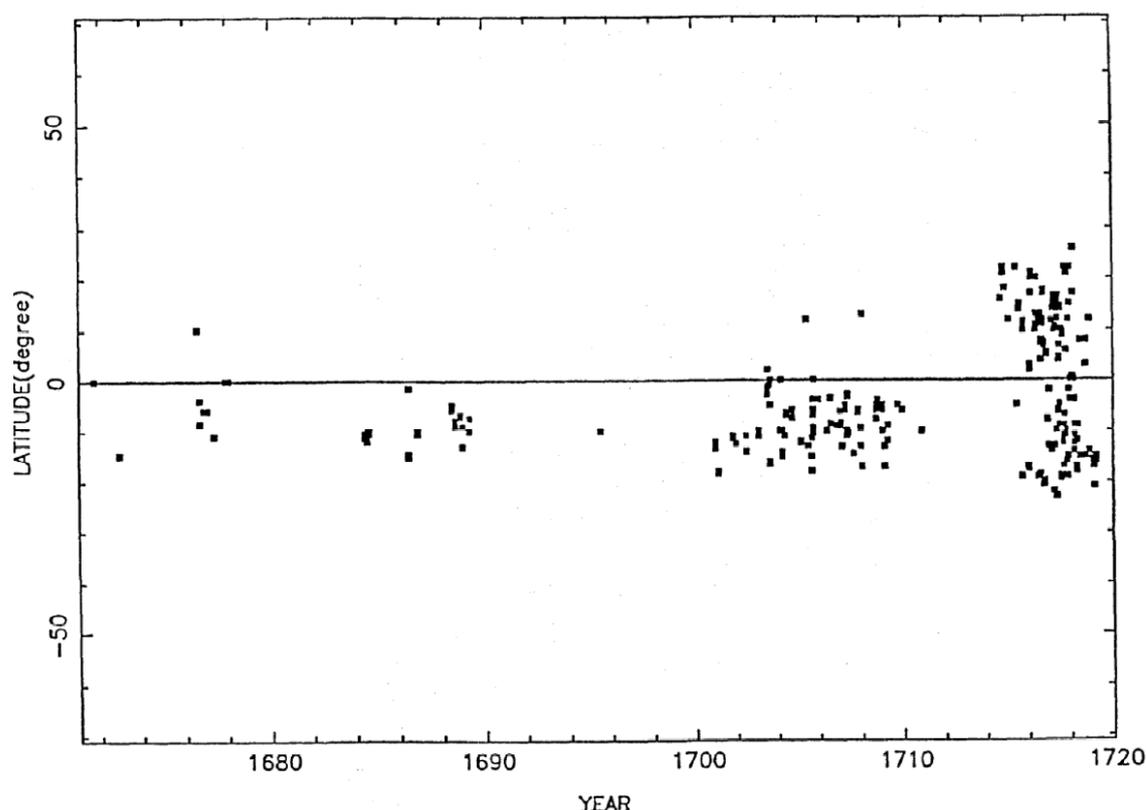


Figura 6. 1. Panel superior de la Figura 6 de Ribes y Nesme-Ribes, 1993.

Fue muy fácil copiar los datos proporcionados por Spörer (1889). En total, 64 latitudes de manchas solares asociadas con fechas listadas por este autor. Los datos gráficos proporcionados por Ribes y Nesme-Ribes (1993) fueron convertidos a formato digital usando la aplicación web *WebPlotDigitizer* (<http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/>) que ha sido desarrollada por Ankit Rohatgi. Este código, abierto y gratuito, ha sido desarrollado para facilitar la extracción de datos de una manera fácil y precisa de variados tipos de gráficos. Este programa ha sido desarrollado usando HTML5. Por lo tanto, no requiere instalación en el disco duro del usuario, se ejecuta dentro de un navegador, por lo que tampoco necesita de un sistema operativo específico. Además, esta aplicación tiene las siguientes características:

No se necesita instalación. Basta con hacer “clic” en el botón de puesta en marcha y empezar a trabajar. Aunque también es posible descargar de la web una versión offline que se puede ejecutar sin conexión a Internet.

Soporta gráficos XY, diagramas polares, diagramas ternarios y mapas, en diferentes formatos (jpeg, png, bmp y gif).

Contiene herramientas para hacer mediciones de distancia y ángulo en los mapas e imágenes.

Genera datos en formato *.csv que pueden ser utilizados por los programas de análisis de datos (por ejemplo, Excel, OpenOffice etc.).

Es de uso gratuito y se distribuye bajo la Licencia Pública General de GNU versión 3.

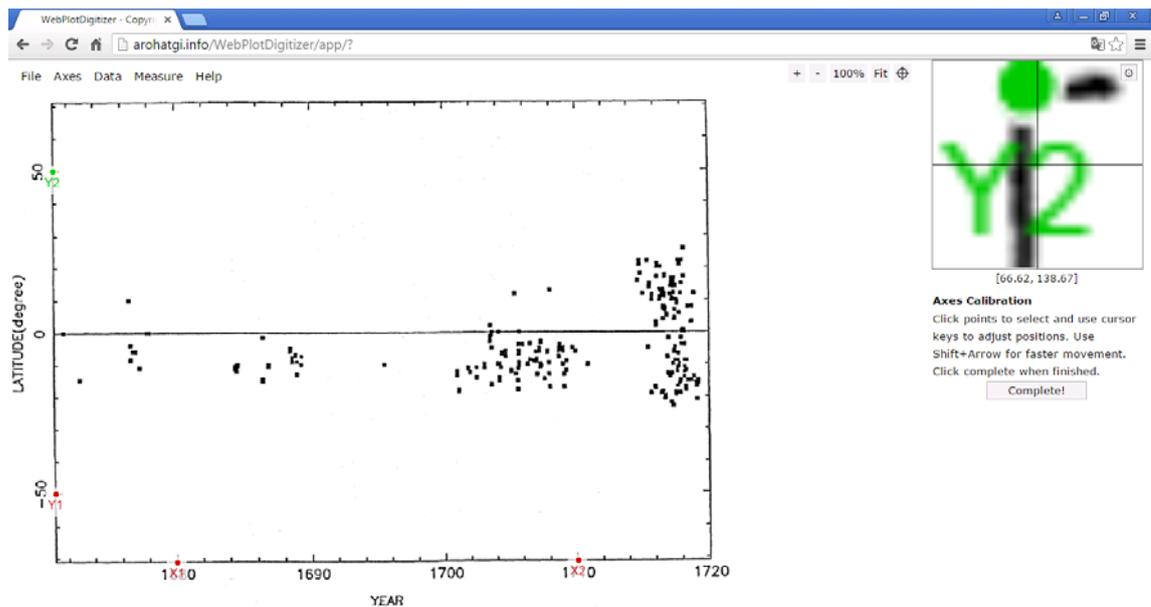


Figura 6. 2. Calibración de ejes X e Y en la aplicación WebPlotDigitizer.

El proceso para analizar un gráfico en esta aplicación es el siguiente:

Después de haber descargado la imagen en la aplicación, el primer paso es calibrar los ejes del gráfico. Para esto hay que seleccionar el tipo de gráfico (XY, polar,...) y, a continuación, seleccionar puntos en el gráfico de los cuales conozcamos sus coordenadas, las cuales hay que introducir con teclado. En nuestro caso se trataba de un gráfico XY, por lo que seleccionamos dos puntos en el eje horizontal y dos puntos en el eje vertical. Para realizar una puntería correcta en el punto seleccionado el programa facilita en una vista ampliada, en la parte derecha de la pantalla, de la zona en la que se sitúa el cursor (Figura 6. 2).

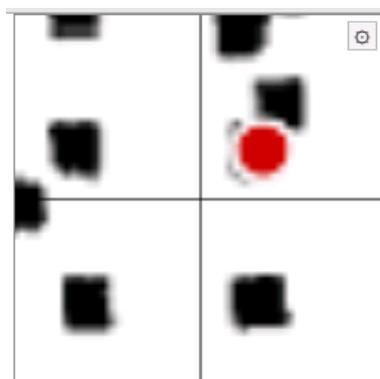


Figura 6. 3. Adquisición de coordenadas mediante la vista ampliada del software WebPlotDigitizer.

Una vez calibrada la imagen, se pasa a adquirir los datos situando el cursor y cliqueando en los puntos en los que se desean obtener coordenadas, utilizando la vista ampliada si se estima necesario para mejorar la precisión de la toma (Figura 6. 3). Durante el proceso, es posible editar los datos y eliminar aquellos que no sean útiles.

Cuando se han adquiridos los datos necesarios se pueden exportar en un fichero *.csv, que contendrá una tabla de datos, legible en Microsoft Excel o Matlab, para posteriores análisis.

En total, usando *WebPlotDigitizer*, se obtuvieron 213 latitudes de manchas solares asociadas con las fechas de los datos de la Figura 6 de Ribes y Nesme-Ribes (1993).

Hay que tener en cuenta que todos los observadores comprendidos en los dos conjuntos de datos presentes ya han sido incluidos en la base de datos colectada por Hoyt y Schatten (1998). Spörer (1889) indica que ha usado la bibliografía sobre manchas solares que aparece en la revista “Mittheilungen über die Sonnenflecken”, por R. Wolf. Esta revista fue ampliamente usada por Hoyt y Schatten (1998), especialmente para el periodo histórico y, obviamente, incluyendo el periodo del MM. En definitiva, Spörer (1889) compiló las observaciones de manchas solares durante el MM por Lalande, Cassini, Flamsteed, Halley, De la Hire, Wuzelbaur, Maraldi, Manfredi, Derham, Wiedenburg y Kirch. Además, Ribes y Nesme_Ribes (1993) usaron las observaciones de manchas solares preservadas en el archivo del Observatorio de París. Debe señalarse que Hoyt y Schatten (1998) incluyeron estos datos de astrónomos franceses en su trabajo, indicando que habían sido facilitados por Elizabeth Nesme-Ribes. Por ejemplo, en las referencias sobre Phillippe de La Hire, uno de los más importantes observadores de manchas solares en el periodo MM, manifestaron: “La fuente primaria es el re-examen de los cuadernos originales de Elizabeth Nesme-Ribes al Observatorio de París”. Por lo tanto, está claro que todos los observadores originales presentados en este capítulo están incluidos en el conjunto de datos colectado por Hoyt y Schatten (1998).

Es difícil asociar las manchas solares que aparecen en ambos conjuntos de datos, debido a los errores en fecha y latitud de cada mancha. En la Figura 6 de Ribes y Nesme-Ribes (1993), cada mancha solar se indica con un cuadrado pequeño. Este símbolo indica la fecha en el eje horizontal y la latitud de la mancha solar en el eje vertical. Si se compara las dimensiones de estos pequeños cuadrados con las dimensiones de los ejes, cada pequeño cuadrado tiene aproximadamente 1.1 años de ancho y 1.3° de alto. El error máximo en la determinación del centro del cuadrado al digitalizarlo puede ser de aproximadamente 2/3 de esta dimensión. Por lo tanto, sólo es posible definir las coordenadas de la mancha con precisiones de ± 0.7 años y $\pm 0.9^\circ$. Así, no es fácil establecer si una mancha solar dada en un conjunto de datos está o no repetida en el otro. Para ello deberían usarse las observaciones originales.

6.3. Resultados

Hemos combinado los dos conjuntos de datos en un único archivo que contiene tres columnas. Los datos del archivo están listados en el Apéndice 8. La primera columna indica la fecha asociada con la latitud de la mancha, que está listada en la segunda columna. Hemos usado como criterio de asignación de fecha de cada mancha la fecha correspondiente al punto medio entre las fechas extremas indicadas por Spörer (1889).

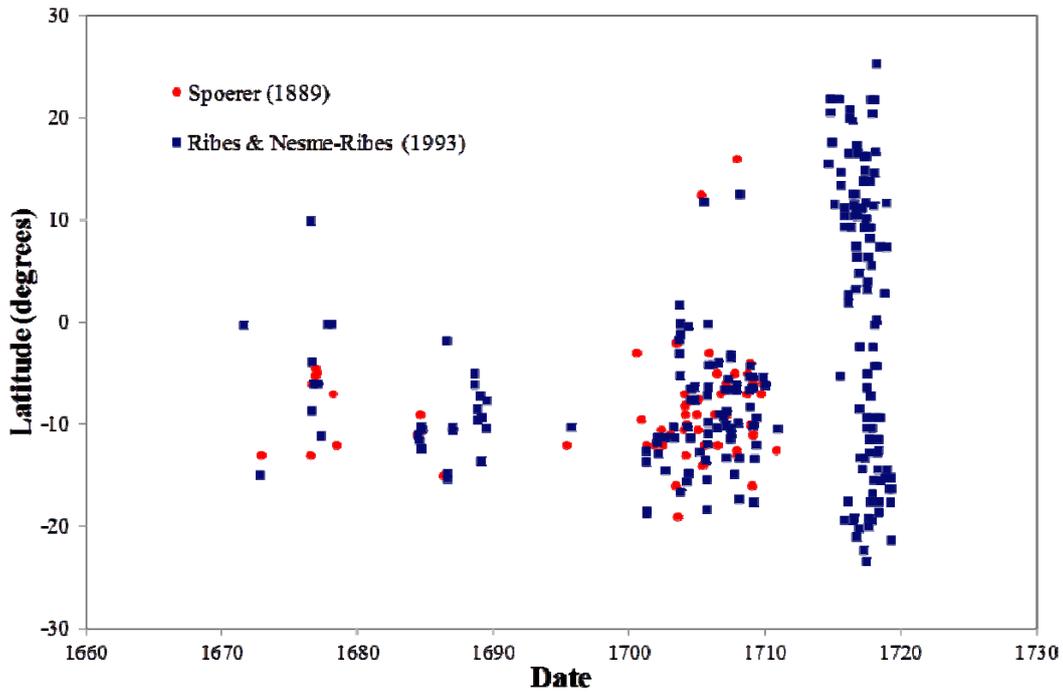


Figura 6. 4. Diagrama de mariposa usando los datos de Spörer(1889) (círculos rojos) y Ribes y Nesme-Ribes (1993) (cuadrados azules).

La última columna muestra la fuente. La Figura 6. 4 muestra las latitudes de las manchas solares proporcionadas por Spörer (círculos rojos) y por Ribes y Nesme-Ribes (cuadrados azules). Puesto que el propósito de este trabajo es convertir los datos de la gráfica en datos utilizables, está disponible libremente una copia de este sencillo fichero en <http://haso.unex.es> y una versión impresa aparece en la Tabla 6.2.

6.4. Asimetría a través del MM

Tal y como se aprecia en la Figura 6. 4, Ambos conjuntos de datos muestran claramente la fuerte asimetría N-S durante el MM con manchas solares observadas principalmente en el hemisferio solar sur. Esta asimetría hemisférica desaparece en el primer ciclo solar después del MM, aproximadamente en el año 1715. Para estudiar la asimetría N-S en cada década, hemos calculado el índice A de asimetría, definido como (Verma, 1993)

$$A = \frac{S_N - S_S}{S_N + S_S}$$

Siendo S_N y S_S , respectivamente, el número de manchas solares en los hemisferios norte y sur. La Tabla 6. 1 muestra los valores de S_N , S_S , $S_N + S_S$ y el índice A en diferentes periodos de los conjuntos de datos de Spörer y de Ribes y Nesme-Ribes, además de en todo el conjunto de datos. Está claro que, excepto para los datos de Ribes y Nesme-Ribes correspondientes a la década 1711-1720, los datos exhiben una fuerte asimetría N-S.

Tabla 6. 1 . Información sobre las manchas solares observadas en los hemisferios norte y sur en diferentes décadas en los dos conjuntos de datos.

Conjunto de datos	S_N	S_S	$S_N + S_S$	A	$P(\%)$
Spörer 1671–1680	0	8	8	-1	0.4
Spörer 1681–1690	0	4	4	-1	6.3

Spörer 1691–1700	0	3	3	-1	12.5
Spörer 1701–1710	2	47	49	-0.918	22 x 10 ⁻¹⁰
Ribes and Nesme-Ribes 1671–1680	1	9	10	-0.8	1.1
Ribes and Nesme-Ribes 1681–1690	0	19	19	-1	1.9 x 10 ⁻⁴
Ribes and Nesme-Ribes 1691–1700	0	1	1	-1	50
Ribes and Nesme-Ribes 1701–1710	3	73	76	-0.921	9.7 x 10 ⁻¹⁷
Ribes and Nesme-Ribes 1711–1720	58	49	107	0.084	83.3
Complete data set 1671–1680	1	17	18	-0.889	7.2 x 10 ⁻³
Complete data set 1681–1690	0	23	23	-1	1.2 x 10 ⁻⁵
Complete data set 1691–1700	0	4	4	-1	6.3
Complete data set 1701–1710	5	120	125	-0.92	5.7 x 10 ⁻²⁸

Además, la asimetría de los datos fue analizada desde el punto de vista de la probabilidad de tener una distribución asimétrica de la fluctuación aleatoria. Esto se puede hacer usando la función de distribución de probabilidad acumulada binomial (Press et al., 1989; Chowdhury y Dwivedi, 2011)

$$P = \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j} \quad (6.1)$$

que, en este contexto, nos indica la probabilidad de tener un número de manchas solares igual o mayor que k en el hemisferio sur (siendo n y p , respectivamente, el número total de manchas solares y la probabilidad aleatoria $p = 0.5$ en nuestro caso – de tener una mancha en el hemisferio sur). Además, la ecuación (6.1) puede expresarse en términos de la función incompleta beta (Abramowitz y Stegun, 1972)

$$P = I_p(k, n - k + 1) \quad (6.2)$$

Así, la Tabla 6.1 muestra además los valores correspondientes de P calculados para el mismo conjunto de datos considerados en el caso del índice de asimetría. La Tabla 6.1 muestra que, excepto para los datos de Ribes y Nesme-Ribes de la década de 1711-1720, hay presente una perceptible asimetría N-S, con valores del índice de asimetría igual o muy cerca de -1. Con un nivel de significancia del 5%, los datos de Spörer en la década con un muy bajo número de registros de manchas solares (1681-1690 y 1691-1700) no son significativos desde el punto de vista de la asimetría, a pesar de que los datos 1681-1690 pueden ser considerados significativos marginalmente. En las décadas 1671-1680 y 1701-1710, con el mismo nivel de significatividad, la asimetría N-S es significativa en los datos de Spörer. Hay que tener en cuenta que, para el conjunto de datos completo, la asimetría es muy significativa en todos los casos ($P < 1\%$), con la excepción de la década 1691-1700, donde la asimetría puede considerarse sólo significativa marginalmente ($P = 6.3\%$).

Vale la pena mencionar que no está claro cómo ha operado la dinamo solar durante el MM. La certeza de la existencia del ciclo de 11 años durante el MM se basa principalmente en las medidas indirectas basadas en isótopos cosmogénicos y, en menor medida, en las observaciones telescópicas de manchas solares. No obstante, estas observaciones indican más claramente ciclo dominante de 22 años (ver, por ejemplo, Usoskin (2013)) que podría enmascarar el ciclo solar. La situación sólo será resuelta con el estrecho examen de antiguas observaciones del Sol no conocidas ahora por la comunidad internacional y que podrían haber sido preservadas en archivos o bibliotecas históricas.

Conclusiones

En este trabajo, hemos aplicado herramientas comunes del trabajo cartográfico a un campo donde su uso no ha sido habitual. Tal y como nos propusimos al principio de nuestra tarea, hemos obtenido resultados e información que resultan de enorme interés en el campo de la física solar y las relaciones Sol-Tierra mediante la digitalización y el estudio, con diferentes herramientas cartográficas y de cálculo, de antiguas observaciones solares, poniendo en valor varios conjuntos de datos y representaciones históricas del Sol. Los resultados más relevantes de esta memoria son los siguientes:

- Hemos hecho una revisión de los estudios sobre la forma del Sol y los sistemas de referencia utilizados comúnmente para obtener imágenes cartográficas del mismo. Los más recientes estudios de la forma del Sol, realizados con observaciones de sondas espaciales, indican que las diferencias observadas entre los radios ecuatorial y polar del Sol son de aproximadamente 8 milisegundos de arco (Meftah et al., 2015). Debido a la pequeñez de este valor, hemos supuesto una superficie de referencia esférica para el Sol en este trabajo. Además, hemos estudiado las diferencias entre el uso de la proyección escenográfica y la ortográfica para representar el Sol. Las diferencias en la cartografía son muy pequeñas y despreciables para los tamaños habituales de los dibujos históricos de manchas solares. Si tenemos en cuenta que las fuentes históricas nos proporcionan dibujos del disco solar en papel con un tamaño limitado (típicamente de 10 cm), no sería apreciable la diferencia entre un dibujo del disco solar con proyección escenográfica o ortográfica.
- Hemos recuperado parte de las observaciones de manchas solares (actualmente, los originales están perdidos) que S. T. Soemmering realizó entre 1826 y 1829. Las observaciones han sido recuperadas gracias a las publicaciones de su discípulo L. Thilo y de R. Carrington, utilizando herramientas CAD. Por un lado, los diagramas publicados por Thilo nos sirvieron para determinar la superficie y las coordenadas de las manchas solares representadas. Por otro lado, también hemos recuperado los datos que publicó, en forma gráfica, Carrington a partir de las observaciones originales de Soemmering (antes de que se perdiesen). Estos datos, pertenecientes a una época con escasas observaciones de calidad disponibles, están ahora disponibles para la comunidad científica (Apéndice 2 y Apéndice 3). En total, hemos determinado las coordenadas de 581 y 565 posiciones de manchas, respectivamente, gracias a estas dos fuentes históricas. Hemos comparado nuestros datos con los únicos datos disponibles para esas fechas (gracias a las observaciones de Schwabe). Podemos resaltar el acuerdo entre los conjuntos de datos, aunque Thilo y Carrington dibujaron sólo una parte seleccionada de las observaciones originales de Soemmering, mientras que hay 7302 posiciones de manchas de Schwabe de ese periodo de tiempo.
- También hemos analizado los dibujos de manchas solares del profesor B. Sestini en Washington en 1847. Para ello, usamos el programa informático HSunspots, desarrollado hace unos años en la Universidad de Extremadura. A pesar de las limitaciones que hemos encontrado, HSunspots es una herramienta útil para estimar las posiciones y superficies de las manchas solares de dibujos de

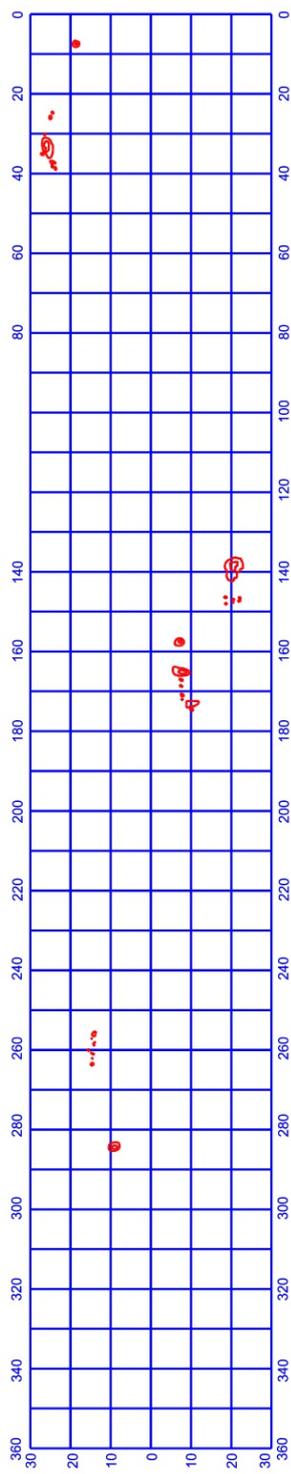
observaciones posteriores a medio del 1 de enero de 1854, si se utilizan imágenes de calidad del disco solar, con los dibujos de las manchas nítidos y bien contrastados así como con el disco bien orientado y recortado. Tras la obtención de las superficies y las coordenadas de 289 posiciones de 48 manchas solares de las observadas por Sestini y su análisis, hemos concluido que los discos solares dibujados por Sestini no están orientados con precisión y, por ello, detectamos algunos problemas en las coordenadas calculadas. Podemos resaltar que el verdadero interés de Sestini era obtener datos sobre las propiedades físicas del Sol y de las propias manchas pero no obtener unas posiciones precisas de las mismas.

- Hemos estudiado las mediciones astrométricas de manchas solares realizadas por Bardana Oriani en Milán en los años 1778 y 1779. A partir de los datos de posición relativa en el disco solar obtenidos por Oriani, hemos calculado las coordenadas de 1441 posiciones de manchas solares en el sistema de referencia usado actualmente por la comunidad científica. Así, estas posiciones pueden ser ahora estudiadas y comparadas con otros datos. Hemos determinado la tasa de rotación de 199 de las manchas observadas. Se han podido comparar las posiciones de algunos días con las obtenidas a partir de los dibujos del astrónomo alemán Staudacher, detectándose algunos problemas en la orientación de los dibujos de este último.
- Hemos estudiado el fenómeno de la asimetría hemisférica durante el Mínimo de Maunder. Para ello, hemos obtenido un diagrama de mariposa usando las latitudes de las manchas que aparecen en los trabajos de Spörer (1889) y de Ribes y Nesme-Ribes (1993). Hemos calculado el índice de asimetría utilizando estos conjuntos de datos confirmando una fuerte asimetría hemisférica en este período. En el Archivo Histórico de Observaciones de Manchas Solares (<http://haso.unex.es>) y en el Apéndice 8, se encuentra disponible una versión digital de ambos conjuntos de datos, disponibles para la comunidad científica.

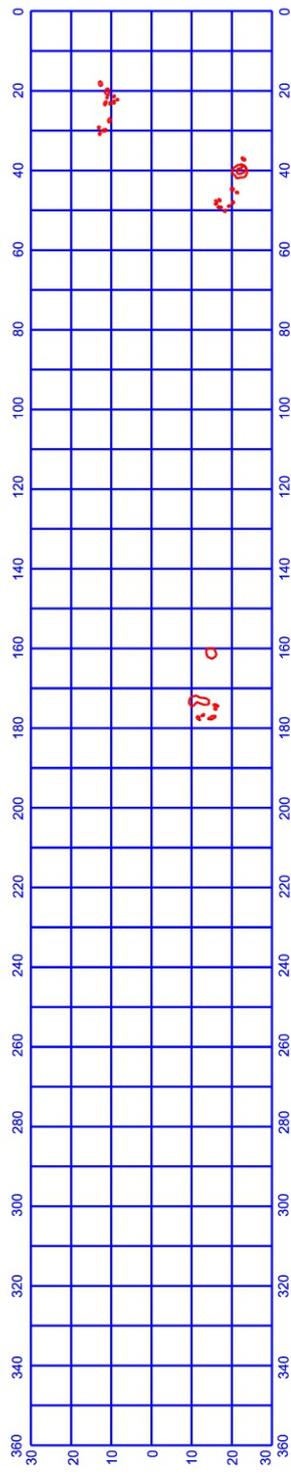
Como líneas futuras de investigación se plantean varios trabajos pendientes como orientar de una manera precisa los dibujos de Sestini, comparar las observaciones de Oriani con las observaciones originales de Staudacher para estimar la desorientación de sus dibujos y realizar las correspondientes publicaciones de los resultados obtenidos de cada uno de los observadores estudiados.

Apéndices

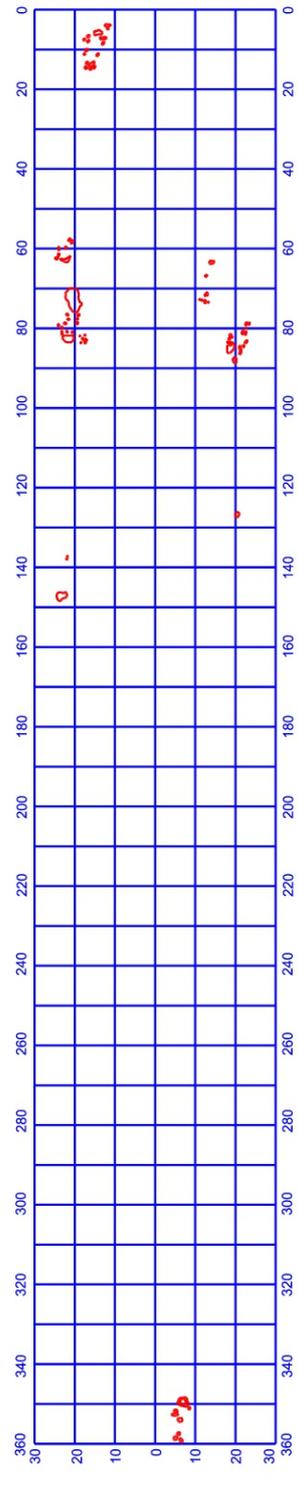
Apéndice 1. Gráficos de Thilo desagregados en 14 periodos



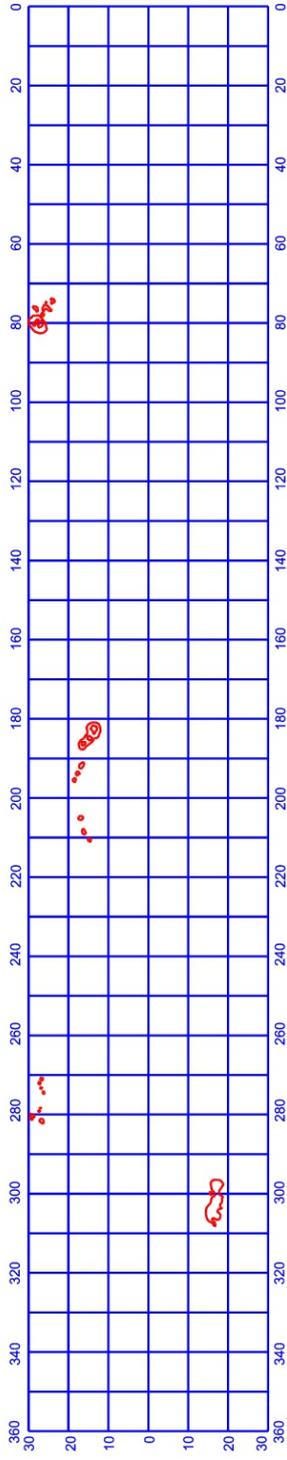
1



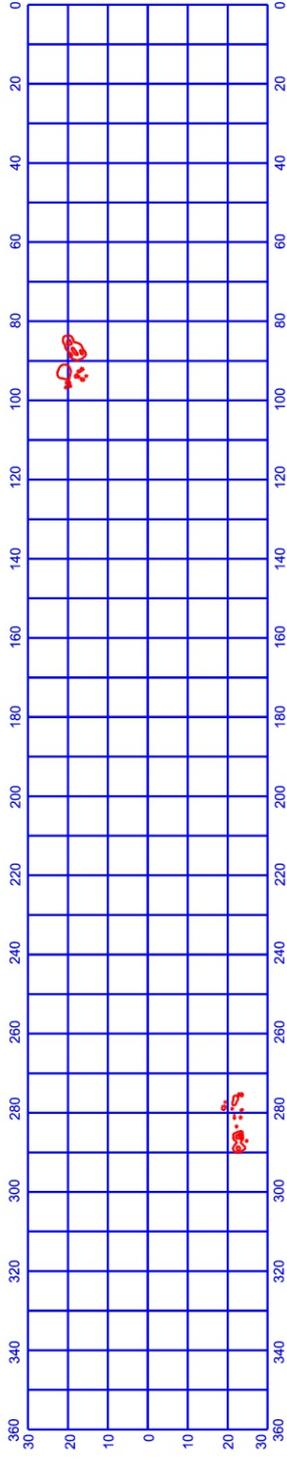
2



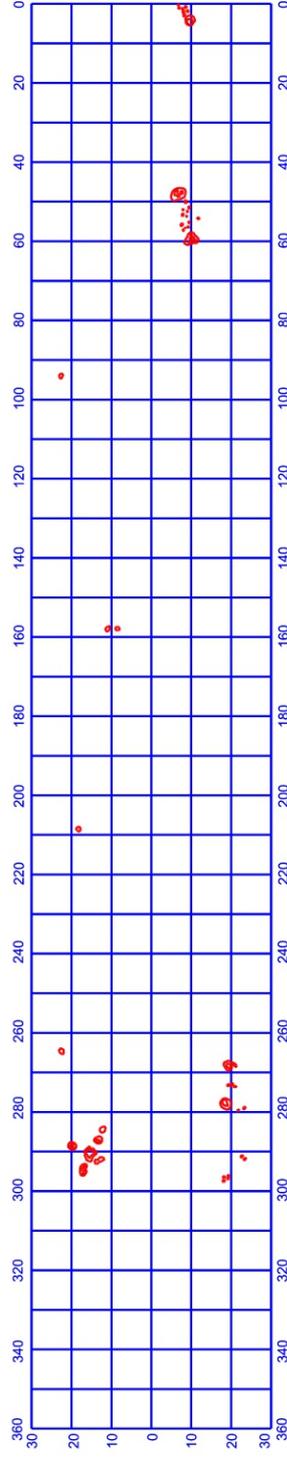
3



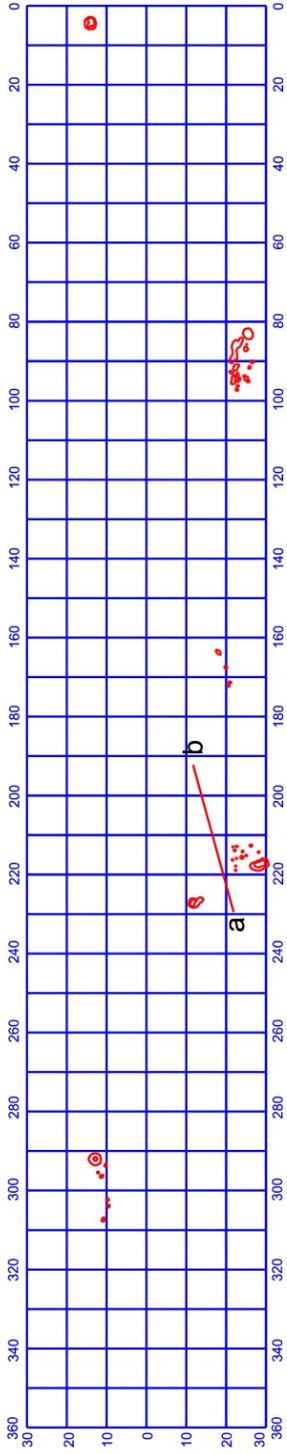
4



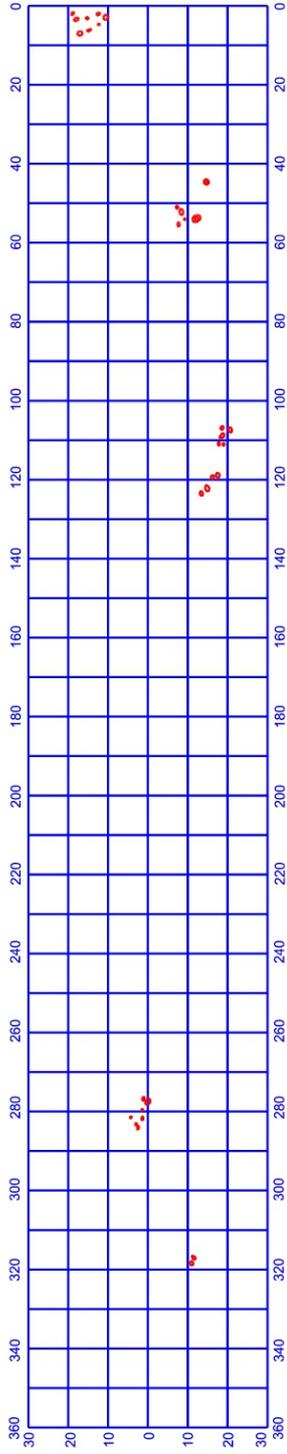
5



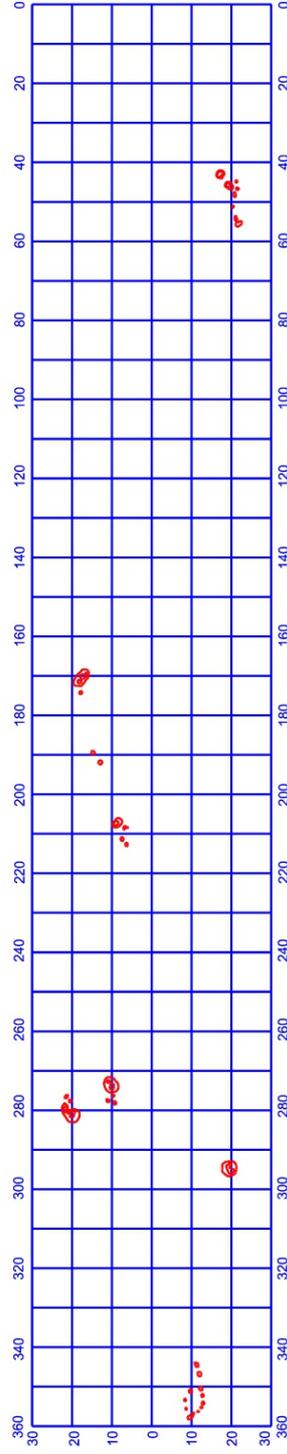
6



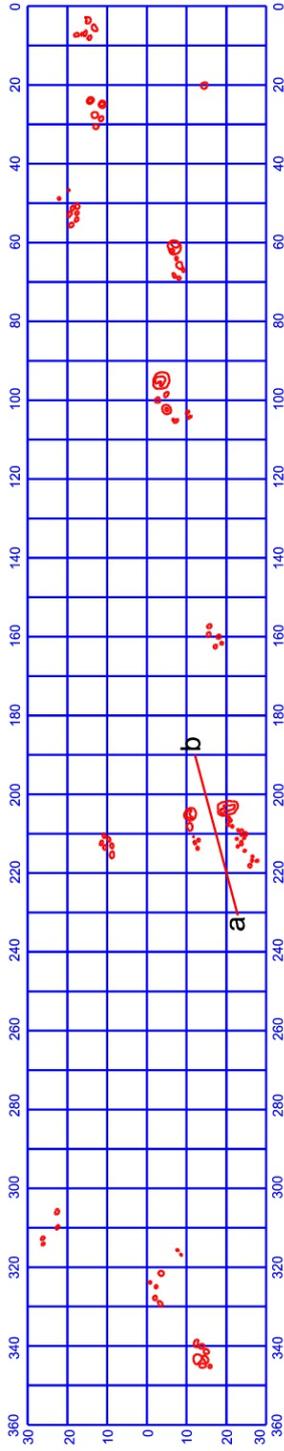
7



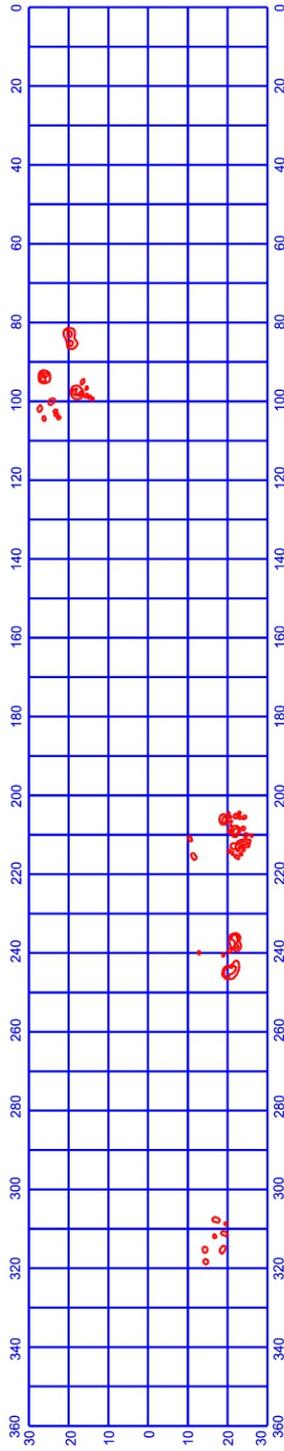
8



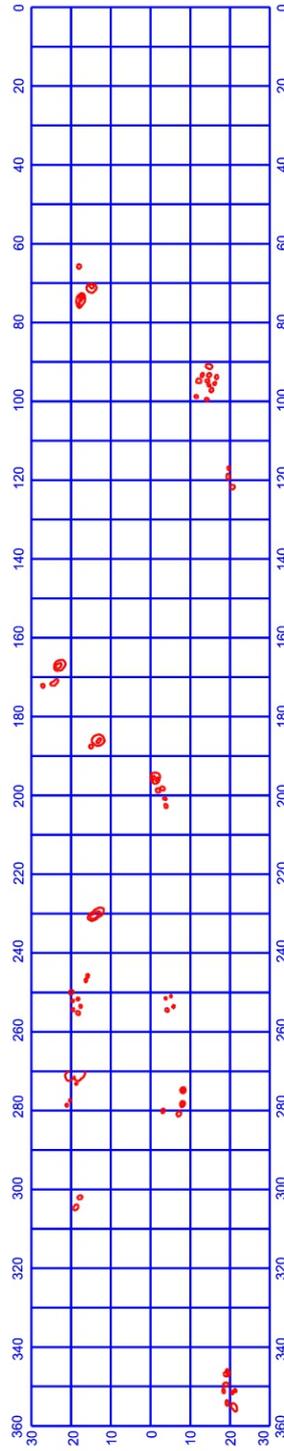
9



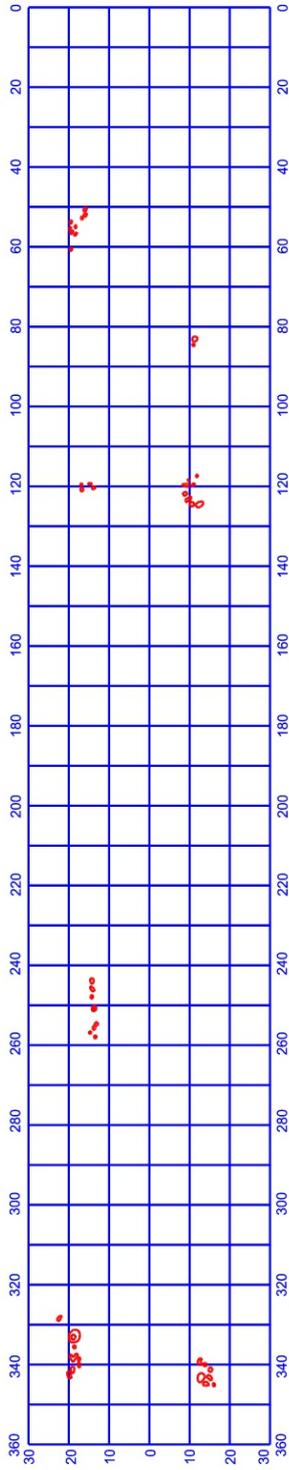
10



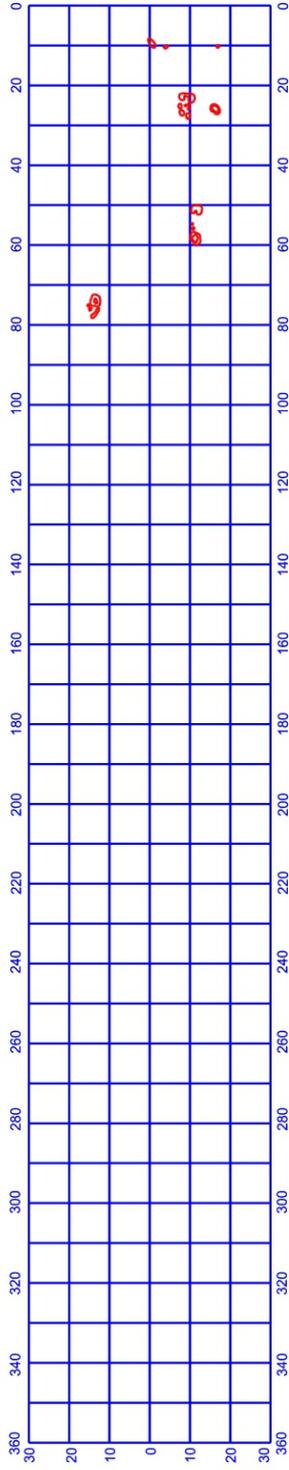
11



12



13



14

Apéndice 2. Coordenadas de las manchas determinadas por Thilo a partir de las observaciones de Soemmering.

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
1	1826 julio 1	0	1	1	4,82	284,26	9,12	1826,51	2388179,22
			2	1	0,43	263,57	14,61	1826,52	2388180,79
				2	0,05	262,08	14,62	1826,52	2388180,91
				3	0,15	260,98	14,35	1826,52	2388180,99
				4	0,04	260,7	14,87	1826,52	2388181,01
				5	0,03	258,7	14,19	1826,52	2388181,16
				6	0,05	258,23	14,13	1826,52	2388181,2
				7	0,82	256,01	14,15	1826,52	2388181,37
			3	1	0,42	174,5	-10,12	1826,54	2388187,55
				2	3,86	173,07	-10,19	1826,54	2388187,66
				3	0,13	172	-7,8	1826,54	2388187,74
				4	0,4	170,92	-7,84	1826,54	2388187,83
				5	0,27	168,63	-7,53	1826,54	2388188
				6	0,36	167,1	-7,56	1826,54	2388188,12
				7	6,95	165,05	-7,38	1826,54	2388188,27
			4	1	3,44	157,61	-7,1	1826,54	2388188,84
			5	1	0,18	147,989	-18,68	1826,54	2388189,57
				2	0,29	146,368	-18,58	1826,54	2388189,69
				3	0,07	147,68	-20,47	1826,54	2388189,59
				4	0,18	146,92	-20,54	1826,54	2388189,65
				5	0,51	146,9	-22,076	1826,54	2388189,65
				6	18,08	139,04	-20,55	1826,54	2388190,25
			6	1	0,21	38,76	23,71	1826,57	2388197,86
				2	0,99	37,48	24,46	1826,57	2388197,96
				3	10,1	33,41	25,69	1826,57	2388198,27
				4	0,18	30,23	26,42	1826,57	2388198,51
				5	0,38	35,11	27,02	1826,57	2388198,14
				6	0,47	25,95	25,01	1826,57	2388198,83
				7	0,47	25,95	25,01	1826,57	2388198,83
			7	1	2,14	7,48	18,65	1826,57	2388200,24

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
2	1826 julio 28	8	1	1	0,46	177,42	-11,65	1826,61	2388214,67
				2	0,21	176,77	-12,85	1826,61	2388214,72
				3	0,95	177,38	-15,15	1826,61	2388214,67
				4	8,28	173,15	-11,69	1826,61	2388214,99
				5	0,22	175,15	-15,9	1826,61	2388214,84
				6	0,52	174,29	-16,04	1826,61	2388214,9
			2	1	5,07	161,19	-14,86	1826,61	2388215,9
			3	1	0,29	50,2	-18,33	1826,64	2388224,33
				2	0,46	49,27	-16,99	1826,64	2388224,4
				3	0,19	48,44	-16,03	1826,64	2388224,46
				4	0,24	47,74	-16,12	1826,64	2388224,51
				5	0,26	47,47	-16,96	1826,64	2388224,53
				6	0,24	48,95	-19,31	1826,64	2388224,42
				7	0,32	48,03	-20,31	1826,64	2388224,49
				8	0,49	44,71	-20,13	1826,64	2388224,74
				9	0,24	45,54	-21,3	1826,64	2388224,68
				10	9,74	40,24	-22,04	1826,64	2388225,08
				11	0,51	37,14	-22,89	1826,64	2388225,32
			4	1	0,26	30,81	12,84	1826,64	2388225,8
				2	0,25	29,22	13,08	1826,64	2388225,92
				3	0,62	29,95	11,71	1826,64	2388225,86
				4	0,6	27,44	10,44	1826,64	2388226,05
				5	0,51	23,14	11,48	1826,64	2388226,38
				6	0,25	23,19	10,26	1826,64	2388226,38
				7	0,38	22,88	9,36	1826,64	2388226,4
				8	0,2	22,24	8,47	1826,64	2388226,45
				9	0,17	21,74	11,03	1826,64	2388226,49
				10	0,22	21,43	9,33	1826,64	2388226,51
				11	1,37	20,26	10,99	1826,64	2388226,6
				12	0,78	18,22	12,68	1826,64	2388226,75
3	1826 agosto 24	16	1	1	0,74	358,56	-5,07	1826,65	2388228,25
				2	0,62	359,1	-6,46	1826,65	2388228,21
				3	0,48	357,46	-5,86	1826,65	2388228,33

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				4	0,95	353,98	-6,23	1826,65	2388228,59
				5	0,84	352,61	-4,95	1826,65	2388228,7
				6	0,42	351,67	-5,16	1826,65	2388228,77
				7	0,33	351,05	-8,5	1826,65	2388228,82
				8	4,83	349,51	-7	1826,65	2388228,93
			2	1	4,05	147,166	23,31	1826,69	2388244,3
				2	0,11	167,84	21,97	1826,69	2388242,73
				3	0,07	137,2	21,81	1826,69	2388245,05
			3	1	1	126,76	-20,44	1826,70	2388245,85
			4	1	1,14	87,99	-19,83	1826,70	2388248,79
				2	3,61	84,8	-18,76	1826,71	2388249,03
				3	0,75	82,14	-18,73	1826,71	2388249,23
				4	0,85	85,43	-21,2	1826,71	2388248,98
				5	0,23	84,446	-22,02	1826,71	2388249,06
				6	0,37	83,37	-22,64	1826,71	2388249,14
				7	0,42	81,02	-21,84	1826,71	2388249,32
				8	0,26	81,21	-22,55	1826,71	2388249,3
				9	0,11	79,91	-22,54	1826,71	2388249,4
				10	0,31	78,84	-22,7	1826,71	2388249,48
				11	0,18	78,81	-23,4	1826,71	2388249,49
			5	1	0,1	72,77	-11,15	1826,71	2388249,95
				2	0,1	72,94	-11,7	1826,71	2388249,93
				3	0,31	73,25	-12,44	1826,71	2388249,91
				4	0,1	73,43	-13,23	1826,71	2388249,9
				5	0,13	71,66	-12,44	1826,71	2388250,03
				6	0,39	71,38	-12,88	1826,71	2388250,05
				7	0,19	66,82	-12,71	1826,71	2388250,4
				8	0,78	63,41	-14,06	1826,71	2388250,66
			6	1	3,96	82,59	21,6	1826,71	2388249,2
				2	0,28	81,17	23,16	1826,71	2388249,31
				3	0,16	80,91	21,89	1826,71	2388249,33
				4	0,19	80,99	20,59	1826,71	2388249,32
				5	0,2	79,83	23,16	1826,71	2388249,41

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				6	0,19	79,19	24,05	1826,71	2388249,46
				7	0,29	78,73	22,38	1826,71	2388249,49
				8	0,19	77,74	21,56	1826,71	2388249,57
				9	0,23	76,55	21,86	1826,71	2388249,66
				10	0,29	78,67	19,42	1826,71	2388249,5
				11	0,17	77,65	19,37	1826,71	2388249,57
				12	0,17	77,65	19,37	1826,71	2388249,57
				13	15,97	72,8	20,32	1826,71	2388249,94
			7	1	0,39	62,35	24,48	1826,71	2388250,74
				2	1,63	62,79	22,15	1826,71	2388250,7
				3	0,21	61,44	23,99	1826,71	2388250,81
				4	0,29	59,95	23,98	1826,71	2388250,92
				5	0,27	59,75	22,22	1826,71	2388250,93
				6	0,43	58,3	20,62	1826,71	2388251,04
				7	0,31	57,76	21,32	1826,71	2388251,09
			8	1	0,38	14,53	17,25	1826,72	2388254,37
				2	0,27	14,84	16,08	1826,72	2388254,34
				3	0,34	14,42	15,13	1826,72	2388254,38
				4	1,12	13,72	15,77	1826,72	2388254,43
				5	0,35	13,36	16,92	1826,72	2388254,46
				6	0,19	11,14	17,57	1826,72	2388254,62
				7	0,41	10,14	17,05	1826,72	2388254,7
				8	0,34	11,3	14,3	1826,72	2388254,61
				9	0,22	7,51	17,63	1826,72	2388254,9
				10	0,29	7,9	16,63	1826,72	2388254,87
				11	0,36	6,67	16,63	1826,72	2388254,96
				12	0,35	8,41	12,95	1826,72	2388254,83
				13	0,83	7,14	12,93	1826,72	2388254,93
				14	1,89	5,78	14,2	1826,72	2388255,03
				15	0,96	4,117	11,84	1826,72	2388255,16
4	1826 sept. 21	0	1	1	27,94	302,13	-16,68	1826,74	2388259,86
				2	0,24	299,84	-15,58	1826,74	2388260,04
			2	1	0,99	281,62	26,69	1826,74	2388261,42

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				2	0,98	280,51	29,11	1826,74	2388261,51
				3	0,21	279,13	27,36	1826,74	2388261,61
				4	0,07	278,35	27,03	1826,74	2388261,67
				5	0,28	274,45	26,24	1826,74	2388261,97
				6	0,2	273,28	26,86	1826,74	2388262,06
				7	0,36	272,03	27,26	1826,74	2388262,15
				8	0,46	271	26,7	1826,74	2388262,23
			3	1	0,53	210,59	14,75	1826,75	2388266,81
				2	0,96	208,58	16,16	1826,75	2388266,97
				3	1	205,05	16,93	1826,76	2388267,24
				4	0,62	195,47	18,52	1826,76	2388267,96
				5	0,63	193,82	17,72	1826,76	2388268,09
				6	1,36	191,79	16,71	1826,76	2388268,24
				7	18,93	183,83	14,53	1826,76	2388268,85
			4	1	14,65	80,34	27,7	1826,78	2388276,7
				2	0,51	78,18	26,49	1826,78	2388276,87
				3	0,99	76,34	28,21	1826,78	2388277,01
				4	2,05	76,22	25,52	1826,78	2388277,02
				5	0,1	74,76	25,63	1826,78	2388277,13
				6	0,87	74,43	23,97	1826,78	2388277,15
5	1826 octubre 18	8	1	1	11,29	287,43	-22,75	1826,81	2388288,31
				2	0,22	287,08	-24,78	1826,81	2388288,34
				3	0,2	283,46	-22,25	1826,81	2388288,62
				4	0,15	281,34	-21,71	1826,81	2388288,78
				5	0,06	280,66	-21,65	1826,81	2388288,83
				6	0,25	281,18	-23,26	1826,81	2388288,79
				7	0,82	278,7	-19,04	1826,82	2388288,98
				8	0,15	277,27	-19,4	1826,82	2388289,09
				9	0,17	278,98	-21,15	1826,82	2388288,96
				10	0,23	279,29	-23,5	1826,81	2388288,93
				11	2,52	276,82	-21,87	1826,82	2388289,12
				12	0,29	275,41	-22,84	1826,82	2388289,23
				13	0,37	275,44	-23,55	1826,82	2388289,22

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
			2	1	0,25	96,66	20,49	1826,85	2388302,8
				2	0,25	96,3	19,41	1826,85	2388302,83
				3	9,97	92,85	20,9	1826,85	2388303,09
				4	0,68	95,54	19,98	1826,85	2388302,88
				5	0,47	93,84	17,94	1826,85	2388303,01
				6	0,18	94,06	17,29	1826,85	2388303
				7	0,51	94,7	16,38	1826,85	2388302,95
				8	0,19	93,83	15,41	1826,85	2388303,01
				9	0,43	92,67	17,22	1826,85	2388303,1
				10	0,36	92,06	16,43	1826,85	2388303,15
				11	20,7	86,87	18,5	1826,85	2388303,54
6	1826 noviem 14	16	1	1	4,05	294,61	17,04	1826,89	2388315,1
				2	2,19	292,22	13,06	1826,89	2388315,28
				3	7,14	290,6	15,39	1826,89	2388315,41
				4	3,09	288,58	19,82	1826,89	2388315,56
				5	2,83	287,08	13,26	1826,89	2388315,67
				6	1,71	284,44	12,19	1826,89	2388315,87
			2	1	1,31	264,66	22,48	1826,89	2388317,38
			3	1	0,99	208,51	18,24	1826,90	2388321,64
			4	1	1,07	157,92	10,92	1826,92	2388325,48
				2	0,8	157,87	8,49	1826,92	2388325,48
			5	1	0,89	94,02	22,6	1826,93	2388330,33
			6	1	0,26	297,41	-18,15	1826,89	2388314,89
				2	0,22	296,47	-18,18	1826,89	2388314,96
				3	0,45	296,5	-19,25	1826,89	2388314,96
			7	1	0,25	291,88	-23,42	1826,89	2388315,31
				2	0,25	291,21	-22,65	1826,89	2388315,36
			8	1	5,98	277,94	-18,68	1826,89	2388316,37
				2	0,15	279,58	-21,8	1826,89	2388316,24
				3	0,27	278,99	-23,27	1826,89	2388316,29
				4	0,24	273,23	-19,28	1826,89	2388316,73
				5	0,3	273,11	-20,2	1826,89	2388316,73
				6	0,12	273,57	-20,83	1826,89	2388316,7

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				7	0,04	273,59	-21,24	1826,89	2388316,7
				8	3,88	268,26	-19,24	1826,89	2388317,1
				9	0,61	268,05	-20,82	1826,89	2388317,12
			9	1	7,3	59,46	-10,01	1826,94	2388332,96
				2	0,14	57,17	-8	1826,94	2388333,13
				3	0,32	55,8	-7,62	1826,94	2388333,23
				4	0,05	56,59	-8,52	1826,94	2388333,17
				5	0,1	56,38	-9,25	1826,94	2388333,19
				6	0,14	55,22	-9,46	1826,94	2388333,28
				7	0,21	54,21	-11,76	1826,94	2388333,35
				8	0,26	53,28	-7,87	1826,94	2388333,43
				9	0,06	53,67	-8,85	1826,94	2388333,4
				10	0,11	52,02	-7,93	1826,94	2388333,52
				11	0,1	52,44	-9,03	1826,94	2388333,49
				12	0,23	51,49	-9,47	1826,94	2388333,56
				13	0,36	50,01	-8,61	1826,94	2388333,67
				14	9,05	48,11	-6,75	1826,94	2388333,82
			10	1	4,62	4,16	-9,68	1826,95	2388337,15
				2	0,31	2,88	-8,25	1826,95	2388337,25
				3	0,21	2	-8,06	1826,95	2388337,32
				4	0,23	1,84	-9,09	1826,95	2388337,33
				5	0,18	1,03	-6,96	1826,95	2388337,39
				6	0,18	1,27	-7,85	1826,95	2388337,37
				7	0,22	0,79	-8,6	1826,95	2388337,41
				8	0,13	0,26	-6,79	1826,95	2388337,45
7	1826 diciembre 12	0	1	1	0,61	307,35	10,84	1826,96	2388341,47
				2	0,31	303,95	9,51	1826,96	2388341,73
				3	0,3	302,34	9,74	1826,96	2388341,85
				4	0,51	296,4	11,25	1826,96	2388342,3
				5	0,18	295,44	12,13	1826,96	2388342,37
				6	0,37	293,54	10,24	1826,96	2388342,52
				7	7,19	292,08	12,88	1826,96	2388342,63
			2	1	6,56	227,02	-12,26	1826,98	2388347,57

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
			3	1	0,17	218,94	-22,41	1826,98	2388348,18
				2	0,16	217,88	-22,4	1826,98	2388348,26
				3	0,19	216,27	-21,6	1826,98	2388348,38
				4	0,15	215,88	-22,64	1826,98	2388348,41
				5	0,54	215,62	-23,97	1826,98	2388348,43
				6	0,19	215,18	-25,07	1826,98	2388348,47
				7	0,25	214,15	-24,16	1826,98	2388348,54
				8	0,25	213,87	-22,15	1826,98	2388348,57
				9	0,12	213,01	-21,7	1826,98	2388348,63
				10	0,23	212,85	-22,69	1826,98	2388348,64
				11	9,86	217,53	-28,45	1826,98	2388348,29
				12	0,23	214,29	-28,18	1826,98	2388348,53
				13	0,37	212,65	-26,23	1826,98	2388348,66
			4	1	0,25	172,2	-20,62	1826,99	2388351,73
				2	0,33	171,35	-20,98	1826,99	2388351,79
				3	0,45	167,55	-19,92	1826,99	2388352,08
				4	1,05	163,7	-18,07	1826,99	2388352,37
			5	1	0,35	97,25	-22,7	1827,00	2388357,42
				2	0,29	96,3	-22,89	1827,00	2388357,49
				3	1,87	94,8	-21,82	1827,00	2388357,61
				4	0,72	94,77	-23,1	1827,00	2388357,61
				5	0,62	93,47	-22,86	1827,00	2388357,71
				6	0,52	92,83	-21,29	1827,00	2388357,76
				7	1,76	91,56	-22,47	1827,00	2388357,85
				8	9,27	87,06	-22,38	1827,00	2388358,19
				9	0,31	95,14	-25,63	1827,00	2388357,58
				10	1,1	94,23	-24,95	1827,00	2388357,65
				11	0,43	91,59	-25,89	1827,00	2388357,85
				12	0,47	90,19	-26,59	1827,00	2388357,96
				13	0,97	86,9	-24,97	1827,00	2388358,21
				14	0,08	85,76	-25,19	1827,00	2388358,29
				15	5,29	83,08	-25,52	1827,01	2388358,5
			6	1	7,33	4,44	14,07	1827,02	2388364,47

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
8	1827 enero 8	8	1	1	0,57	315,29	-11,94	1827,03	2388368,2
				2	0,57	313,88	-12,5	1827,03	2388368,31
			2	1	0,34	280,98	1,47	1827,04	2388370,8
				2	0,18	280,12	1,96	1827,04	2388370,87
				3	0,16	278,36	3,27	1827,04	2388371
				4	0,33	278,64	0,37	1827,04	2388370,98
				5	0,15	276,495	0,39	1827,04	2388371,14
				6	1,29	274,4	-1,01	1827,04	2388371,3
				7	0,41	273,66	0,1	1827,04	2388371,36
			3	1	0,71	120,39	-14,4	1827,07	2388383
				2	1,08	119,07	-15,9	1827,07	2388383,1
				3	0,63	116,28	-17,21	1827,07	2388383,31
				4	0,86	115,76	-18,56	1827,07	2388383,35
				5	0,36	107,82	-18,82	1827,08	2388383,95
				6	0,91	105,79	-19,63	1827,08	2388384,11
				7	0,22	107,94	-20	1827,08	2388383,94
				8	0,54	103,79	-19,63	1827,08	2388384,26
				9	0,83	104,27	-21,68	1827,08	2388384,22
			4	1	0,5	52,27	-8,69	1827,09	2388388,17
				2	0,2	50,94	-10,25	1827,09	2388388,27
				3	1,12	49,1	-9,43	1827,09	2388388,41
				4	0,4	47,88	-8,32	1827,09	2388388,5
				5	2,67	50,78	-13,18	1827,09	2388388,28
				6	1,33	41,5	-15,69	1827,09	2388388,99
			5	1	1,11	3,9	16,06	1827,10	2388391,84
				2	0,75	0,34	16,96	1827,10	2388392,11
				3	0,39	-1,15	17,9	1827,10	2388392,22
				4	0,38	3,11	13,8	1827,10	2388391,9
				5	0,33	0,04	14,25	1827,10	2388392,13
				6	0,19	1,62	11,34	1827,10	2388392,01
				7	0,47	-1,03	11,46	1827,10	2388392,22
				8	1,11	-0,15	9,58	1827,10	2388392,15
9	1827 febrero 4	16	1	1	1,37	357,51	-9,83	1827,10	2388392,33

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				2	0,2	355,59	-8,66	1827,10	2388392,47
				3	0,27	353,35	-8,39	1827,10	2388392,64
				4	0,64	351,16	-9,74	1827,10	2388392,81
				5	0,14	356,28	-11,66	1827,10	2388392,42
				6	0,23	355,26	-12,47	1827,10	2388392,5
				7	0,48	354,16	-12,91	1827,10	2388392,58
				8	0,41	352,22	-12,78	1827,10	2388392,73
				9	0,7	350,49	-12,34	1827,10	2388392,86
				10	0,93	346,79	-11,99	1827,10	2388393,14
				11	0,83	344,44	-11,28	1827,10	2388393,32
			2	1	8,24	294,71	-19,46	1827,11	2388397,09
			3	1	12,43	280,96	20,34	1827,11	2388398,14
				2	0,4	277,66	20,46	1827,11	2388398,39
				3	0,58	276,56	21,42	1827,12	2388398,47
			4	1	0,51	277,58	10,99	1827,11	2388398,4
				2	0,53	278,15	9,24	1827,11	2388398,35
				3	0,28	276,35	9,64	1827,12	2388398,49
				4	10,81	273,6	10,19	1827,12	2388398,7
			5	1	0,49	212,71	6,32	1827,13	2388403,32
				2	0,58	211,32	7,43	1827,13	2388403,43
				3	0,49	208,46	6,8	1827,13	2388403,64
				4	0,08	208,43	6,07	1827,13	2388403,65
				5	4,17	207,25	8,63	1827,13	2388403,74
			6	1	0,82	191,93	12,89	1827,13	2388404,9
				2	0,71	189,47	14,75	1827,13	2388405,08
			7	1	0,5	174,26	17,79	1827,14	2388406,24
				2	10,62	170,54	17,64	1827,14	2388406,52
			8	1	1,57	55,55	-21,84	1827,16	2388415,25
				2	0,72	54,27	-21,15	1827,16	2388415,35
				3	0,21	51,25	-20,38	1827,16	2388415,58
				4	0,66	48,17	-20,82	1827,16	2388415,81

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				5	0,39	46,67	-21,5	1827,16	2388415,93
				6	0,29	44,82	-21,27	1827,16	2388416,07
				7	2,96	45,9	-19,44	1827,16	2388415,99
				8	3,15	42,99	-20,21	1827,16	2388416,21
10	1827 marzo 4	0	1	1	0,62	345,18	-15,89	1827,18	2388420,6
				2	1,54	344,97	-14,01	1827,18	2388420,61
				3	4	343,29	-12,72	1827,18	2388420,74
				4	1,77	343,31	-14,77	1827,18	2388420,74
				5	1,32	341,41	-14,95	1827,18	2388420,88
				6	1,31	340,07	-13,78	1827,18	2388420,98
				7	1,75	339,36	-12,41	1827,18	2388421,04
			2	1	1,25	329,27	-3,37	1827,18	2388421,8
				2	0,87	327,81	-2,03	1827,18	2388421,91
				3	0,5	324,96	-2,32	1827,18	2388422,13
				4	0,41	323,85	-0,75	1827,18	2388422,22
				5	1,39	321,57	-3,6	1827,18	2388422,39
				6	0,24	316,86	-8,61	1827,18	2388422,75
				7	0,29	315,68	-7,7	1827,18	2388422,84
			3	1	0,46	314,12	26,1	1827,18	2388422,95
				2	0,68	312,66	26,2	1827,18	2388423,07
				3	0,71	309,89	22,48	1827,18	2388423,28
				4	1,05	305,94	22,59	1827,18	2388423,58
			4	1	1,52	215,38	8,8	1827,20	2388430,45
				2	0,85	213,5	10,55	1827,20	2388430,59
				3	0,75	212,36	11,43	1827,20	2388430,68
				4	0,89	213,07	8,83	1827,20	2388430,63
				5	0,78	211,47	9,58	1827,20	2388430,75
				6	0,71	210,54	10,76	1827,20	2388430,82
			5	1	0,45	213,72	-12,77	1827,20	2388430,58
				2	0,48	212,27	-12,06	1827,20	2388430,69
				3	0,43	211,63	-13,02	1827,20	2388430,74
				4	0,09	210,78	-11,73	1827,20	2388430,8
				5	2,14	208,26	-10,8	1827,20	2388430,99

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				6	7,3	205,08	-10,9	1827,20	2388431,23
			6	1	0,66	218,13	-25,91	1827,20	2388430,24
				2	0,32	216,83	-26,42	1827,20	2388430,34
				3	0,26	215,77	-26,58	1827,20	2388430,42
				4	0,42	216,88	-27,71	1827,20	2388430,34
				5	0,35	214,32	-24,6	1827,20	2388430,53
				6	0,32	213,24	-22,83	1827,20	2388430,61
				7	0,71	212,43	-23,75	1827,20	2388430,68
				8	0,29	211,32	-22,61	1827,20	2388430,76
				9	0,21	211,19	-24,41	1827,20	2388430,77
				10	2,04	209,9	-24,23	1827,20	2388430,87
				11	0,24	209,09	-22,93	1827,20	2388430,93
				12	0,36	208,13	-21,48	1827,20	2388431
				13	0,4	207,69	-20,43	1827,20	2388431,04
				14	0,4	207,69	-20,43	1827,20	2388431,04
				15	14,8	203,49	-20,26	1827,21	2388431,35
			7	1	0,7	162,52	-17,22	1827,21	2388434,46
				2	0,47	161,68	-18,83	1827,21	2388434,53
				3	0,95	159,43	-15,55	1827,21	2388434,7
				4	0,9	157,36	-15,72	1827,21	2388434,86
				5	0,93	160,02	-0,04	1827,21	2388434,65
			8	1	1,02	105,2	-7,14	1827,23	2388438,82
				2	0,57	104,3	-10,7	1827,23	2388438,88
				3	0,57	103,05	-10,23	1827,23	2388438,98
				4	4,15	102,35	-4,96	1827,23	2388439,03
				5	1,45	100,01	-2,71	1827,23	2388439,21
				6	1,09	98,55	-4,87	1827,23	2388439,32
				7	14,05	95,04	-3,62	1827,23	2388439,59
			9	1	0,64	69,02	-8,06	1827,23	2388441,56
				2	0,78	68,33	-6,87	1827,23	2388441,62
				3	0,56	67,01	-9,21	1827,23	2388441,72
				4	2,26	65,79	-8,22	1827,23	2388441,81
				5	0,54	64,04	-7,44	1827,23	2388441,94

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				6	8,96	61,2	-6,91	1827,23	2388442,16
			10	1	1,1	55,54	19,02	1827,24	2388442,59
				2	0,89	54,14	17,68	1827,24	2388442,69
				3	1,03	52,81	19,42	1827,24	2388442,79
				4	0,7	52,52	17,6	1827,24	2388442,82
				5	0,91	51,25	18,7	1827,24	2388442,91
				6	1,18	50,81	17,49	1827,24	2388442,95
				7	0,45	48,83	22,08	1827,24	2388443,1
				8	0,19	46,72	19,62	1827,24	2388443,26
			11	1	1,31	30,61	12,83	1827,24	2388444,48
				2	1,12	28,59	11,5	1827,24	2388444,63
				3	2,09	27,63	13,1	1827,24	2388444,71
				4	2,27	23,94	14,23	1827,24	2388444,99
				5	2,58	24,92	11,21	1827,24	2388444,91
			12	1	0,95	7,28	17,71	1827,25	2388446,25
				2	0,23	7,16	16,43	1827,25	2388446,26
				3	0,9	6,91	15,54	1827,25	2388446,28
				4	0,85	8,02	14,41	1827,25	2388446,2
				5	1,74	5,55	13,18	1827,25	2388446,38
				6	1,66	3,59	14,77	1827,25	2388446,53
			13	1	2,14	20,13	-14,42	1827,24	2388445,28
11	1827 marzo 31	8	1	1	1,29	318,33	-14,52	1827,26	2388449,97
				2	1,58	315,29	-14,31	1827,26	2388450,2
				3	2,03	315,25	-18,76	1827,26	2388450,2
				4	0,71	311,89	-16,74	1827,26	2388450,46
				5	1,39	311,19	-19,15	1827,26	2388450,51
				6	1,93	307,72	-17,1	1827,26	2388450,77
				7	0,49	308,73	-19,53	1827,26	2388450,7
			2	1	13,2	244,53	-20,9	1827,27	2388455,57
				2	0,44	240,51	-18,92	1827,27	2388455,88
				3	0,85	239,34	-20,54	1827,27	2388455,97
				4	10,24	237,18	-21,93	1827,27	2388456,13
				5	0,5	239,91	-12,81	1827,27	2388455,92

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
			3	1	1,64	215,51	-11,49	1827,28	2388457,77
				2	1,01	211,01	-10,54	1827,28	2388458,12
			4	1	0,84	215,63	-22,37	1827,28	2388457,77
				2	0,29	214,68	-21,29	1827,28	2388457,84
				3	0,47	214,19	-20,4	1827,28	2388457,87
				4	0,46	214,9	-23,38	1827,28	2388457,82
				5	0,57	213,73	-23,98	1827,28	2388457,91
				6	8,5	212,46	-23,33	1827,28	2388458,01
				7	0,34	210,23	-26,04	1827,28	2388458,18
				8	0,84	210,05	-24,59	1827,28	2388458,19
				9	4,99	209,13	-22,02	1827,28	2388458,26
				10	0,51	209,04	-20,37	1827,28	2388458,27
				11	0,7	208,39	-23,95	1827,28	2388458,32
				12	0,23	207,68	-20,82	1827,28	2388458,37
				13	4,35	206,12	-18,96	1827,28	2388458,49
				14	0,32	206,62	-20,82	1827,28	2388458,45
				15	0,25	205,48	-20,72	1827,28	2388458,54
				16	0,24	204,6	-20,31	1827,28	2388458,6
				17	0,84	205,26	-21,97	1827,28	2388458,55
				18	0,49	205,65	-23,08	1827,28	2388458,52
				19	0,44	204,49	-22,95	1827,28	2388458,61
				20	0,64	205,56	-24,28	1827,28	2388458,53
			5	1	0,76	104,38	26,16	1827,30	2388466,21
				2	1,41	101,87	27,23	1827,30	2388466,4
				3	0,61	104,17	22,45	1827,30	2388466,23
				4	0,62	103,41	23,08	1827,30	2388466,29
				5	0,69	102,5	23,32	1827,30	2388466,35
				6	2,01	100,04	24,29	1827,30	2388466,54
				7	7,96	93,81	26,09	1827,30	2388467,01
			6	1	0,38	99,42	13,99	1827,30	2388466,59
				2	0,48	98,93	14,74	1827,30	2388466,63
				3	0,63	98,58	15,54	1827,30	2388466,65
				4	8,76	97,77	17,91	1827,30	2388466,71

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				5	0,45	96,66	15,45	1827,30	2388466,8
				6	0,93	95,05	16,48	1827,30	2388466,92
			7	1	12,59	83,98	19,53	1827,30	2388467,76
12	1827 abril 27	16	1	1	2,21	355,25	-21,03	1827,32	2388474,5
				2	0,82	354,19	-19,25	1827,32	2388474,58
				3	0,64	351,14	-18,39	1827,32	2388474,81
				4	0,47	351,5	-20,59	1827,32	2388474,78
				5	0,47	351,08	-21,31	1827,32	2388474,81
				6	1,07	349,49	-18,98	1827,32	2388474,94
				7	1,95	346,63	-19,23	1827,33	2388475,15
			2	1	1,48	304,55	18,8	1827,33	2388478,35
				2	1,01	302	17,75	1827,33	2388478,54
			3	1	0,44	278,62	21,07	1827,34	2388480,32
				2	0,29	277,41	20,27	1827,34	2388480,41
				3	0,29	273,18	18,68	1827,34	2388480,73
				4	9,85	271,09	19,02	1827,34	2388480,89
			4	1	0,79	255,22	18,23	1827,34	2388482,09
				2	0,47	254,41	19,51	1827,34	2388482,15
				3	0,44	253,52	17,58	1827,34	2388482,22
				4	0,37	252,16	19,59	1827,34	2388482,33
				5	0,5	251,67	18,25	1827,34	2388482,36
				6	1,01	249,94	19,93	1827,35	2388482,49
				7	0,5	246,95	16,27	1827,35	2388482,72
				8	0,56	245,8	15,82	1827,35	2388482,81
			5	1	8,09	230,15	13,72	1827,35	2388484
			6	1	0,84	280,04	-3,15	1827,34	2388480,21
				2	1,21	280,82	-7,13	1827,34	2388480,15
				3	1,46	278,3	-8,05	1827,34	2388480,34
				4	1,61	274,82	-8,17	1827,34	2388480,6
			7	1	0,7	254,47	-4,16	1827,34	2388482,15
				2	0,4	253,58	-5,78	1827,34	2388482,22
				3	0,32	251,52	-3,8	1827,34	2388482,37
				4	0,27	250,97	-5,14	1827,35	2388482,42

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
			8	1	0,72	202,71	-3,89	1827,36	2388486,08
				2	0,54	200,81	-3,63	1827,36	2388486,22
				3	1	198,75	-1,88	1827,36	2388486,38
				4	0,96	198,25	-3,01	1827,36	2388486,42
				5	5,26	195,58	-1,21	1827,36	2388486,62
			9	1	0,81	187,59	14,95	1827,36	2388487,23
				2	6,9	185,99	13,17	1827,36	2388487,35
			10	1	0,68	172,18	27,09	1827,36	2388488,4
				2	1,96	171,39	24,16	1827,36	2388488,46
				3	6,12	167	22,86	1827,36	2388488,79
			11	1	1,06	121,77	-20,63	1827,37	2388492,23
				2	1,11	116,12	-19,55	1827,37	2388492,65
				3	0,5	116,95	-19,64	1827,37	2388492,59
			12	1	0,66	99,53	-14,15	1827,38	2388493,91
				2	0,63	98,79	-11,5	1827,38	2388493,97
				3	0,84	97,16	-15,33	1827,38	2388494,09
				4	0,47	95,87	-14,68	1827,38	2388494,19
				5	0,52	95,47	-16,16	1827,38	2388494,22
				6	1,27	94,82	-12,15	1827,38	2388494,27
				7	0,67	94,79	-14,31	1827,38	2388494,27
				8	0,74	93,82	-16,62	1827,38	2388494,35
				9	0,66	93,32	-13,02	1827,38	2388494,39
				10	0,91	93,36	-14,76	1827,38	2388494,38
				11	1,66	90,79	-14,73	1827,38	2388494,58
			13	1	6,01	74,33	17,57	1827,38	2388495,83
				2	3,4	71,44	14,87	1827,38	2388496,05
				3	0,94	65,8	17,98	1827,38	2388496,47
13	1827 mayo 25	0	1	1	1,43	342,58	19,9	1827,40	2388502,79
				2	1,22	341,28	19,06	1827,40	2388502,89
				3	0,69	340,04	17,48	1827,40	2388502,99
				4	2,1	338,19	18,55	1827,40	2388503,13
				5	0,42	338,62	17,44	1827,40	2388503,09
				6	0,47	335,59	18,63	1827,40	2388503,32

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				7	6,92	332,9	18,61	1827,40	2388503,53
				8	0,85	328,46	22,39	1827,40	2388503,87
			2	1	0,35	345,06	-16,04	1827,40	2388502,61
				2	1,07	344,83	-14,02	1827,40	2388502,62
				3	3,05	343,26	-12,82	1827,40	2388502,74
				4	1,1	343,26	-14,94	1827,40	2388502,74
				5	0,9	341,27	-15,16	1827,40	2388502,89
				6	0,53	340,02	-13,84	1827,40	2388502,99
				7	1,2	339,28	-12,53	1827,40	2388503,04
			3	1	0,42	257,92	13,42	1827,42	2388509,22
				2	0,3	256,82	14,71	1827,42	2388509,3
				3	1,21	255,16	13,44	1827,42	2388509,43
				4	1,25	250,79	13,75	1827,42	2388509,76
				5	0,45	247,88	14,29	1827,42	2388509,98
				6	0,84	245,91	14,18	1827,42	2388510,13
				7	1	243,88	14,24	1827,42	2388510,29
			4	1	0,58	120,8	16,75	1827,45	2388519,63
				2	0,5	120,36	13,85	1827,45	2388519,67
				3	0,29	119,56	16,88	1827,45	2388519,73
				4	0,32	119,34	14,81	1827,45	2388519,74
			5	1	2	124,52	-12,45	1827,45	2388519,35
				2	1,03	124,47	-10,57	1827,45	2388519,35
				3	1,09	123,25	-9,69	1827,45	2388519,45
				4	0,8	121,88	-8,86	1827,45	2388519,55
				5	0,96	119,65	-9,07	1827,45	2388519,72
				6	0,4	119,56	-10,92	1827,45	2388519,73
				7	0,19	118,42	-9,75	1827,45	2388519,81
				8	0,24	117,39	-11,83	1827,45	2388519,89
			6	1	0,35	84,56	-10,95	1827,45	2388522,38
				2	1,36	83,09	-11,28	1827,45	2388522,5
			7	1	0,41	60,63	19,47	1827,46	2388524,2
				2	0,4	56,83	18,35	1827,46	2388524,49
				3	0,51	56,37	19,29	1827,46	2388524,52

Periodo	Fecha Inicial	Hora	Grupo	Mancha	Superficie	Longitud	Latitud	Año	JD
				4	0,34	55,43	19,68	1827,46	2388524,6
				5	0,34	54,97	18,34	1827,46	2388524,63
				6	0,43	53,79	19,51	1827,46	2388524,72
				7	0,37	52,78	16,73	1827,46	2388524,8
				8	0,59	51,99	15,92	1827,46	2388524,86
				9	0,66	50,67	15,95	1827,46	2388524,96
14	1827 junio 21	8	1	1	1,82	77,136	13,56	1827,53	2388550,28
				2	0,42	76,04	14,77	1827,53	2388550,36
				3	0,31	75,1	15,21	1827,53	2388550,44
				4	6,08	73,93	13,49	1827,53	2388550,52
			2	1	6,27	58,28	-11,36	1827,53	2388551,71
				2	0,36	55,83	-10,78	1827,54	2388551,9
				3	0,22	54,72	-10,56	1827,54	2388551,98
				4	4,99	51,07	-11,69	1827,54	2388552,26
			3	1	1,18	27,63	-9,52	1827,54	2388554,04
				2	1,23	26,86	-7,99	1827,54	2388554,1
				3	0,29	25,8	-9,66	1827,54	2388554,18
				4	0,85	25,2	-7,54	1827,54	2388554,22
				5	0,17	25,03	-8,86	1827,54	2388554,24
				6	0,27	24,78	-9,64	1827,54	2388554,26
				7	5,55	22,95	-9,39	1827,54	2388554,39
			4	1	4,31	25,92	-16,28	1827,54	2388554,17
			5	1	2,51	9,45	-0,51	1827,55	2388555,42
				2	0,58	10,37	-4,01	1827,54	2388555,35
			6	1	0,41	10,24	-16,93	1827,54	2388555,36

Apéndice 3. Coordenadas de las manchas solares obtenidas por Carrington a partir de las observaciones de Soemmering.

	JD	Año	Latitud
1	2388198,5	1826,57	-23,91
2	2388200,5	1826,58	-19,72
3	2388204,5	1826,58	-21,74
4	2388207,5	1826,59	-21,66
5	2388207,5	1826,59	0,71
6	2388208,5	1826,60	-9,54
7	2388208,5	1826,60	-16,27
8	2388225,5	1826,64	13,13
9	2388228,5	1826,65	19,32
10	2388230,5	1826,66	-24,23
11	2388231,5	1826,66	18,24
12	2388246,5	1826,70	12,10
13	2388249,5	1826,71	8,77
14	2388253,5	1826,72	-9,00
15	2388256,5	1826,73	-24,01
16	2388257,5	1826,73	13,53
17	2388258,5	1826,73	26,11
18	2388267,5	1826,76	18,83
19	2388270,5	1826,76	20,16
20	2388273,5	1826,77	24,49
21	2388274,5	1826,78	-19,03
22	2388280,5	1826,79	10,79
23	2388285,5	1826,81	23,30
24	2388285,5	1826,81	-11,52
25	2388288,5	1826,81	-22,64
26	2388289,5	1826,82	19,26
27	2388297,5	1826,84	23,37
28	2388299,5	1826,84	-12,06
29	2388301,5	1826,85	-21,27
30	2388308,5	1826,87	-8,84
31	2388308,5	1826,87	2,31
32	2388308,5	1826,87	23,57

	JD	Año	Latitud
33	2388313,5	1826,88	-7,51
34	2388315,5	1826,89	22,31
35	2388317,5	1826,89	-11,28
36	2388323,5	1826,91	14,14
37	2388326,5	1826,92	15,90
38	2388328,5	1826,92	28,37
39	2388328,5	1826,92	-20,88
40	2388330,5	1826,93	17,21
41	2388331,5	1826,93	-20,67
42	2388332,5	1826,93	20,33
43	2388335,5	1826,94	20,92
44	2388338,5	1826,95	10,19
45	2388342,5	1826,96	-18,94
46	2388346,5	1826,97	-18,70
47	2388352,5	1826,99	13,05
48	2388352,5	1826,99	-20,08
49	2388353,5	1826,99	-8,64
50	2388354,5	1827,00	19,31
51	2388358,5	1827,00	14,63
52	2388362,5	1827,02	18,14
53	2388367,5	1827,03	-14,53
54	2388371,5	1827,04	-18,83
55	2388371,5	1827,04	18,13
56	2388372,5	1827,04	-14,59
57	2388384,5	1827,08	17,59
58	2388384,5	1827,08	5,89
59	2388384,5	1827,08	-10,76
60	2388386,5	1827,08	-18,53
61	2388390,5	1827,09	15,06
62	2388392,5	1827,09	-19,27
63	2388398,5	1827,11	-13,17
64	2388403,5	1827,13	13,06

	JD	Año	Latitud
65	2388405,5	1827,13	19,96
66	2388407,5	1827,14	10,25
67	2388409,5	1827,14	19,50
68	2388409,5	1827,14	13,10
69	2388412,5	1827,15	21,07
70	2388413,5	1827,15	-8,92
71	2388413,5	1827,15	10,79
72	2388413,5	1827,15	-15,32
73	2388417,5	1827,17	14,44
74	2388417,5	1827,17	-10,80
75	2388418,5	1827,17	16,76
76	2388418,5	1827,17	-17,87
77	2388421,5	1827,18	15,29
78	2388421,5	1827,18	-13,66
79	2388424,5	1827,19	-7,81
80	2388429,5	1827,20	-10,95
81	2388432,5	1827,21	-9,60
82	2388432,5	1827,21	21,26
83	2388432,5	1827,21	15,87
84	2388436,5	1827,22	21,12
85	2388436,5	1827,22	-7,68
86	2388436,5	1827,22	-18,09
87	2388438,5	1827,23	23,58
88	2388440,5	1827,24	-5,84
89	2388442,5	1827,24	-11,49
90	2388444,5	1827,25	-8,48
91	2388445,5	1827,25	15,64
92	2388448,5	1827,25	-9,02
93	2388448,5	1827,25	27,14
94	2388450,5	1827,26	17,60
95	2388450,5	1827,26	-12,71
96	2388451,5	1827,26	-7,73
97	2388452,5	1827,27	-16,98
98	2388456,5	1827,28	22,11
99	2388457,5	1827,28	-20,80

	JD	Año	Latitud
100	2388459,5	1827,29	15,87
101	2388460,5	1827,29	-21,54
102	2388464,5	1827,30	-20,54
103	2388466,5	1827,30	-9,56
104	2388470,5	1827,32	-15,01
105	2388472,5	1827,32	-20,85
106	2388473,5	1827,32	-9,90
107	2388473,5	1827,32	18,80
108	2388475,5	1827,33	-10,51
109	2388478,5	1827,34	-13,04
110	2388479,5	1827,34	13,56
111	2388479,5	1827,34	5,13
112	2388482,5	1827,35	24,21
113	2388484,5	1827,35	14,10
114	2388486,5	1827,36	-5,02
115	2388486,5	1827,36	15,77
116	2388487,5	1827,36	-24,59
117	2388488,5	1827,37	17,90
118	2388491,5	1827,37	26,91
119	2388491,5	1827,37	18,32
120	2388491,5	1827,37	-5,82
121	2388493,5	1827,38	-1,13
122	2388493,5	1827,38	29,11
123	2388498,5	1827,39	-16,09
124	2388499,5	1827,40	10,59
125	2388501,5	1827,40	-9,63
126	2388501,5	1827,40	18,65
127	2388504,5	1827,41	16,51
128	2388504,5	1827,41	-18,24
129	2388505,5	1827,41	-9,84
130	2388511,5	1827,43	24,79
131	2388515,5	1827,44	17,23
132	2388515,5	1827,44	-0,59
133	2388516,5	1827,44	-16,38
134	2388517,5	1827,44	16,43

	JD	Año	Latitud
135	2388517,5	1827,44	-20,92
136	2388518,5	1827,45	22,80
137	2388519,5	1827,45	-8,01
138	2388520,5	1827,45	12,80
139	2388523,5	1827,46	20,30
140	2388525,5	1827,46	10,42
141	2388525,5	1827,46	23,16
142	2388525,5	1827,47	-18,39
143	2388528,5	1827,47	-9,65
144	2388528,5	1827,47	11,60
145	2388529,5	1827,48	29,69
146	2388530,5	1827,48	14,98
147	2388532,5	1827,48	-9,71
148	2388532,5	1827,49	18,43
149	2388534,5	1827,49	-5,28
150	2388539,5	1827,50	25,26
151	2388539,5	1827,50	4,25
152	2388540,5	1827,51	15,29
153	2388540,5	1827,51	-21,65
154	2388543,5	1827,51	19,56
155	2388545,5	1827,52	8,00
156	2388549,5	1827,53	10,07
157	2388556,5	1827,55	17,71
158	2388556,5	1827,55	-8,31
159	2388558,5	1827,56	-0,36
160	2388560,5	1827,56	-14,64
161	2388562,5	1827,57	10,01
162	2388566,5	1827,58	28,53
163	2388566,5	1827,58	-10,00
164	2388567,5	1827,58	19,96
165	2388780,5	1828,16	28,74
166	2388782,5	1828,16	17,80
167	2388782,5	1828,17	22,68
168	2388787,5	1828,18	-15,23
169	2388790,5	1828,19	-21,07

	JD	Año	Latitud
170	2388790,5	1828,19	-9,98
171	2388791,5	1828,19	19,26
172	2388793,5	1828,20	-9,96
173	2388793,5	1828,20	18,14
174	2388794,5	1828,20	-6,99
175	2388796,5	1828,21	-9,17
176	2388798,5	1828,21	22,09
177	2388799,5	1828,22	-16,87
178	2388800,5	1828,22	-2,44
179	2388802,5	1828,22	11,20
180	2388806,5	1828,23	-4,22
181	2388807,5	1828,24	19,60
182	2388807,5	1828,24	30,46
183	2388808,5	1828,24	2,16
184	2388816,5	1828,26	18,37
185	2388817,5	1828,26	6,37
186	2388818,5	1828,27	30,48
187	2388822,5	1828,28	4,56
188	2388826,5	1828,29	-3,88
189	2388827,5	1828,29	10,23
190	2388827,5	1828,29	22,33
191	2388830,5	1828,30	14,53
192	2388834,5	1828,31	15,81
193	2388834,5	1828,31	-0,77
194	2388836,5	1828,32	21,22
195	2388838,5	1828,32	-17,29
196	2388840,5	1828,33	12,10
197	2388842,5	1828,33	27,89
198	2388842,5	1828,33	-7,00
199	2388843,5	1828,33	-1,11
200	2388844,5	1828,34	25,44
201	2388845,5	1828,34	-9,15
202	2388845,5	1828,34	17,09
203	2388845,5	1828,34	-2,57
204	2388848,5	1828,35	22,24

	JD	Año	Latitud
205	2388848,5	1828,35	-4,23
206	2388850,5	1828,35	25,45
207	2388851,5	1828,36	18,27
208	2388853,5	1828,36	-13,46
209	2388855,5	1828,37	-16,23
210	2388855,5	1828,37	13,81
211	2388857,5	1828,37	2,06
212	2388858,5	1828,38	-3,56
213	2388860,5	1828,38	21,36
214	2388860,5	1828,38	-0,21
215	2388861,5	1828,38	16,65
216	2388862,5	1828,39	-6,58
217	2388863,5	1828,39	15,13
218	2388863,5	1828,39	30,35
219	2388866,5	1828,40	10,31
220	2388867,5	1828,40	7,99
221	2388868,5	1828,40	-12,23
222	2388870,5	1828,41	-9,45
223	2388871,5	1828,41	26,61
224	2388872,5	1828,41	-0,46
225	2388874,5	1828,42	18,12
226	2388874,5	1828,42	21,55
227	2388875,5	1828,42	-0,94
228	2388876,5	1828,42	12,65
229	2388880,5	1828,44	-11,82
230	2388882,5	1828,44	-8,78
231	2388883,5	1828,44	16,23
232	2388885,5	1828,45	-8,76
233	2388885,5	1828,45	-7,75
234	2388886,5	1828,45	-6,99
235	2388888,5	1828,46	-8,79
236	2388888,5	1828,46	11,88
237	2388890,5	1828,46	-7,29
238	2388890,5	1828,46	20,41
239	2388891,5	1828,47	-5,74

	JD	Año	Latitud
240	2388894,5	1828,47	-10,38
241	2388895,5	1828,48	-14,55
242	2388895,5	1828,48	28,19
243	2388895,5	1828,48	-5,51
244	2388896,5	1828,48	16,00
245	2388897,5	1828,48	-17,71
246	2388898,5	1828,48	-4,32
247	2388899,5	1828,49	21,94
248	2388900,5	1828,49	-2,98
249	2388901,5	1828,49	-6,58
250	2388901,5	1828,49	10,15
251	2388902,5	1828,50	27,39
252	2388903,5	1828,50	-2,44
253	2388903,5	1828,50	22,82
254	2388904,5	1828,50	-9,44
255	2388906,5	1828,51	-7,07
256	2388906,5	1828,51	18,88
257	2388908,5	1828,51	13,12
258	2388911,5	1828,52	18,62
259	2388912,5	1828,52	27,34
260	2388916,5	1828,53	-7,06
261	2388917,5	1828,54	20,39
262	2388921,5	1828,55	-2,39
263	2388922,5	1828,55	-18,31
264	2388923,5	1828,55	-4,00
265	2388923,5	1828,56	6,23
266	2388924,5	1828,56	-19,90
267	2388926,5	1828,56	-19,71
268	2388926,5	1828,56	19,13
269	2388929,5	1828,57	-19,56
270	2388929,5	1828,57	17,46
271	2388933,5	1828,58	9,88
272	2388935,5	1828,59	-2,72
273	2388939,5	1828,59	4,55
274	2388939,5	1828,60	15,43

	JD	Año	Latitud
275	2388942,5	1828,60	18,08
276	2388942,5	1828,61	-6,79
277	2388945,5	1828,61	15,84
278	2388945,5	1828,61	-5,92
279	2388948,5	1828,62	-6,73
280	2388948,5	1828,62	16,02
281	2388949,5	1828,62	-15,07
282	2388950,5	1828,63	15,98
283	2388952,5	1828,63	15,06
284	2388952,5	1828,63	-16,59
285	2388953,5	1828,64	5,53
286	2388955,5	1828,64	17,01
287	2388957,5	1828,64	12,04
288	2388959,5	1828,65	-7,46
289	2388959,5	1828,65	10,29
290	2388962,5	1828,66	20,03
291	2388964,5	1828,67	-2,93
292	2388966,5	1828,67	11,53
293	2388966,5	1828,67	15,25
294	2388969,5	1828,68	16,15
295	2388969,5	1828,68	-8,82
296	2388972,5	1828,68	-0,65
297	2388972,5	1828,69	-9,30
298	2388973,5	1828,69	15,90
299	2388977,5	1828,70	20,47
300	2388978,5	1828,70	-12,11
301	2388981,5	1828,71	-9,05
302	2388982,5	1828,71	10,83
303	2388983,5	1828,71	-14,65
304	2388984,5	1828,72	11,34
305	2388987,5	1828,73	20,21
306	2388989,5	1828,73	-13,78
307	2388994,5	1828,75	-13,73
308	2388994,5	1828,75	12,96
309	2388998,5	1828,76	11,26

	JD	Año	Latitud
310	2389004,5	1828,77	12,61
311	2389008,5	1828,78	15,62
312	2389009,5	1828,79	-7,06
313	2389011,5	1828,79	17,51
314	2389012,5	1828,80	-7,00
315	2389014,5	1828,80	-0,62
316	2389014,5	1828,80	9,99
317	2389017,5	1828,81	14,01
318	2389019,5	1828,81	2,92
319	2389019,5	1828,82	-10,06
320	2389021,5	1828,82	15,05
321	2389022,5	1828,82	-0,98
322	2389024,5	1828,83	18,27
323	2389024,5	1828,83	0,45
324	2389027,5	1828,83	19,88
325	2389027,5	1828,84	11,26
326	2389027,5	1828,84	16,18
327	2389029,5	1828,84	9,25
328	2389032,5	1828,85	-0,64
329	2389035,5	1828,86	20,59
330	2389036,5	1828,86	28,80
331	2389036,5	1828,86	-5,19
332	2389039,5	1828,87	19,90
333	2389041,5	1828,87	10,02
334	2389041,5	1828,87	-3,46
335	2389041,5	1828,87	18,49
336	2389042,5	1828,88	-10,66
337	2389045,5	1828,89	-12,19
338	2389047,5	1828,89	8,43
339	2389047,5	1828,89	-0,96
340	2389050,5	1828,90	12,57
341	2389052,5	1828,91	-5,39
342	2389063,5	1828,93	19,06
343	2389065,5	1828,94	4,95
344	2389066,5	1828,94	17,50

	JD	Año	Latitud
345	2389067,5	1828,95	21,15
346	2389068,5	1828,95	-9,35
347	2389069,5	1828,95	24,61
348	2389071,5	1828,96	-12,68
349	2389071,5	1828,96	0,41
350	2389072,5	1828,96	13,57
351	2389072,5	1828,96	-18,94
352	2389073,5	1828,96	-13,48
353	2389077,5	1828,97	-17,34
354	2389078,5	1828,98	13,12
355	2389084,5	1828,99	7,67
356	2389089,5	1829,01	2,67
357	2389090,5	1829,01	-6,05
358	2389092,5	1829,01	17,83
359	2389092,5	1829,01	4,66
360	2389102,5	1829,04	18,83
361	2389103,5	1829,04	-8,11
362	2389103,5	1829,04	23,00
363	2389106,5	1829,05	-10,88
364	2389108,5	1829,06	5,26
365	2389109,5	1829,06	-13,15
366	2389114,5	1829,07	-9,56
367	2389115,5	1829,08	0,24
368	2389119,5	1829,09	20,14
369	2389120,5	1829,09	-21,01
370	2389121,5	1829,09	-13,81
371	2389121,5	1829,09	17,67
372	2389125,5	1829,10	15,51
373	2389125,5	1829,10	-20,43
374	2389125,5	1829,10	-4,12
375	2389130,5	1829,11	-8,29
376	2389132,5	1829,12	22,02
377	2389132,5	1829,12	-18,97
378	2389136,5	1829,13	-5,08
379	2389138,5	1829,14	20,41

	JD	Año	Latitud
380	2389142,5	1829,15	15,01
381	2389146,5	1829,16	-7,66
382	2389147,5	1829,17	-17,49
383	2389149,5	1829,17	-10,80
384	2389149,5	1829,17	15,00
385	2389150,5	1829,18	-5,99
386	2389155,5	1829,19	-8,07
387	2389157,5	1829,20	17,72
388	2389157,5	1829,20	-15,93
389	2389158,5	1829,20	-7,26
390	2389161,5	1829,21	-6,47
391	2389163,5	1829,21	15,90
392	2389163,5	1829,21	5,19
393	2389166,5	1829,22	10,77
394	2389168,5	1829,23	14,20
395	2389169,5	1829,23	3,67
396	2389170,5	1829,23	-0,39
397	2389172,5	1829,24	25,46
398	2389174,5	1829,24	22,54
399	2389174,5	1829,24	17,84
400	2389175,5	1829,24	-1,66
401	2389178,5	1829,25	17,23
402	2389180,5	1829,26	16,15
403	2389181,5	1829,26	-4,67
404	2389183,5	1829,26	21,98
405	2389184,5	1829,27	16,40
406	2389184,5	1829,27	-10,38
407	2389186,5	1829,27	-13,63
408	2389187,5	1829,28	-6,47
409	2389188,5	1829,28	19,24
410	2389191,5	1829,29	7,69
411	2389191,5	1829,29	11,33
412	2389194,5	1829,30	9,08
413	2389196,5	1829,30	13,73
414	2389198,5	1829,31	0,86

	JD	Año	Latitud
415	2389199,5	1829,31	-7,73
416	2389199,5	1829,31	9,58
417	2389200,5	1829,31	21,13
418	2389202,5	1829,32	22,01
419	2389204,5	1829,32	-0,86
420	2389205,5	1829,33	27,70
421	2389207,5	1829,33	16,39
422	2389208,5	1829,34	-16,28
423	2389210,5	1829,34	15,51
424	2389211,5	1829,34	20,51
425	2389211,5	1829,34	-6,56
426	2389212,5	1829,34	-2,16
427	2389214,5	1829,35	21,03
428	2389217,5	1829,36	19,29
429	2389222,5	1829,37	16,44
430	2389225,5	1829,38	16,03
431	2389229,5	1829,39	15,14
432	2389229,5	1829,39	25,68
433	2389232,5	1829,40	-4,04
434	2389234,5	1829,41	7,65
435	2389237,5	1829,42	25,15
436	2389240,5	1829,42	12,79
437	2389243,5	1829,43	10,43
438	2389245,5	1829,43	20,34
439	2389250,5	1829,45	11,17
440	2389250,5	1829,45	-3,92
441	2389253,5	1829,46	14,07
442	2389254,5	1829,46	4,47
443	2389256,5	1829,46	17,03
444	2389256,5	1829,46	-12,35
445	2389259,5	1829,47	-9,49
446	2389259,5	1829,47	12,96
447	2389260,5	1829,48	0,58
448	2389260,5	1829,48	16,35
449	2389262,5	1829,48	15,62

	JD	Año	Latitud
450	2389265,5	1829,49	0,54
451	2389265,5	1829,49	-13,15
452	2389265,5	1829,49	10,54
453	2389266,5	1829,49	29,40
454	2389267,5	1829,50	9,15
455	2389269,5	1829,50	12,74
456	2389269,5	1829,50	-14,49
457	2389270,5	1829,50	8,19
458	2389271,5	1829,51	19,56
459	2389274,5	1829,52	27,91
460	2389276,5	1829,52	12,30
461	2389277,5	1829,52	7,10
462	2389279,5	1829,53	-10,80
463	2389281,5	1829,53	29,87
464	2389282,5	1829,54	11,38
465	2389284,5	1829,54	-5,41
466	2389285,5	1829,55	-14,93
467	2389286,5	1829,55	12,21
468	2389289,5	1829,56	-9,65
469	2389289,5	1829,56	8,86
470	2389290,5	1829,56	26,51
471	2389292,5	1829,56	11,22
472	2389293,5	1829,57	18,93
473	2389293,5	1829,57	-13,95
474	2389294,5	1829,57	10,75
475	2389297,5	1829,58	-11,49
476	2389300,5	1829,58	5,40
477	2389301,5	1829,59	-10,24
478	2389305,5	1829,60	5,14
479	2389305,5	1829,60	13,43
480	2389308,5	1829,61	-13,97
481	2389309,5	1829,61	18,11
482	2389309,5	1829,61	-25,62
483	2389310,5	1829,61	23,12
484	2389311,5	1829,61	-30,12

	JD	Año	Latitud
485	2389313,5	1829,62	2,58
486	2389313,5	1829,62	-14,78
487	2389318,5	1829,63	26,73
488	2389318,5	1829,63	11,31
489	2389319,5	1829,64	-12,20
490	2389319,5	1829,64	-17,40
491	2389321,5	1829,64	-10,53
492	2389321,5	1829,64	24,38
493	2389323,5	1829,65	13,09
494	2389323,5	1829,65	4,82
495	2389325,5	1829,65	-18,28
496	2389327,5	1829,66	-8,45
497	2389327,5	1829,66	-16,11
498	2389327,5	1829,66	4,47
499	2389328,5	1829,66	16,37
500	2389339,5	1829,69	20,61
501	2389345,5	1829,71	-18,17
502	2389348,5	1829,72	-17,84
503	2389350,5	1829,72	12,31
504	2389352,5	1829,73	7,43
505	2389353,5	1829,73	-16,92
506	2389353,5	1829,73	14,01
507	2389354,5	1829,73	4,34
508	2389360,5	1829,75	-6,86
509	2389360,5	1829,75	14,64
510	2389360,5	1829,75	20,40
511	2389362,5	1829,75	10,52
512	2389363,5	1829,76	25,84
513	2389365,5	1829,76	14,74
514	2389369,5	1829,77	24,88
515	2389369,5	1829,77	-0,16
516	2389373,5	1829,78	-19,74
517	2389373,5	1829,79	20,30
518	2389374,5	1829,79	-6,50
519	2389376,5	1829,79	21,24

	JD	Año	Latitud
520	2389379,5	1829,80	-5,29
521	2389380,5	1829,80	13,19
522	2389382,5	1829,81	6,60
523	2389383,5	1829,81	24,33
524	2389387,5	1829,82	20,88
525	2389390,5	1829,83	14,62
526	2389394,5	1829,84	14,29
527	2389394,5	1829,84	-2,50
528	2389396,5	1829,85	-8,10
529	2389396,5	1829,85	23,11
530	2389397,5	1829,85	16,18
531	2389399,5	1829,85	-11,78
532	2389400,5	1829,86	18,74
533	2389402,5	1829,86	-10,73
534	2389403,5	1829,86	11,91
535	2389404,5	1829,87	-8,43
536	2389405,5	1829,87	15,96
537	2389406,5	1829,87	-17,02
538	2389406,5	1829,87	-4,47
539	2389407,5	1829,88	-9,66
540	2389408,5	1829,88	19,19
541	2389411,5	1829,89	-15,86
542	2389414,5	1829,90	10,13
543	2389415,5	1829,90	-11,55
544	2389420,5	1829,91	-12,64
545	2389426,5	1829,93	-9,74
546	2389429,5	1829,94	-7,15
547	2389429,5	1829,94	15,07
548	2389430,5	1829,94	-19,37
549	2389433,5	1829,95	22,81
550	2389434,5	1829,95	8,35
551	2389434,5	1829,95	-11,65
552	2389436,5	1829,96	17,40
553	2389436,5	1829,96	12,21
554	2389439,5	1829,96	13,35

	JD	Año	Latitud
555	2389441,5	1829,97	-5,44
556	2389446,5	1829,99	10,13
557	2389447,5	1829,99	-7,95
558	2389448,5	1829,99	25,04
559	2389450,5	1830,00	17,72
560	2389451,5	1830,00	-5,81
561	2389455,5	1830,01	-11,36
562	2389458,5	1830,02	-13,82
563	2389459,5	1830,02	-7,29
564	2390810,5	1833,72	8,22
565	2390816,5	1833,74	13,93

Apéndice 4. Coordenadas heliográficas de las manchas de los dibujos observados por Sestini en 1850.

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
1	1850,7198	2397020,2	24,8	-2,1	3,7	3,9
2	1850,7198	2397020,2	17,9	-5,2	-3,2	3,9
3	1850,7198	2397020,2	12,1	-7,0	-9,0	3,9
4	1850,7198	2397020,2	7,5	-6,8	-13,5	4,0
5	1850,7198	2397020,2	316,7	2,3	-64,3	9,0
6	1850,7198	2397020,2	313,4	3,9	-67,7	10,3
7	1850,7198	2397020,2	310,5	7,2	-70,5	13,2
1	1850,7225	2397021,2	23,3	-2,7	15,5	4,0
2	1850,7225	2397021,2	15,6	-5,1	7,8	3,9
3	1850,7225	2397021,2	11,4	-6,8	3,5	15,5
4	1850,7225	2397021,2	8,1	-7,2	0,2	15,5
5	1850,7225	2397021,2	318,2	6,6	-49,6	6,1
6	1850,7225	2397021,2	314,0	7,3	-53,8	6,7
7	1850,7225	2397021,2	310,3	10,1	-57,6	8,2
8	1850,7225	2397021,2	323,9	6,6	-44,0	5,5
9	1850,7225	2397021,2	337,9	5,7	-29,9	4,5
10	1850,7225	2397021,2	298,3	-7,2	-69,5	14,4
13	1850,7225	2397021,2	340,7	4,3	-27,1	4,4
1	1850,7252	2397022,2	22,4	-4,4	27,7	4,3
2	1850,7252	2397022,2	17,1	-6,6	22,5	4,2
3	1850,7252	2397022,2	11,7	-6,3	17,0	4,0
4	1850,7252	2397022,2	7,1	-6,5	12,5	7,9
5	1850,7252	2397022,2	322,7	6,6	-31,9	4,6
6	1850,7252	2397022,2	315,3	6,2	-39,3	5,0
7	1850,7252	2397022,2	310,8	11,1	-43,9	5,5
8	1850,7252	2397022,2	328,8	7,9	-25,8	4,3
9	1850,7252	2397022,2	337,0	4,2	-17,6	4,1
10	1850,7252	2397022,2	293,5	-6,7	-61,1	8,3
13	1850,7252	2397022,2	341,5	3,3	-13,1	4,0
14	1850,7252	2397022,2	287,0	-7,7	-67,7	10,9
1	1850,7280	2397023,2	23,2	-5,6	41,7	5,2
2	1850,7280	2397023,2	17,2	-8,8	35,7	4,8
3	1850,7280	2397023,2	13,1	-11,6	31,6	9,2

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
5	1850,7280	2397023,2	321,3	5,1	-20,2	4,1
6	1850,7280	2397023,2	314,8	6,9	-26,6	4,3
7	1850,7280	2397023,2	309,7	11,9	-31,7	4,7
9	1850,7280	2397023,2	337,4	4,8	-4,1	3,9
10	1850,7280	2397023,2	288,9	-7,4	-52,6	6,5
11	1850,7280	2397023,2	322,7	-15,4	-18,8	4,2
12	1850,7280	2397023,2	332,3	6,4	-9,2	3,9
13	1850,7280	2397023,2	341,8	4,0	0,4	3,9
14	1850,7280	2397023,2	280,9	-5,4	-60,6	7,9
1	1850,7307	2397024,2	23,4	-7,4	55,2	6,7
5	1850,7307	2397024,2	322,2	6,1	-6,1	23,3
6	1850,7307	2397024,2	316,9	6,2	-11,3	3,9
7	1850,7307	2397024,2	310,8	11,4	-17,5	4,1
9	1850,7307	2397024,2	337,3	3,2	9,0	3,9
10	1850,7307	2397024,2	296,8	-11,1	-31,4	4,7
11	1850,7307	2397024,2	321,7	-15,2	-6,6	4,0
12	1850,7307	2397024,2	331,7	6,9	3,4	3,9
13	1850,7307	2397024,2	341,2	3,5	12,9	4,0
14	1850,7307	2397024,2	289,4	-9,4	-38,9	5,0
1	1850,7335	2397025,2	22,0	1,4	66,9	0,0
5	1850,7335	2397025,2	319,2	1,5	4,1	3,9
6	1850,7335	2397025,2	313,1	1,6	-1,9	3,8
7	1850,7335	2397025,2	305,1	5,0	-10,0	3,9
9	1850,7335	2397025,2	333,5	3,2	18,4	4,0
10	1850,7335	2397025,2	297,4	-15,1	-17,6	4,2
11	1850,7335	2397025,2	324,9	-12,1	9,8	4,0
12	1850,7335	2397025,2	327,9	4,7	12,9	4,0
13	1850,7335	2397025,2	339,7	5,0	24,7	4,2
14	1850,7335	2397025,2	292,0	-12,2	-23,1	4,3
6	1850,7362	2397026,2	315,7	4,7	13,8	4,0
7	1850,7362	2397026,2	305,4	7,6	3,6	3,9
9	1850,7362	2397026,2	334,7	4,9	32,8	4,6
10	1850,7362	2397026,2	294,5	-12,5	-7,3	4,0
12	1850,7362	2397026,2	329,0	6,2	27,1	4,3
13	1850,7362	2397026,2	341,0	4,6	39,1	4,9

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
14	1850,7362	2397026,2	288,4	-9,5	-13,4	4,0
6	1850,7389	2397027,2	315,2	3,3	26,6	4,3
7	1850,7389	2397027,2	304,7	5,9	16,0	4,0
9	1850,7389	2397027,2	329,5	3,4	40,8	5,1
10	1850,7389	2397027,2	292,0	-12,9	3,3	4,0
12	1850,7389	2397027,2	321,9	5,3	33,2	4,6
13	1850,7389	2397027,2	335,2	2,5	46,5	5,6
14	1850,7389	2397027,2	287,3	-10,2	-1,4	3,9
15	1850,7389	2397027,2	259,8	16,1	-28,9	4,6
16	1850,7389	2397027,2	225,7	-11,5	-63,0	0,0
17	1850,7389	2397027,2	214,7	12,3	-74,0	14,4
6	1850,7417	2397028,2	312,0	0,3	36,5	9,6
7	1850,7417	2397028,2	303,0	2,5	27,6	4,3
9	1850,7417	2397028,2	325,4	2,0	49,9	6,0
10	1850,7417	2397028,2	289,7	-15,9	14,3	4,1
12	1850,7417	2397028,2	319,6	2,2	44,2	5,3
13	1850,7417	2397028,2	331,6	1,1	56,2	6,7
14	1850,7417	2397028,2	283,5	-11,9	8,1	4,0
15	1850,7417	2397028,2	261,3	16,2	-14,1	4,1
16	1850,7417	2397028,2	220,2	-11,2	-55,3	7,0
17	1850,7417	2397028,2	215,0	16,8	-60,4	8,3
6	1850,7444	2397029,2	314,9	4,9	52,6	6,2
7	1850,7444	2397029,2	305,9	6,0	43,6	5,3
9	1850,7444	2397029,2	327,3	5,2	65,0	0,0
10	1850,7444	2397029,2	293,6	-11,3	31,3	4,6
14	1850,7444	2397029,2	286,8	-8,4	24,5	4,3
15	1850,7444	2397029,2	261,3	12,8	-0,9	4,0
16	1850,7444	2397029,2	222,9	-15,7	-39,4	5,2
17	1850,7444	2397029,2	216,1	7,5	-46,1	5,6
18	1850,7444	2397029,2	200,4	-16,9	-61,9	8,6
6	1850,7472	2397030,2	310,2	1,3	61,1	7,9
7	1850,7472	2397030,2	301,4	2,9	52,3	6,2
9	1850,7472	2397030,2	323,6	0,3	74,5	14,0
10	1850,7472	2397030,2	291,0	-14,9	42,0	5,4
15	1850,7472	2397030,2	256,0	18,0	6,9	4,1

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
16	1850,7472	2397030,2	222,5	-8,9	-26,6	4,7
17	1850,7472	2397030,2	212,0	8,3	-37,1	4,9
18	1850,7472	2397030,2	190,8	-18,7	-58,3	7,7
10	1850,7499	2397031,2	294,2	-20,2	58,3	7,2
16	1850,7499	2397031,2	219,6	-11,7	-16,3	4,1
17	1850,7499	2397031,2	211,9	13,3	-23,9	4,2
18	1850,7499	2397031,2	190,0	-11,2	-45,9	5,0
10	1850,7526	2397032,2	289,4	-15,6	66,8	10,8
16	1850,7526	2397032,2	217,6	-13,1	-5,1	4,0
17	1850,7526	2397032,2	210,1	10,9	-12,6	4,0
18	1850,7526	2397032,2	190,5	-13,4	-32,2	9,3
19	1850,7526	2397032,2	197,8	-15,4	-24,9	4,4
16	1850,7554	2397033,2	221,4	-13,3	11,9	4,0
17	1850,7554	2397033,2	211,6	9,3	2,1	3,9
18	1850,7554	2397033,2	194,7	-15,4	-14,8	4,1
19	1850,7554	2397033,2	201,2	-15,7	-8,3	4,1
20	1850,7554	2397033,2	133,0	-6,4	-76,4	20,3
22	1850,7554	2397033,2	188,9	11,8	-20,6	0,0
16	1850,7581	2397034,2	216,8	-14,6	20,5	4,2
17	1850,7581	2397034,2	211,6	6,6	15,3	4,0
18	1850,7581	2397034,2	190,9	-12,5	-5,4	4,0
19	1850,7581	2397034,2	200,3	-15,4	4,0	4,0
20	1850,7581	2397034,2	129,5	6,7	-66,8	10,0
22	1850,7581	2397034,2	136,7	31,5	-59,6	0,0
24	1850,7581	2397034,2	212,0	-16,4	15,7	4,2
16	1850,7609	2397035,2	219,8	-10,2	36,7	4,9
17	1850,7609	2397035,2	211,0	11,9	27,9	0,0
18	1850,7609	2397035,2	192,1	-12,0	9,0	4,0
19	1850,7609	2397035,2	202,7	-14,4	19,6	4,2
20	1850,7609	2397035,2	132,3	-4,5	-50,8	18,4
22	1850,7609	2397035,2	139,8	19,9	-43,3	11,3
23	1850,7609	2397035,2	123,4	-15,9	-59,7	8,3
24	1850,7609	2397035,2	215,4	-12,4	32,3	4,6
16	1850,7636	2397036,2	219,4	-12,2	49,5	6,0
17	1850,7636	2397036,2	209,9	12,5	39,9	5,1

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
18	1850,7636	2397036,2	193,2	-13,5	23,3	4,3
19	1850,7636	2397036,2	203,4	-14,6	33,5	14,2
20	1850,7636	2397036,2	133,3	-6,2	-36,6	4,8
22	1850,7636	2397036,2	138,4	16,7	-31,6	4,7
23	1850,7636	2397036,2	121,0	-18,3	-48,9	6,1
24	1850,7636	2397036,2	214,2	-14,6	44,3	5,6
25	1850,7636	2397036,2	120,1	-5,0	-49,8	5,9
16	1850,7663	2397037,2	223,9	-15,0	67,1	10,1
18	1850,7663	2397037,2	192,9	-15,7	36,2	4,9
19	1850,7663	2397037,2	204,3	-19,2	47,6	6,1
20	1850,7663	2397037,2	130,4	-2,4	-26,3	4,2
22	1850,7663	2397037,2	137,6	21,1	-19,2	4,4
23	1850,7663	2397037,2	119,0	-12,1	-37,7	5,0
24	1850,7663	2397037,2	219,7	-18,3	63,0	8,7
25	1850,7663	2397037,2	120,9	-0,8	-35,8	4,8
18	1850,7691	2397038,2	190,0	-17,8	46,5	5,8
20	1850,7691	2397038,2	134,0	-5,4	-9,5	3,9
22	1850,7691	2397038,2	140,1	20,5	-3,4	4,1
23	1850,7691	2397038,2	118,5	-16,9	-25,0	4,4
25	1850,7691	2397038,2	122,7	-4,9	-20,8	4,1
18	1850,7718	2397039,2	190,6	-14,1	60,3	8,6
20	1850,7718	2397039,2	129,4	-3,4	-0,9	3,9
22	1850,7718	2397039,2	133,8	22,7	3,5	4,2
23	1850,7718	2397039,2	114,5	-15,6	-15,8	4,2
25	1850,7718	2397039,2	118,0	-2,1	-12,3	3,9
18	1850,7746	2397040,2	190,1	-21,3	73,0	14,1
20	1850,7746	2397040,2	129,9	-3,8	12,8	3,9
22	1850,7746	2397040,2	136,4	21,7	19,3	4,4
23	1850,7746	2397040,2	113,9	-14,6	-3,2	4,0
25	1850,7746	2397040,2	117,9	-1,4	0,8	3,9
26	1850,7746	2397040,2	54,9	21,3	-62,2	11,3
20	1850,7773	2397041,2	128,2	-5,8	24,3	4,2
22	1850,7773	2397041,2	137,6	21,2	33,7	4,9
25	1850,7773	2397041,2	117,2	-4,0	13,3	4,0
26	1850,7773	2397041,2	55,2	18,7	-48,8	6,3

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
27	1850,7773	2397041,2	129,9	-15,7	26,0	4,3
20	1850,7800	2397042,2	128,1	-6,6	37,3	4,8
22	1850,7800	2397042,2	131,3	18,9	40,5	5,3
25	1850,7800	2397042,2	115,2	-5,8	24,4	4,2
27	1850,7800	2397042,2	132,6	-17,6	41,8	4,9
28	1850,7800	2397042,2	12,6	-11,4	-78,2	13,6
20	1850,7828	2397043,2	127,5	-7,6	49,9	5,9
22	1850,7828	2397043,2	132,6	18,9	55,0	6,8
27	1850,7828	2397043,2	132,0	-18,6	54,4	6,8
28	1850,7828	2397043,2	26,6	-10,1	-51,0	6,7
20	1850,7855	2397044,2	126,1	-6,0	61,8	8,2
28	1850,7855	2397044,2	23,1	-12,9	-41,2	5,3
29	1850,7855	2397044,2	0,9	6,2	-63,4	8,4
30	1850,7855	2397044,2	81,5	13,4	17,1	4,1
28	1850,7883	2397045,2	25,8	-13,7	-25,4	4,4
29	1850,7883	2397045,2	357,7	3,6	-53,5	6,6
30	1850,7883	2397045,2	73,5	13,4	22,3	4,3
31	1850,7883	2397045,2	337,0	1,5	-74,2	14,5
32	1850,7883	2397045,2	17,7	-13,7	-33,5	4,7
28	1850,7910	2397046,2	23,6	-10,1	-14,4	4,0
29	1850,7910	2397046,2	356,9	8,4	-41,1	5,1
30	1850,7910	2397046,2	83,5	8,6	45,6	11,0
31	1850,7910	2397046,2	331,5	8,1	-66,5	9,8
32	1850,7910	2397046,2	15,6	-9,3	-22,4	4,2
33	1850,7910	2397046,2	338,5	-17,0	-59,5	7,9
28	1850,7937	2397047,2	21,9	-10,4	-2,9	3,9
29	1850,7937	2397047,2	359,0	10,3	-25,8	8,7
30	1850,7937	2397047,2	83,3	11,5	58,5	7,4
31	1850,7937	2397047,2	330,2	6,7	-54,6	6,5
32	1850,7937	2397047,2	13,2	-9,6	-11,6	0,0
33	1850,7937	2397047,2	339,1	-18,9	-45,7	5,9
34	1850,7937	2397047,2	326,5	4,8	-58,3	8,7
28	1850,7965	2397048,2	21,5	-8,3	9,9	3,9
29	1850,7965	2397048,2	359,6	8,7	-12,0	4,0
31	1850,7965	2397048,2	333,7	5,9	-38,0	4,9

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
32	1850,7965	2397048,2	12,3	-6,5	0,7	3,9
33	1850,7965	2397048,2	339,6	-17,6	-32,1	4,8
34	1850,7965	2397048,2	323,6	3,7	-48,1	5,8
35	1850,7965	2397048,2	306,8	-12,8	-64,8	9,3
28	1850,8020	2397050,2	20,1	-8,9	34,9	4,7
31	1850,8020	2397050,2	332,7	6,5	-12,5	4,0
32	1850,8020	2397050,2	11,0	-7,7	25,7	4,3
33	1850,8020	2397050,2	335,5	-15,8	-9,7	8,1
34	1850,8020	2397050,2	325,0	3,7	-20,2	4,1
35	1850,8020	2397050,2	304,1	-15,7	-41,1	5,2
28	1850,8047	2397051,2	25,7	-11,4	53,7	6,6
31	1850,8047	2397051,2	333,9	6,5	1,9	3,9
32	1850,8047	2397051,2	13,6	-10,5	41,6	5,2
34	1850,8047	2397051,2	324,7	4,4	-7,3	3,9
35	1850,8047	2397051,2	306,9	-14,4	-25,2	4,4
36	1850,8047	2397051,2	297,6	-19,2	-34,4	4,9
37	1850,8047	2397051,2	284,2	5,8	-47,9	5,6
28	1850,8074	2397052,2	18,1	-6,1	59,2	22,2
31	1850,8074	2397052,2	326,6	6,5	7,7	3,9
32	1850,8074	2397052,2	9,5	-7,7	50,6	6,0
34	1850,8074	2397052,2	317,8	4,0	-1,1	3,9
35	1850,8074	2397052,2	308,2	-16,0	-10,6	4,1
36	1850,8074	2397052,2	298,2	-18,9	-20,7	4,4
37	1850,8074	2397052,2	285,3	5,5	-33,6	4,6
31	1850,8102	2397053,2	323,5	4,2	17,8	4,0
32	1850,8102	2397053,2	9,4	-10,2	63,7	8,6
34	1850,8102	2397053,2	314,0	1,7	8,4	3,9
35	1850,8102	2397053,2	300,5	-12,6	-5,1	4,0
36	1850,8102	2397053,2	290,7	-16,2	-15,0	4,2
37	1850,8102	2397053,2	282,3	6,2	-23,4	4,5
38	1850,8102	2397053,2	289,2	5,5	-16,4	4,1
39	1850,8102	2397053,2	319,5	-15,7	13,8	4,1
31	1850,8129	2397054,2	328,9	7,2	36,5	4,8
34	1850,8129	2397054,2	319,0	5,2	26,5	4,3
35	1850,8129	2397054,2	302,0	-13,5	9,5	8,0

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
36	1850,8129	2397054,2	291,6	-16,5	-0,9	4,0
37	1850,8129	2397054,2	286,7	4,5	-5,8	23,5
38	1850,8129	2397054,2	290,2	2,6	-2,3	7,7
39	1850,8129	2397054,2	321,3	-14,9	28,8	4,6
40	1850,8266	2397059,2	211,6	-15,6	-14,9	4,2
41	1850,8266	2397059,2	194,8	-14,0	-31,8	4,7
42	1850,8266	2397059,2	169,4	-12,4	-57,2	7,3
43	1850,8266	2397059,2	201,3	-15,2	-25,2	4,4
40	1850,8294	2397060,2	209,6	-15,9	-3,7	4,0
41	1850,8294	2397060,2	193,7	-14,0	-19,7	4,2
42	1850,8294	2397060,2	167,5	-12,0	-45,9	5,7
43	1850,8294	2397060,2	200,5	-17,1	-12,9	4,1
40	1850,8321	2397061,2	206,1	-13,3	5,9	4,0
41	1850,8321	2397061,2	189,4	-12,6	-10,8	4,0
42	1850,8321	2397061,2	168,8	-13,0	-31,4	4,6
44	1850,8321	2397061,2	193,8	-16,2	-6,4	4,0
40	1850,8348	2397062,2	206,5	-13,3	19,5	4,2
41	1850,8348	2397062,2	190,9	-12,0	3,9	3,9
42	1850,8348	2397062,2	167,8	-12,1	-19,2	4,2
44	1850,8348	2397062,2	194,7	-14,9	7,7	4,0
45	1850,8348	2397062,2	128,3	-14,7	-58,7	7,9
40	1850,8376	2397063,2	202,4	-15,5	28,6	4,5
41	1850,8376	2397063,2	188,7	-14,3	14,9	4,1
42	1850,8376	2397063,2	163,3	-10,5	-10,5	4,0
44	1850,8376	2397063,2	192,6	-16,6	18,8	4,3
45	1850,8376	2397063,2	121,1	-10,5	-52,7	5,6
40	1850,8403	2397064,2	204,5	-8,3	43,8	5,3
41	1850,8403	2397064,2	190,0	-8,9	29,4	4,5
42	1850,8403	2397064,2	163,3	-6,1	2,6	3,9
44	1850,8403	2397064,2	194,9	-10,4	34,3	4,7
45	1850,8403	2397064,2	120,4	-15,4	-40,2	5,2
40	1850,8431	2397065,2	203,5	-15,2	56,0	6,8
41	1850,8431	2397065,2	188,9	-15,2	41,4	5,2
42	1850,8431	2397065,2	164,1	-8,9	16,7	4,0
44	1850,8431	2397065,2	194,0	-17,4	46,5	5,6

Nombre	fecha	JD	L°	B°	A°	Área 10 ⁻⁶
45	1850,8431	2397065,2	125,8	-14,6	-21,7	4,3
46	1850,8431	2397065,2	153,2	-4,7	5,7	3,9
47	1850,8431	2397065,2	158,4	-5,6	11,0	3,9
48	1850,8431	2397065,2	155,3	-8,1	7,8	3,9
40	1850,8458	2397066,2	204,6	-18,2	70,4	11,4
41	1850,8458	2397066,2	189,9	-17,7	55,7	7,0
42	1850,8458	2397066,2	163,7	-14,5	29,5	4,6
44	1850,8458	2397066,2	204,6	-21,9	70,4	8,1
46	1850,8458	2397066,2	153,5	-9,6	19,3	4,1
47	1850,8458	2397066,2	159,0	-10,6	24,7	8,5
48	1850,8458	2397066,2	154,7	-13,5	20,4	4,2

Apéndice 5. Artículo de Oriani traducido del latín.

Observaciones de Manchas del Sol del año 1778, realizadas en Espejo Astronómico de Milán

Por Barnaba Oriani

Los primeros Observadores de las manchas del Sol, Galileo y Scheiner, discutieron sobre si aquellas estaban o no adheridas al globo; Según Scheiner, seguidor de los principios de la Escuela Aristotélica, no era posible que el Sol estuviera contaminado de manchas, de donde aquel en un primer momento (1) sospechó que entre el Sol y Mercurio se hallaban otros planetas que eran vistos por nosotros como si fueran manchas cuando atravesaban el disco del Sol en la conjunción inferior de ellos; en cambio, Galileo, que había ya echado abajo el peripatético Cielo duro e inmutable (2) con razonamientos inmutables, refutó las conjeturas de Scheiner, tras buscar sólidos argumentos acerca de la naturaleza del movimiento de las manchas y muestra además con rigor geométrico que todas las manchas recorren bien el ecuador del Sol, bien los paralelos que distan de su diámetro, deben recorrerlo en el mismo espacio o en un espacio de tiempo apenas desigual (3), a partir de lo cual concluye en primer lugar que las manchas del Sol están fijas a la superficie, o que fluctúan en alguna atmósfera, cuya altitud es muy pequeña con respecto al semidiámetro del Sol, en segundo lugar que el movimiento común de ellas muestra la rotación del Sol sobre su propio eje. Scheiner abrazó esta misma teoría, multiplicadas luego las observaciones, y, avanzando más lejos, determinó el tiempo de rotación, la inclinación del ecuador solar a la eclíptica y la latitud sobre el ecuador del polo.

Posteriores Astrónomos hasta Cassini dejaron intactas las observaciones de Scheiner y se dedicaron sólo a la variación de los helioscopios o heliotropios para que, más fácilmente y con mayor veracidad, la imagen del Sol y sus manchas fueran dibujadas en una carta de DD. Cassini y De La Hire, y, tras éstos D. de L'Isle, ofrecieron más abundantes observaciones de las manchas y más exactas, aquéllos en las *Actas de la Academia Real de las Ciencias Parisinas* casi en los últimos años del siglo anterior y en los primeros de nuestro siglo, éste en la obra *Memorias para servir a la Historia y al progreso de la Astronomía, de la Geografía y de la Física en San Petersburgo, 1738*. Este último expuso además dos métodos distintos en los que la posición y los movimientos de las manchas pueden ser determinados gráficamente, uno, sin duda, por la proyección ortográfica, otro por la estereográfica, a los que añadió uno tercero más preciso que dependía simplemente de la trigonometría esférica. Pero cada uno apoyándose en la hipótesis de que las manchas se supone que se adhieren a la superficie del Sol, apenas cambiaron los elementos establecidos por Scheiner.

Después, los astrónomos unieron casi todas las observaciones de las manchas, unas a otras, que sería muy trabajoso enumerarlas una por una. Entre nuestras observaciones más recientes, D. Zucconi publicó en el año 1760, una observación completa de las observaciones, recomendable incluso por el lujo tipográfico, en su obra *Sobre la estructura y el uso del Heliómetro*. Pero las observaciones de este tipo fueron hechas por método indirecto, sin duda reflejando en papel la imagen del sol con ayuda de una máquina heliotrópica o paraláctica; por lo que, la imagen misma del Sol es tan estrecha que apenas pudieron ser evitados en la posición de las manchas errores de 15 o 20 minutos. El diámetro, por ejemplo, de la primera imagen, que corresponde al día 23 de Abril del 1754 es de tres pulgadas con dos décimas de pie Londinense, entonces el diámetro del tiempo del Sol era 31'50", por lo que en esta imagen 15" equivalen a 1/40 pulgadas, error que incluso el propio autor confiesa que es inevitable en la delineación,

por no decir nada de la contracción desigual del papel en la impresión de las figuras. Las observaciones de otros astrónomos, que se encuentra repartidas en sus trabajos astronómicos, fueron llevadas a cabo con los mejores telescopios y micrómetros, y mirando directamente el Sol, pero como éstas son tan pocas en número, que si algunos introdujeron en aquellas errores bien del instrumento o del observador, o incluso si la mancha además del movimiento común con otras, tiene también otro movimiento propio suyo, no será distinguido tan fácilmente. Errores de este tipo no serán eliminados a no ser por las observaciones repetidas de la mancha misma y de otras concurrentes. ¿Puesto que en este asunto resultan, a partir de errores muy pequeños, discrepancias muy sensibles, de las cuales algunos quizás demasiado precipitadamente quisieron inferir el progreso o el retroceso de los nodos del ecuador Solar?.

Además aún está vigente entre los Físicos (4) la cuestión de si el Sol está rodeado por la atmósfera, en la que flotan las manchas. Es evidente que la solución más exitosa está reservada a los Astrónomos Geométricos para ellos muy clara, que Galileo indica más arriba. Nadie, en efecto, estará de acuerdo quizás con el Astrónomo D. Bernoulio, R^o de Verona, que parece opinar que la fórmula demostrada por D. Alberto Euler en Nuevos Comentarios de la Academia Imperial Petropolitana Tomo XII. resuelve analíticamente el problema. Con la precisión y la claridad propias, sin duda, de Euler, según la cual, de las tres observaciones de la misma mancha son averiguados el tiempo de rotación del Sol y la localización del polo del ecuador Solar; y acepta el semidiámetro del Sol que aparece o que aparenta ser incluso mayor y hasta la mancha prolongada. Cuando, sin duda, la desviación del semidiámetro está clara, la distancia de las manchas desde la superficie del Sol es manifiesta; sin embargo, no puede estar clara a no ser por acuerdo del intervalo del tiempo de la primera a la segunda observación, con el intervalo de la primera a la tercera, de modo que, si estos intervalos individuales de tiempo se juntan con los espacios recorridos por la mancha y definidos mediante la fórmula, presenten el mismo tiempo periódico de rotación del Sol. Ahora bien, un acuerdo de este tipo puede ser conseguido por varias hipótesis del semidiámetro del Sol. Pero ¿quién no ve que estas suposiciones pueden igualmente hacerse, cuando cualquier otro método bien analítico como es aquel de DD. Kestneri y de Silvabelle, o bien geométrico como es aquel de DD. De L'Isle, Haufenio, Pezenas, Boscovich es considerado en uso?

Así pues, si a algún geómetra cultivador de la Astronomía le pareció bien tomar a su cargo la resolución directa del problema de la distancia de las manchas de la superficie del Sol, o si algún amante del cálculo astronómico por medio de un método indirecto estimó oportuno probar la misma resolución señalada por el antes mencionado D. Euler, y al mismo tiempo, quiere confirmar inmutables por algún tiempo o corregir los elementos de rotación del Sol establecidos por Scheiner y por los siguientes Astrónomos, éste encontrará en la exposición de las observaciones posteriores las cosas que son necesarias para examinar esta cuestión.

Las observaciones mismas fueron establecidas durante el pasado año 1778, época en la que la frecuencia de las manchas favorecía muy oportunamente el intento; además de la delineación de cada una, que aquí no se muestra por las razones aducidas más abajo, la posición de éstas era definida en el disco del Sol con un micrómetro de hilos de un tubo acromático de 5 pies de largo. El tubo está colocado en un sector ecuatorial de Londres construido por D. Sisson, encargándose de ello el astrónomo real Grenovicense D. Maskelyne y su descripción puede ser vista en *Efemérides Astronómicas Milanesas* del año 1778. Antes de utilizar aquel, yo había determinado para la práctica su posición mediante observaciones repetidas de las dos estrellas fijas *Capellae* y *Aldebaran*, y encontré que el eje del instrumento prolongado hacia el norte

no se encuentra en absoluto con el polo del Ecuador de la Tierra, sino que se desvía de aquel hacia oriente 20" del arco del círculo horario hacia el meridiano perpendicular del Observatorio, ya del arco del círculo de declinación, que con el meridiano hace un ángulo de seis horas, entonces es más bajo que el polo del Ecuador 58" del arco del meridiano. Sin embargo, estas diferencias no se oponen a la exactitud de las observaciones debido a su pequeñez y, además, porque casi todas las observaciones se hicieron alrededor del mediodía, cuando sólo puede tener lugar el error de declinación, pero éste es evitado asumiendo no la declinación absoluta de las manchas sino sólo la diferencia de la declinación entre las mismas y el borde superior del Sol.

El método de observación era el siguiente: dirigido el tubo al Sol y afirmado el instrumento con tornillos de modo que el centro del Sol recorriera el hilo paralelo al ecuador, yo calculaba mediante las oscilaciones del péndulo que estaba cerca, los minutos y los segundos que se interponían entre la llegada del primer borde del Sol al hilo horario y la llegada de la primera, segunda, tercera y cuarta mancha hasta el mismo hilo; luego, aflojados los tornillos, restablecía el Sol delante del hilo horario, enrasando el hilo horario del limbo en su borde superior paralelo al ecuador. Conducido el índice micrométrico desde arriba, yo movía en declinación el tubo con la fuerza del tornillo micrométrico de modo que el hilo ecuatorial avanzara sobre el Sol hasta las manchas y hasta el borde inferior del Sol, asignaba las revoluciones del micrómetro recorridas y las partes de la revolución a cada mancha antes anotada. A partir del número de las partes del micrómetro contenidas en todo el diámetro inmediatamente hacía juicios sobre la exactitud de la observación, pero si algo dudoso surgía, repetía la observación. Cuando las manchas eran pocas en número o distaban entre sí, permaneciendo el instrumento inmóvil, anotaba los minutos y segundos, y movía el tornillo del micrómetro al mismo tiempo. Si la mancha era muy grande, observaba la aproximación de los bordes de ella para obtener con más exactitud el tránsito del centro y medir al mismo tiempo la magnitud de la misma.

En el mismo orden en que las observaciones fueron realizadas, serán descritas aquí, esto es la primera columna contiene los días del mes, la segunda las horas y los primeros minutos de la observación del tiempo verdadero, la tercera los números romanos, con los que es designada cualquier mancha; a los números romanos a menudo son añadidos otros números comunes arábigos para designar otras manchas que rodean a las principales, así, por ejemplo, el día 20 de junio, una de las manchas más importantes es designada con el número II, otra que la rodea y es menor es señalada con el signo 2II, otras dos próximas a esta y también menores son señaladas con los signos (1)2II y (2)2II; en esta columna también aparece el signo * para indicar el diámetro del Sol. Después que algunas manchas entraron en el hemisferio invisible del Sol, los signos de aquellas se repiten de nuevo sirven para indicar otras nuevas manchas. Si alguien desea reconocer el regreso de aquellas al hemisferio visible, podrá utilizar el método de proyección que dio D. Lambert en las *Ephemeridibus Astronomicis Berolinensibus* del año 1780. La columna cuarta contiene la diferencia de tiempo entre el tránsito del primer borde del Sol y el centro de cualquier mancha expresada en minutos y segundos y las partes decimales de aquellos, la última diferencia de cada día marcada con el signo* expresa el tiempo del paso del diámetro del Sol por el Meridiano. La quinta columna contiene la diferencia de declinación entre el borde superior del Sol y el centro de cualquier mancha expresada en partes de micrómetro; la última diferencia de declinación desde la región es aquella de la señal *, que se interpone entre el borde superior del Sol y el inferior. Por último, en la sexta columna se anotan las

circunstancias de las observaciones y las apariencias en la figura y en el movimiento de las manchas.

Yo quería añadir otras dos columnas, en la primera de las cuales se contienen las manchas mismas pintadas, pero la dificultad de la exacta impresión y la gran cantidad de manchas han aumentado el valor de esta columna hasta el punto de que me he visto obligado a omitir aquella; sin embargo, suplí en la sexta columna este defecto, cuanto pude, describiendo allí las cosas que yo observaba con respecto a la formación de aquellas, el orto, la forma y el recorrido de cada día. Además omití las figuras mismas muy gustosamente porque nada o poco iban a ser útiles a la cuestión de la distancia de las manchas desde la superficie del Sol resuelta geométrica o analíticamente, sino que tan solo podían dar motivo a los Físicos para disputar sobre la naturaleza de ellas y del Sol. Por el mismo motivo las *fáculas* o *espacios más brillantes* del Sol (7) que yo veía todos los días alrededor del primero y segundo borde del Sol, especialmente las nubes similares a halones de manchas entre las manchas observadas, no examiné; en efecto siempre eran irregulares por su forma y errantes por el movimiento, y raramente eran distinguidas a ojo alrededor del centro del Sol.

La otra columna que omití en la tabla de observaciones, será encontrada al final de las mismas observaciones distribuida en dos, la primera contiene el Seno, la segunda el Coseno del ángulo de la posición del Sol expresados en partes decimales de radio. En esta tabla, a partir de las diferencias dadas mediante la observación de la ascensión recta y declinación entre el centro del Sol y las manchas se obtienen muy fácilmente la longitud y la latitud geocéntrica. En efecto, sea el ángulo de la posición del Sol = p y la diferencia de la ascensión recta entre la mancha y el centro del Sol = α , la diferencia de declinación entre la mancha y el centro del Sol = δ ; la diferencia de longitud entre el centro del Sol y la mancha será

$$= \alpha \cos p \pm \delta \sin p$$

y la latitud de la mancha

$$= \delta \cos p \pm \alpha \sin p$$

En las observaciones hechas antes del día 21 de Junio, vale el signo más en relación a estas manchas que están contenidas entre el primer borde y el centro del Sol y que están más al norte que el centro del Sol, con relación a aquellas que están contenidas entre el centro y el segundo borde del Sol y están más al sur que el centro del Sol, pero en relación con las otras manchas vale el signo menos. En las observaciones del día 21 de Junio y en las otras que le siguen sucede lo contrario.

Búsquense, por ejemplo, la longitud postmeridiana del día 24 de Junio a la hora 5ª y la latitud de la mancha 6II, apareciendo entonces su distancia desde el disco del sol.

Puesto que el movimiento de las manchas alrededor de los bordes del Sol es desigual, mediante una simple parte proporcional no se tiene la exacta posición de aquellas sino que conviene introducir al menos unas diferencias secundarias, sea averiguada por la interpolación. Así pues, la diferencia de la ascensión recta en el tiempo entre la mancha y el primer borde del Sol

Día 24 Junio 0.0' es 16".0	Difer. 1ª	Difer. 2ª
	-8.5	

Día 25 Junio 0.30 es 7.5		
	-4.5	+4''
Día 26 Junio 0.20 es 3.0		

A partir de estos datos, la diferencia dicha de la ascensión recta en el tiempo, que tendrá lugar el día 24 de Junio a la 5ª hora será $= 16''.0 - 0.20 \cdot 8''.5 + 0.01 \cdot 4'' = 14''.3$; la misma multiplicada por el coseno de la declinación del Sol y convertida en arco del ecuador es $= 3'15''$. Esta última reducción se hace más fácil por la analogía $138'': 31'31'' = 14''.2 : 3'15''$, en la que el primer término es el diámetro del Sol observado en tiempo, el segundo es el diámetro del Sol en arco del ecuador, y extraído de la tabla II, el tercero es la diferencia entre el paso del primer borde del Sol y el centro de la mancha; el cuarto será la diferencia de ascensión recta entre el primer borde y la mancha. Y como el semidiámetro del Sol es $= 15'45''.5$ haciendo la misma diferencia entre el centro del Sol y la Mancha $= 15'45''.5 - 3'15'' = 12'30''.5 = 750''.5 = \alpha$.

Del mismo modo, la diferencia de declinación entre la mancha y el borde superior del Sol el 24 de Junio a 5ª es 870 partes de micrómetro, ya que aquella apenas cambia del 24 al 25; por lo que, en la tabla III, convirtiendo las partes del micrómetro en minutos y segundos del arco del círculo máximo

$$800 \text{ partes dan } 13'29''.4$$

$$70 \text{ partes dan } 1'10''.8$$

La diferencia de declinación será $= 14'40''.2$, y así será $15'45''.5 - 14'40'' = 65''.5 = \delta$. De donde la diferencia buscada de la longitud entre el centro del Sol y la mancha es =

$$750''.5 \cdot 0.99972 + 65''.5 \cdot 0.02345 = 751''.8 = 12'31''.8 \text{ y la latitud de la mancha} = 65''.5 \cdot 0.99972 - 750''.5 \cdot 0.02345 = 47''.9.$$

Del mismo modo la distancia parente de la mancha desde el centro del disco del Sol será $= \sqrt{(\alpha\alpha + \delta\delta)} = 753''.4 = 12'.33''.4$.

Esta distancia de la mancha al centro del disco del Sol, o si la elongación geocéntrica suele ser convertida en elongación heliocéntrica, cuando el movimiento de las manchas es calculado de acuerdo con las reglas geométricas o analíticas conocidas hasta ahora. Pero puede conseguir esto aquel método que utilizan los Astrónomos para encontrar la longitud heliocéntrica del planeta a partir de datos geocéntricos. Efectivamente la cuestión se reduce a la determinación de un ángulo en un triángulo rectilíneo, cuyos dos lados son conocidos, uno el semidiámetro del Sol, si se supone que las manchas están adheridas a la superficie del Sol, si el semidiámetro de la esfera que excede más o menos el globo del Sol por la diversa suposición de la distancia de las manchas desde la superficie del Sol, el otro lado conocido es la distancia de los centros de la Tierra y el Sol y el ángulo igualmente conocido es el que se opone al primer lado conocido y es la elongación geocéntrica de la mancha, o si la distancia de la mancha se muestra desde el centro del disco del Sol. La elongación heliocéntrica puede encontrarse incluso mediante la fórmula

$$\sin(S + T) = \frac{\sin T}{\sin R},$$

o por la pequeñez de los ángulos R y T, $\text{Sen}(S+T) = T/R$, en la que R es el semidiámetro del Sol expresada en minutos y segundos o, según se muestra, aumentado y llevado hasta la supuesta distancia de las manchas de la superficie del Sol, T distancia de la mancha desde el centro del disco y S la elongación heliocéntrica tomada de la mancha; o incluso podemos utilizar la fórmula

$$\sin(S + T) = \frac{\sin T}{\sin R} \left(\cos T \pm \sqrt{\cos T^2 - \cos R^2} \right)$$

que se deduce de aquella con fácil cálculo, o incluso sin temor a error

$$\sin(S + T) = \frac{\sin T}{\sin R} \left(\cos T \pm \sqrt{(R + T)(R - T)} \right)$$

Sin embargo, esta forma de hallar la elongación heliocéntrica de las manchas no revela lo que los Astrónomos quieren indicar, la cuestión sobre la atmósfera Solar o sobre la distancia de las manchas del Sol para encontrar esta, ya que la misma cuestión puede ser tratada de diverso modo, de manera que esta última reducción o no se requiere o se debe hacer de otro modo, sino es preferible que yo arroje duda sobre los cálculos de las manchas solares por muchos Astrónomos recientes educados en los preceptos de D. De La Lande. Efectivamente, este Astrónomo, de reconocidísimo mérito por parte de toda la Astronomía, B. Tob. Mayeri, para encontrar la elongación heliocéntrica S, substituyó esta fórmula (*Astronomie édition du 1772. § 3142*).

$$\sin(S + T) = \frac{\sin T}{\sin R} \cos R$$

que parece alejarse de la verdad por esta

$$\sin(S + T) = \frac{\sin T}{\sin R} \left(\cos T \pm \sqrt{\cos T^2 - \cos R^2} \right)$$

en la que debería ser $\cos R = \cos T$, que no es verdad a no ser por estas manchas que están en el borde del disco solar, entonces también parece ser evidente a partir de su demostración, en la que el Ilustre Autor supone que la distancia visible de la mancha desde el centro del disco es el Seno del arco o del ángulo S, suposición que tendría lugar entonces cuando la distancia de la Tierra desde el Sol fuera infinita y las manchas fueran vistas por nosotros proyectadas ortográficamente sobre el disco del Sol.

Las Tablas II y III que fueron añadidas a las observaciones de las manchas no parecen requerir una explicación ulterior después del uso de aquellas en el ejemplo antes citado. Así pues, la primera columna de la segunda tabla contiene los días del mes, la columna segunda el Seno, la tercera el Coseno del ángulo de la posición constituido en el meridiano, o del ángulo que forman en el centro del Sol el círculo de declinación o el meridiano del Observatorio de Milán con el cuadrante del círculo desde el polo de la eclíptica hasta el centro del Sol; ya vimos el uso de estos senos y cosenos para encontrar tanto la latitud de las manchas como la longitud de aquellas; la cuarta columna contiene los diámetros del Sol sacados de nuestras Ephemerides. Comparando estos diámetros con las observaciones hechas a menudo tiene lugar alguna discrepancia, sin duda las observaciones exceden a aquellas de las tablas; un exceso de este tipo, que surge del alejamiento de los rayos de luz desde el foco geométrico de la lente del objetivo a causa de la esfericidad del objetivo mismo acromático, induce en el cómputo de las observaciones a un error muy pequeño si el diámetro del sol es corregido de acuerdo con esta tabla antes de usarla, un error muy pequeño –digo- pero no ninguno a no ser que también aquellas tablas sean corregidas, ya que las mismas también deben ser afectadas por el mismo alejamiento, aunque quizás menores (9).

La tabla tercera contiene los valores de las partes del micrómetro expresados en los arcos del círculo máximo; para obtener aquellos, medí la diferencia de declinación de muchas estrellas fijas extraída del catálogo de las Estrellas y escogí sólo aquellas fijas en cuya posición los Catálogos estaban de acuerdo; Por otra parte, para conocer la uniformidad del tornillo micrométrico o la igualdad de todas las partes, he medido el mismo espacio con distintas proporciones del mismo tornillo; obtuve el mismo número de partes una y otra vez.

Apéndice 6. Observaciones y coordenadas heliográficas de Oriani (1778-1779)

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
Mayo	2	0	15	1	33,0	805	147,8	16,8	23,7
			15	2	36,5	880	146,3	11,1	22,3
			15	4	108,0	408	67,0	11,6	-57,0
			15	5	123,0	981	65,3	-26,2	-58,7
			15	0	131,5	1884			
	3	0	30	1	23	882	146,4	16,7	35,7
			30	2	25,7	967	145,5	10,7	34,8
			30	3	98,5	452	67,5	12,4	-43,2
			30	4	112	1026	69,7	-24,9	-40,9
			30	5	101,3	173	37,0	29,6	-73,7
			30	0	131,7	1885			
	4	0	20	1	14,0	940	145,7	17,3	48,1
			20	2	16,0	1029	145,1	11,4	47,6
			20	3	88,7	505	66,4	13,0	-31,1
			20	4	103,0	1084	68,6	-24,8	-28,9
			20	5	96,7	183	35,7	30,7	-61,8
			20	0	132,3	1884			
	5	1	0	1	6,0				
		1	0	2	8,5				
		1	0	3	77,3	580			
		1	0	4	93,3				
		1	0	5	90,5	205			
		1	0	0					
	6	0	20	1	2,0				
			20	2	64,0	661	65,7	13,3	-5,4
			20	3	80,0	1231	67,4	-24,6	-3,7
			20	5	84,0	256	31,9	30,9	-39,2
			20	0	132,7	1882			
Mayo	7	0	40	3	52,7	746	63,4	12,6	5,7
			40	4	66,3	1310	67,6	-24,0	9,9
			40	5	72,0	316	33,0	31,6	-24,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			40	0	132,0	1883			
	8	4	20	3.2	34,0	864			
		4	20	3	36,3	811			
		4	20	4	52,0				
		4	20	5	58,0	390			
		4	20	0	133,0				
	9								
	10	0	45	3.2	14,0	1005	68,1	12,8	50,2
			45	3	17,0	960	63,2	14,2	45,2
			45	5	37,0	505	33,5	34,2	15,5
			45	6	113,0	955	335,9	-19,1	-42,0
			45	1	103,5	950	346,4	-15,7	-31,6
			45	2	114,0	435	316,0	10,7	-62,0
			45	4	120,0				
			45	0	133,0	1882			
	11	0	20	3.2	6,0	1050	69,8	13,5	64,8
			20	3	8,0	1010	64,8	14,9	59,8
			20	5	27,0	560	32,9	34,8	27,9
			20	1	96,0				
			20	2	106,0	455	315,1	12,1	-49,9
			20	4	112,0	1260	326,5	-37,6	-38,5
			20	6	101,7				
			20	5.2	28,0	576	31,8	33,3	26,8
			20	7	113,0	321	293,2	18,3	-71,8
			20	0	133,0	1881			
	12	0	30	3.2	1,7	1080	70,8	13,6	79,1
			30	3	3,0	1047	64,2	14,8	72,5
			30	5	20,0	630	29,5	33,1	37,8
			30	5.2	18,5	634	31,7	33,5	40,0
			30	1	84,3	1090	340,8	-17,0	-10,9
			30	2	97,0	518	314,5	11,5	-37,2
		0	30	4	104,3	1295	324,0	-36,8	-27,6
			30	6	90,3	1060	334,9	-17,2	-16,8
			30	7	107,5	365	294,5	17,5	-57,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			30	8	110,5	277	279,6	22,3	-72,0
			30	0	133,3	1880			
	13	0	30	5	13,0	668	27,6	33,6	49,2
			30	5.2	11,0	673	31,4	34,2	52,9
			30	2	85,0	583	314,7	11,9	-23,8
			30	1	70,5	1168	341,1	-16,6	2,6
			30	4	94,0	1358	323,9	-36,9	-14,5
			30	6	77,0	1132	334,9	-16,7	-3,6
			30	7	98,5	410	295,3	17,9	-43,2
			30	8	104,0	318	282,9	21,9	-55,5
			30	9	105,0	903	305,0	-12,6	-33,5
			30	10	132,3	880	260,1	-19,1	-78,3
			30	0	133,8	1878			
	14	0	0	5	7,3				
			0	5.2	5,5				
			0	9	91,0				
			0	10	127,0				
			0	0	134,0				
	15	0	30	5	4,0	738	21,8	32,7	69,8
			30	5.2	2,0	735	32,6	34,1	80,6
			30	1	42,5	1327	342,8	-16,1	30,9
			30	2	57,0	739	315,4	12,4	3,4
			30	7	74,0	534	296,2	18,9	-15,8
			30	9	76,5	1035	306,6	-10,7	-5,4
			30	8	84,5	423	283,1	22,2	-28,9
			30	11	92,5	1035	293,0	-15,9	-19,0
			30	10	119,0	919	262,6	-17,2	-49,4
			30	12	124,0	944	255,3	-20,2	-56,7
			30	0	134,0	1877			
	16	0	20	1	32,3	1394	342,3	-16,4	43,5
			20	2	44,3	808	314,5	12,7	15,7
			20	7	61,5	606	295,6	18,9	-3,2
			20	9	64,3	1115	305,2	-11,2	6,4
			20	8	74,0	470	281,2	23,1	-17,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	11	79,5	1115	292,8	-16,1	-6,0
			20	10	110,5	960	260,9	-16,8	-37,9
			20	12	117,3	983	253,0	-20,2	-45,9
			20	3	89,7	1080	283,4	-17,3	-15,5
			20	4	105,7	1206	269,3	-30,3	-29,5
			20	4.2	110,5	1231	263,5	-33,6	-35,4
			20	0	134,3	1877			
	17	0	20	1	24,0	1445	341,6	-16,6	55,9
			20	2	32,0	875	313,8	12,9	28,2
			20	7	48,8	676	294,8	19,0	9,2
			20	9	51,0	1185	304,6	-10,9	18,9
			20	8	63,0	535	279,4	22,9	-6,2
			20	11	66,0	1187	292,3	-15,9	6,7
			20	10	100,0	1030	259,7	-17,4	-26,0
			20	12	107,6	1028	251,8	-19,7	-33,8
			20	3	76,3	1155	283,1	-17,3	-2,5
			20	4	95,0	1265	268,3	-30,2	-17,3
			20	4.2	102,0	1287	260,9	-34,1	-24,7
			20	0	134,3	1876			
	18	0	45	2	20,5	937			
			45	7	36,3	750			
			45	9	39,0				
			45	11	47,5				
			45	3	58,0				
			45	8	51,5	600			
			45	10	84,0				
			45	12	97,0	1110			
			45	4	84,5				
			45	10.2	87,0	1095			
			45	0	134,5				
	19	0	20	2	10,5	985	315,0	13,6	55,9
			20	7	24,0	797	294,7	20,1	35,5
			20	9	24,7	1305	306,7	-9,3	47,5
			20	11	37,5	1315	294,0	-14,0	34,8

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	3	46,5	1275	284,5	-14,6	25,4
			20	8	47,5	540	267,2	28,2	8,0
			20	10	67,7	1167	263,9	-15,0	4,8
			20	4	69,0	1396	269,0	-29,4	9,8
			20	10.2	73,0	1167	259,6	-16,7	0,4
			20	12	81,7	1167	252,2	-19,4	-6,9
			20	0	134,5	1876			
	20	0	15	2	5,3	1030	312,6	12,7	66,7
			15	7	15,5	850	292,8	19,8	46,8
			15	9	16,8	1370	307,3	-10,5	61,3
			15	9.2	29,0	1377	292,0	-14,9	46,0
			15	3	36,8	1352	282,9	-16,0	36,9
			15	10	54,7	1243	263,4	-15,3	17,4
			15	10.2	59,5	1243	259,4	-16,8	13,5
			15	12	69,4	1247	251,3	-20,2	5,3
			15	4	59,2	1451	266,4	-29,4	20,5
			15	5	106,7	496	199,4	12,6	-46,6
			15	0	134,8	1876			
	21	0	5	7	6,5	885	294,9	20,6	62,1
			5	9	11,0	1400	308,8	-10,4	76,0
			5	11	19,4	1418	293,3	-14,3	60,5
			5	11.2	20,5	1406	290,9	-14,0	58,1
			5	8	32,0	610	258,0	29,1	25,2
			5	8.2	37,0	571	252,3	30,0	19,4
			5	10	42,5	1300	262,5	-14,9	29,7
			5	10.2	46,3	1300	259,2	-16,0	26,3
			5	12	54,7	1300	251,9	-18,7	19,1
			5	5		542			
			5	0	135,0	1876			
	22	0	15	7	1,5	906	295,9	20,9	76,4
			15	11	13,3	1480	301,0	-16,0	81,5
			15	11.2	14,3	1408	288,1	-12,3	68,6
			15	3	18,0	1388	280,1	-12,4	60,6
			15	3.2	17,0	1408	283,1	-13,3	63,6

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	8	22,3	675	256,7	28,1	37,2
			15	8.2	27,2	624	250,5	29,8	31,0
			15	8.3	25,5	649	252,6	28,7	33,1
			15	10	29,7	1349	263,4	-13,9	43,9
			15	10.2	35,5	1354	257,7	-16,0	38,1
			15	10.3	33,0	1323	258,9	-13,4	39,4
			15	12	42,3	1365	251,6	-18,8	32,1
			15	5	84,0	592	198,1	13,9	-21,5
			15	2	118,7	392	147,6	16,4	-71,9
			15	0	134,8	1875			
	23	0	10	8.3	16,0	680	252,6	29,9	46,2
			10	8.2	18,0	663	249,7	30,3	43,3
			10	10	20,0	1392	264,2	-13,5	57,8
			10	10.2	25,5	1410	258,0	-16,3	51,6
			10	10.3	23,0	1360	258,4	-12,6	52,1
			10	2	112,5	425	148,9	16,3	-57,4
			10	1	115,3	346	136,9	20,6	-69,4
			10	0	135,0	1875			
	24	0	11	10.3	16,0	1422	259,6	-14,3	66,5
			11	10.2	20,3	1445	254,1	-17,0	61,0
			11	8.2	10,0	696	250,0	30,8	56,9
			11	2	104,8	467	147,9	16,3	-45,2
			11	1	108,8	385	138,4	20,3	-54,7
			11	1.2	112,3	360	131,3	20,9	-61,8
			11	0	135,3	1875			
	25								
	26								
	27	0	20	5	33,0	826	181,1	15,0	27,8
			20	1	68,0	640	147,3	16,6	-6,0
			20	1.2	71,5	525	141,7	22,8	-11,6
			20	1.3	72,5	578	142,2	19,2	-11,2
			20	1.4	79,3	504	134,3	22,0	-19,0
			20	4.0	123,7	476	80,6	12,1	-72,7
			20	0	135,7	1875			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
	28								
	29	0	30	3	8,0	934	187,2	15,0	60,4
			30	3.2	9,0	931	185,4	14,9	58,6
			30	3.3	12,2	901	180,0	15,8	53,2
			30	1	39,5	748	147,6	17,8	20,9
			30	1.2	42,7	665	143,6	22,1	16,9
			30	1.3	45,0	700	141,9	19,3	15,2
			30	1.4	53,5	630	133,3	21,4	6,6
			30	4.0	110,0	541	79,9	12,4	-46,9
			30	2	121,0	483	61,2	13,2	-65,5
			30	2.2	121,3	465	59,2	14,2	-67,6
			30	2.3	122,0	520	62,0	10,7	-64,7
			30	4	135,0	872	46,1	-13,1	-80,6
			30	4.2	135,3	930	45,4	-16,6	-81,3
			30	0	136,0	1874			
	30	0	25	3.2	3,2	960	185,0	14,4	71,5
			25	3.3	5,5	940	179,1	15,0	65,6
			25	1	23,3	800	151,8	18,8	38,2
			25	1.2	30,0	760	144,2	19,6	30,6
			25	1.3	32,0	797	142,5	16,8	28,9
			25	1.4	42,2	748	132,2	17,1	18,6
			25	4.0	98,7	592	80,4	12,5	-33,1
			25	2	112,5	535	63,8	12,6	-49,7
			25	2.2	114,0	501	60,3	14,2	-53,2
			25	2.3	115,0	565	62,0	10,2	-51,5
			25	4	131,3	906	46,4	-13,8	-67,2
			25	4.2	130,7	939	48,0	-15,6	-65,5
			25	4.3	134,2	940	38,6	-16,5	-75,0
			25	0	136,3	1874			
	31	0	20	3.2	0,3	970	184,9	14,2	84,5
			20	3.3	1,2	953	178,9	15,0	78,5
			20	1	17,3	845	146,4	17,4	46,0
			20	1.2	19,0	765	143,9	22,0	43,5
			20	1.3	23,7	800	138,3	18,6	38,0

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	1.4	21,0				
			20	4.0	84,7	658	81,6	12,2	-18,7
			20	2	101,8	580	64,1	12,8	-36,3
			20	2.2	102,0	548	62,8	14,7	-37,5
			20	2.3	103,3	608	63,5	10,8	-36,9
			20	4	125,0	935	45,4	-13,6	-55,0
			20	4.2	121,5	980	50,8	-15,5	-49,6
			20	4.3	128,0	968	40,7	-16,3	-59,7
			20	5	133,5	915	28,1	-14,4	-72,3
			20	6	113,5	286	29,4	28,5	-71,0
			20	0	136,5	1873			
Junio	1	0	30	1.2	9,0	785	146,0	23,1	59,0
			30	1.3	12,7	828	139,6	19,4	52,6
			30	4.0	69,0	706	82,5	13,3	-4,5
			30	2	87,0	649	66,3	12,5	-20,7
			30	2.2	89,0	607	63,6	14,5	-23,5
			30	2.3	89,3	668	64,8	10,8	-22,3
			30	4	111,3	973	49,8	-12,3	-37,2
			30	4.2	111,5	985	49,7	-13,0	-37,3
			30	4.3	119,0	995	41,1	-15,4	-46,0
			30	4.4	107,0	940	53,8	-9,3	-33,2
			30	4.5	107,4	928	53,3	-8,7	-33,8
			30	5	127,5	932	28,2	-13,6	-58,8
			30	6	106,5	317	32,3	28,7	-54,8
			30	6.2	107,7	289	27,8	30,3	-59,2
			30	0	136,7	1873			
	2	0	15	1.2	4,5	805	142,8	22,6	68,9
			15	1.3	6,5	865	137,5	18,3	63,5
			15	1.5	5,0	828	141,1	21,0	67,2
			15	4.0	58,0	760	79,5	12,7	5,6
			15	2	77,0	700	62,8	11,9	-11,1
			15	2.2	79,2	645	59,9	14,8	-14,1
			15	2.3	79,3	655	60,0	14,1	-14,0
			15	4	103,5	1020	45,1	-13,0	-28,8

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	4.2	103,5	1064	45,6	-15,6	-28,3
			15	4.3	111,5	1043	37,1	-16,2	-36,8
			15	4.4	98,0	1091	51,2	-16,0	-22,8
			15	4.5	99,3	995	48,8	-10,5	-25,1
			15	5	122,0	968	23,8	-14,1	-50,2
			15	6	100,5	340	28,6	29,0	-45,4
			15	6.2	108,0	301	15,6	29,8	-58,4
			15	0	136,7	1873			
	3	0	30	1.2	0,7	831	144,9	21,5	84,3
			30	4.0	42,7	808	80,1	13,3	19,5
			30	2	61,8	750	62,9	12,5	2,4
			30	2.2	63,7	700	60,6	15,1	0,0
			30	2.3	63,5	765	61,8	11,2	1,2
			30	4	87,7	1078	46,8	-12,6	-13,8
			30	4.2	86,5	1121	48,4	-15,0	-12,2
			30	4.3	99,0	1105	36,9	-16,8	-23,7
			30	4.4	81,3	1155	53,3	-15,9	-7,2
			30	4.5	82,7	1065	50,8	-10,8	-9,7
			30	5	110,7	1020	24,3	-14,3	-36,2
			30	6	89,5	380	29,3	29,4	-31,3
			30	6.2		340			
			30	0	136,7	1872			
	4	0	30	4.0	29,5	850			
			30	2	47,7	795			
			30	2.2	48,0				
			30	2.3	49,0	815			
			30	4	73,0	1137			
			30	4.2	71,7				
			30	4.3		1147			
			30	4.4	67,0				
			30	4.5	68,0				
			30	5	91,0	1068			
			30	6	78,8	425			
			30	6.1	99,7	382			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			30	0	137,0				
	5								
	6	0	50	2	22,0	889	62,0	12,5	41,3
			50	2.3	23,5	920	60,6	10,3	39,9
			50	4	45,0				
			50	4.2	43,0	1275	48,2	-14,8	27,5
			50	4.3	56,5	1270	36,1	-17,2	15,4
			50	4.4	38,0	1300	53,5	-15,3	32,8
			50	4.5	38,0				
			50	5	69,7	1163	23,1	-13,4	2,4
			50	6	54,5	508	26,5	29,8	5,9
			50	6.2	68,2	448	12,7	30,8	-8,0
			50	7	117,7	450	320,2	19,6	-60,5
			50	7.2	118,7	500	321,9	16,3	-58,8
			50	0	137,0	1873			
	7								
	8								
	9	0	45	4	11,7	1315	47,5	-12,2	66,5
			45	4.2	10,5	1345	52,5	-13,9	71,5
			45	4.3	20,5	1370	36,1	-17,1	55,1
			45	5	29,7	1280	21,4	-13,1	40,4
			45	6	21,7	615	23,7	29,3	42,7
			45	6.2	28,5	890	15,6	10,6	34,6
			45	6.3	37,7	545	5,0	30,9	24,0
			45	7	86,7	580	320,1	18,9	-20,9
			45	7.2	114,0	390	282,5	25,6	-58,5
			45	7.3	111,8	510	292,6	18,4	-48,4
			45	1	122,3	1010	291,1	-13,8	-50,0
			45	1.2	132,8				
			45	0	137,3	1870			
	10								
	11	0	50	6.2	9,0	635			
			50	6.3	17,0				
			50	7	58,0	680			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
			50	7.2	96,0	465			
			50	7.3	80,5	595			
			50	7.4	96,5	500			
			50	1	98,3	545			
			50	1.2	108,0				
			50	2	116,5	475			
			50	0	137,3				
	12								
	13	0	30	7.01	27,0	910	324,8	8,9	36,6
			30	7.02	31,0	733	320,0	19,3	31,8
			30	1	69,0	1175	290,7	-13,4	2,5
			30	7.2.1	69,7	540	282,3	25,5	-5,9
			30	7.2.2	70,5	625	282,9	19,9	-5,3
			30	7.3	52,0	675	299,6	19,7	11,4
			30	7.4	73,0	575	279,9	22,6	-8,3
			30	1.2	96,0	1275	267,5	-24,3	-20,7
			30	0	137,3	1870			
	14	0	30	7.01	14,9	928	326,0	9,3	51,0
			30	7.02	20,7	750	318,6	19,6	43,7
			30	7.03	25,0	745	313,5	19,3	38,5
			30	7.04	29,5	738	308,5	19,1	33,6
			30	1	53,0	1205	291,4	-12,7	16,4
			30	7.2.1	54,5	568	283,5	26,3	8,6
			30	7.2.2	55,5	651	283,3	20,7	8,3
			30	1.2	82,0	1320	267,6	-24,5	-7,4
			30	7.3	38,0	705	299,8	19,9	24,8
			30	7.4		616			
			30	2.2	92,0	334	241,6	36,0	-33,4
			30	2.3	132,5	631	195,8	9,2	-79,2
			30	0	137,5	1872			
	15	0	30	7.01	6,5	925	326,3	10,1	64,5
			30	7.0.2	11,5	760	318,5	19,8	56,8
			30	7.0.3	14,8	755	313,5	19,7	51,7
			30	7.0.4	19,0	760	307,7	18,9	45,9

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
			30	1	39,5	1238	290,8	-12,9	29,0
			30	7.2.1	41,7	580	283,1	27,5	21,3
			30	7.2.2	42,5	685	282,4	20,5	20,7
			30	7.3	26,0	723	299,4	20,3	37,7
			30	1.2	67,7	1354	267,5	-24,4	5,8
			30	7.4	45,0	640	279,9	23,0	18,2
			30	2	74,5	445	250,3	31,5	-11,4
			30	2.2	80,7	380	242,5	35,0	-19,2
			30	2.3	128,0	341	172,2	26,7	-89,6
			30	2.4	132,7	650	184,4	8,6	-77,4
			30	2.5	132,7	480	171,9	18,0	-89,8
			30	0	137,7	1872			
	16								
	17	0	45	7.3	8,0	744	298,9	20,5	63,7
			45	1	16,0	1269	291,3	-12,6	56,2
			45	7.2.1	18,8	720	281,9	20,9	46,8
			45	7.2.2	19,8	640	281,8	26,0	46,6
			45	1.2	39,5	1400	267,8	-23,6	32,7
			45	2	43,7	640	254,8	23,1	19,7
			45	2.2		410			
			45	7.4	21,3	760	278,4	18,1	43,3
			45	2.3	112,5	693	192,5	10,4	-42,6
			45	2.3.1	98,0				
			45	2.4	111,0	700	194,3	10,2	-40,8
			45	2.5	117,0	595	184,2	15,7	-50,9
			45	2.6	113,0	690	191,8	10,5	-43,3
			45	0	137,5	1872			
	18	0	30	7.3	4,0	745	295,9	20,2	73,8
			30	1	8,7	1290	293,0	-13,8	71,0
			30	7.2.1	11,3	750	279,6	19,4	57,6
			30	7.2.2	12,7	660	279,3	25,1	57,3
			30	7.4	13,0	680	278,3	23,7	56,2
			30	1.2	29,0	1430	267,5	-24,8	45,4
			30	2	35,3	675	250,3	21,7	28,2

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			30	2.2	45,7	438	240,5	36,6	18,4
			30	2.2.1	47,0	438	239,0	36,5	17,0
			30	2.3	83,7	705	207,1	13,9	-14,9
			30	2.3.1	81,0	760	210,1	10,9	-11,9
			30	2.4	98,0	755	195,1	9,0	-26,9
			30	2.5	107,0	645	184,2	14,5	-37,8
			30	2.6	101,0	740	192,1	9,5	-30,0
			30	2.7	127,5	485	143,7	21,0	-78,4
			30	0	137,5	1870			
	19	0	57	7.2.2	6,6	659	279,3	25,2	70,7
			57	1.2	19,7	1411	265,8	-22,9	57,3
			57	2	19,0	752	255,0	18,3	46,5
			57	2.0.1	24,0	683	249,5	22,2	41,0
			57	2.2	36,0	769	236,2	15,6	27,7
			57	2.2.1	37,5	769	234,7	15,5	26,2
			57	2.3	65,0	788	210,5	11,3	2,0
			57	2.3.2	75,7	763	201,4	11,6	-7,2
			57	2.4	83,0	779	195,4	9,7	-13,2
			57	2.5	97,0	678	181,6	14,2	-27,0
			57	2.6	86,5	763	192,2	10,3	-16,3
			57	2.7	123,7	524	144,4	19,9	-64,2
			57	3	132,3	1178	138,0	-21,9	-70,5
			57	3.2	134,3	1172	131,2	-21,9	-77,3
			57	0	137,8	1870			
	20	1	0	1.2	12,7	1430	269,2	-24,3	73,9
			0	2	11,3	755	253,6	18,4	57,7
			0	2.0.1	15,7	690	247,9	22,2	52,1
			0	2.2	18,0	521	249,7	33,4	53,8
			0	2.2.1	20,5	521	245,5	33,2	49,7
			0	2.2.2	21,0	460	247,6	37,6	51,7
			0	2.3	49,0	818	211,7	11,2	15,9
			0	2.3.2	59,3	806	202,8	10,9	7,0
			0	2.4	67,0	828	196,5	8,7	0,7
			0	2.5	80,5	718	184,1	14,0	-11,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			0	2.6	70,0	811	193,9	9,4	-1,9
			0	2.7	117,0	540	143,1	20,4	-52,7
			0	4	120,4	426	130,1	27,1	-65,7
			0	4.2	121,0	360	119,7	31,3	-76,1
			0	3	127,3	1230	134,8	-23,9	-61,0
			0	3.2	130,5	1220	127,9	-23,9	-68,0
			0	0	137,7	1870			
	21	0	15	2.2	12,0	525	248,7	33,2	66,3
			15	2.2.1	15,0	525	242,0	33,0	59,6
			15	2.2.2	20,0	465	236,1	37,0	53,6
			15	2.3	33,0				
			15	2.0.1	8,0	690	248,4	22,4	66,0
			15	2.3.3	48,0	801	199,3	12,4	16,9
			15	2.4	54,5	843	193,9	9,2	11,4
			15	2.3.2	46,5	819	200,7	11,4	18,3
			15	2.5	65,0	750	184,4	13,9	2,0
			15	2.6	56,0	835	192,6	9,5	10,1
			15	2.7	107,4	560	142,6	21,0	-39,9
			15	3	118,8	1235	135,5	-22,3	-47,0
			15	3.2	122,0	1226	131,1	-22,2	-51,4
			15	4	115,6	450	127,4	26,9	-55,1
			15	4.2	118,3	376	116,4	31,4	-66,0
			15	4.2.1	119,2	416	118,7	28,6	-63,7
			15	0	138,0	1872			
	22	0	20	2.3.2	33,0	845	200,1	10,8	31,0
			20	2.3.3	35,0	827	198,2	11,8	29,0
			20	2.4	40,0	860	193,5	9,4	24,4
			20	2.5	51,5	771	182,9	13,9	13,8
			20	2.6	43,0	850	190,8	9,7	21,6
			20	2.7		592			
			20	3	108,0	1275	134,8	-23,1	-34,4
			20	3.2	112,5	1262	129,7	-22,8	-39,4
			20	4	107,0	475	126,8	27,0	-42,3
			20	4.2	110,0	394	118,8	32,0	-50,4

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	4.2.1	112,0	440	118,8	28,6	-50,4
			20	0	138,0	1872			
	23	0	11	2.3.2	20,0	850	201,1	11,1	45,1
			11	2.4	26,5	902	193,7	7,6	37,7
			11	2.6	27,6	868	192,6	9,6	36,5
			11	2.5	36,7	787	183,5	14,0	27,5
			11	2.7	80,0	628	144,2	20,4	-11,8
			11	3	95,3	1294	134,5	-22,5	-21,5
			11	3.2	100,0	1285	129,9	-22,4	-26,1
			11	3.0.1	95,0	1308	134,8	-23,4	-21,2
			11	4	97,3	497	125,3	27,1	-30,7
			11	4.2		413			
			11	0	138,0	1872			
	24	0	0	2.6	16,0	870	193,0	9,8	50,1
			0	2.5	23,3	789	184,4	14,4	41,6
			0	2.7		658			
			0	3.0.1	82,0	1334	133,7	-23,7	-9,2
			0	3	82,5	1320	133,2	-22,8	-9,7
			0	3.0.2	88,0	1303	128,1	-22,2	-14,8
			0	4	87,7	515	122,4	27,2	-20,5
			0	4.2	93,5	434	114,5	32,1	-28,4
			0	4.2.1	92,6	548	118,3	24,5	-24,6
			0	4.0.1	83,6	595	127,6	22,3	-15,3
			0	0	138,0	1870			
	25	0	30	2.6	7,3	869	192,9	9,6	63,6
			30	2.5	13,0	794	184,3	14,2	54,9
			30	3.0.1	67,5	1365	133,2	-24,4	3,8
			30	3	68,3	1350	132,4	-23,5	3,0
			30	3.2	72,7	1333	128,3	-22,7	-1,0
			30	4	73,7	540	122,7	27,0	-6,7
			30	4.2	82,8	465	112,9	31,3	-16,4
			30	0	138,0	1870			
	26	0	0	2.6	3,0	864	190,0	9,5	73,6
			0	2.5	7,0	790	181,9	14,1	65,5

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			0	3.0.1	54,0	1380	132,5	-24,4	16,1
			0	3	54,8	1372	131,6	-23,9	15,2
			0	3.0.2	60,0	1347	126,6	-22,5	10,2
			0	4	61,0	560	121,8	26,8	5,4
			0	4.2	72,5	475	110,4	31,7	-6,0
			0	0	138,0	1872			
	27	0	20	3.0.1	38,7	1390	134,1	-24,4	31,1
			20	3	40,0	1381	132,5	-23,9	29,5
			20	3.0.2	41,5	1428	132,1	-27,2	29,1
			20	3.2	44,3	1363	127,8	-22,8	24,8
			20	3.3	66,5	1336	107,0	-22,1	4,0
			20	4.0.1	43,0	620	125,6	23,8	22,6
			20	4	48,5	571	120,5	26,8	17,5
			20	4.2	51,8	492	117,7	32,0	14,7
			20	1	115,3	1121	61,1	-11,9	-41,9
			20	1.2	116,5	1182	59,1	-15,9	-43,9
			20	0	138,0	1872			
	28								
	29								
	30	0	50	3.0.1	11,0	1385			
			50	3.2	12,7	1390			
			50	3.2.1	13,7	1370			
			50	4	10,0	630			
			50	4.2	18,0	540			
			50	4.0.1	10,0	630			
			50	4.2.1	17,0	660			
			50	4.2.2	23,0	500			
			50	1	81,0	1209			
			50	1.2	83,0	1277			
			50	2	97,0	545			
			50	2.0.1	98,3	575			
			50	2.2	108,0	487			
			50	2.3	130,0				
			50	0	137,7				

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
julio	1	0	30	4	5,0	630	129,6	21,6	79,6
			30	3.2	9,0	1345	123,8	-23,2	73,8
			30	4.2.1	10,0				
			30	4.2	10,8	530	120,2	28,6	70,3
			30	4.2.2	17,0	530	107,2	29,1	57,3
			30	1	70,6	1105	48,8	-7,2	-1,2
			30	1.2	73,3	1277	46,7	-18,2	-3,2
			30	2		548			
			30	2.0.2		562			
			30	2.2	104,0	493	12,6	29,6	-37,3
			30	2.3	123,8	578	348,6	22,3	-61,3
			30	2.3.1	126,8	541	339,9	24,2	-70,0
			30	5	133,6	780	336,6	8,6	-73,3
			30	0	137,5	1870			
	2	0	15	1	53,7	1209	50,3	-13,2	13,5
			15	2	82,5	550	23,3	27,2	-13,5
			15	2.0.1	83,8	576	22,3	25,5	-14,5
			15	2.2	97,0	497	7,8	30,2	-29,0
			15	2.3.1	123,0	555	336,0	24,4	-60,8
			15	2.3	117,7	597	346,1	22,2	-50,7
			15	5	129,3	803	334,1	8,4	-62,8
			15	0	137,7	1873			
	3	0	15	1	42,0	1220	47,5	-14,0	23,9
			15	2.2	82,5	511	9,8	30,1	-13,8
			15	2.0.3	38,2	567	52,8	26,7	29,2
			15	2.0.2	43,0	570	47,8	26,5	24,2
			15	2.0.4	62,3	584	29,1	25,6	5,5
			15	2.0.1	68,5	601	23,4	24,4	-0,2
			15	2	68,3	552	23,6	27,6	0,0
			15	2.3	91,8	616	2,0	22,8	-21,6
			15	2.3.1	116,3	576	333,9	24,1	-49,7
			15	5	120,3	824	334,3	8,4	-49,3
			15	0	137,5	1872			
	4	0	20	1	29,4	1208	46,5	-13,6	36,2

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	2.0.3	30,0	555	49,2	27,1	38,9
			20	2.0.2	33,0	562	45,6	26,7	35,2
			20	2.0.4	50,5	580	27,3	25,8	16,9
			20	2	57,0	550	21,3	27,9	10,9
			20	2.3	95,0	627	346,0	22,3	-24,3
			20	2.3.1	106,7	585	333,0	24,5	-37,3
			20	2.2	72,3	540	6,8	28,5	-3,5
			20	5	110,0	836	333,2	8,7	-37,1
			20	0	137,7	1872			
	5	0	15	2.0.3	18,5	805	45,0	10,6	47,9
			15	1		1200			
			15	2	43,5	550	21,6	27,7	24,5
			15	2.3	79,0	635	348,0	22,3	-9,1
			15	2.3.1	93,7	600	333,9	24,4	-23,3
			15	5	94,5	860	335,1	8,1	-22,0
			15	6	129,5	1223	290,7	-16,4	-66,4
			15	0	137,7	1873			
	6	0	20	1	10,0	1135	43,9	-10,8	60,0
			20	2.0.3	19,0				
			20	2.0.2	24,0	773	25,6	12,5	41,8
			20	2.0.4	25,6	553	28,5	26,5	44,7
			20	2	32,0	533	21,3	28,2	37,5
			20	2.2	43,0	570	8,7	26,2	24,8
			20	2.3	65,0	632	347,4	22,6	3,5
			20	2.3.1	80,0	607	333,7	24,3	-10,1
			20	5	79,5	871	334,9	7,8	-9,0
			20	6	127,0	1255	280,9	-17,8	-63,0
			20	5.0.1	81,6	872	333,1	7,7	-10,8
			20	0	137,5	1872			
	7	0	15	1	4,0	1151	44,8	-13,2	74,1
			15	2.0.3	13,0	775	26,5	11,3	55,8
			15	2.0.2	16,0	779	22,2	11,3	51,5
			15	2.0.4	19,0	556	24,4	25,5	53,8
			15	2	22,0	526	21,3	27,7	50,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	2.2	29,0	541	11,6	27,2	40,9
			15	2.3	50,6	639	347,4	21,9	16,7
			15	2.3.1	66,8	611	332,7	24,1	2,0
			15	5	64,0	864	334,6	8,2	4,0
			15	5.0.1	66,8	866	332,3	8,1	1,6
			15	5.0.2	67,0	986	332,0	0,8	1,3
			15	6	117,0	1252	283,1	-16,3	-47,5
			15	6.2	121,0	541	272,2	27,8	-58,4
			15	6.3	132,0	1250	253,7	-17,8	-76,9
			15	0	137,3	1872			
	8	0	20	2.0.2	6,3	779	24,9	9,9	67,5
			20	2.0.4	11,7	533	25,8	25,7	68,5
			20	2	15,3	508	20,1	27,8	62,7
			20	2.3	37,7	631	346,8	21,8	29,4
			20	2.3.1	53,3	600	332,0	24,5	14,6
			20	5	48,3	834	334,9	9,6	17,5
			20	5.0.1	51,0	856	332,4	8,4	15,0
			20	5.0.2	54,0	800	330,0	11,9	12,7
			20	6	107,5	1261	280,5	-16,2	-36,9
			20	6.2	113,8	554	270,2	27,8	-47,2
			20	6.3	128,0	1261	250,8	-17,4	-66,6
			20	0	137,0	1872			
	9								
	10								
	11	0	0	5	10,0	793	338,1	8,4	60,2
			0	2.3	11,0	571	345,3	22,0	67,4
			0	5.0.1	12,5	805	333,9	8,0	56,0
			0	5.0.3	14,7	805	330,7	8,3	52,9
			0	2.3.1	19,7	553	331,1	24,4	53,3
			0	5.0.4	17,5	1171	326,5	-13,9	48,6
			0	6	63,5	1273	281,0	-16,9	3,1
			0	5.0.2	13,0	760	334,1	10,8	56,2
			0	6.2	80,0	571	268,1	27,6	-9,7
			0	6.3	96,0	1295	251,6	-17,3	-26,2

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			0	6.2.1	105,5	650	243,1	22,9	-34,8
			0	6.2.2	112,0	524	232,1	31,1	-45,8
			0	6.3.1	123,3	1443	206,9	-28,7	-70,9
			0	0	136,7	1872			
	12								
	13	0	15	5.0.4	3,5	1112	324,7	-13,3	73,4
			15	5.0.4.1	5,5	1155	320,4	-15,6	69,2
			15	2.3.1.1	8,0	530	331,6	22,7	80,4
			15	2.3.1	12,3	603	314,3	19,5	63,0
			15	6	34,5	1255	280,8	-17,9	29,5
			15	6.2	53,0	556	267,6	27,2	16,3
			15	6.3	66,5	1281	251,3	-17,0	0,0
			15	6.2.1	78,5	660	243,2	22,1	-8,0
			15	6.2.2	88,7	641	233,7	23,8	-17,6
			15	6.3.1	107,0	1459	208,3	-27,9	-43,0
			15	6.3.2	129,5	796	185,7	14,0	-65,6
			15	0	136,5	1873			
	14	0	15	2.3.1	8,0	568	313,6	20,2	75,6
			15	6	23,5	1272	279,8	-20,5	41,8
			15	6.2	41,0	531	267,0	27,6	28,9
			15	6.3	51,7	1261	250,9	-16,7	12,9
			15	6.2.1	65,0	650	242,3	22,1	4,3
			15	6.2.2	75,0	632	233,3	23,9	-4,7
			15	6.3.1	96,0	1464	207,5	-27,9	-30,5
			15	6.3.3	97,7	1509	204,1	-31,3	-33,9
			15	6.3.2	122,0	814	185,0	13,8	-53,0
			15	6.4	131,0	1226	163,2	-12,6	-74,8
			15	0	136,3	1874			
	15								
	16	0	15	6	11,0	1238	270,9	-21,0	59,3
			15	6.2	21,5	486	266,0	27,3	54,4
			15	6.2.1	38,0	625	241,5	21,0	30,0

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	6.2.2	47,0	609	233,0	23,0	21,4
			15	6.3.1	70,0	1463	206,0	-28,9	-5,6
			15	6.3.2	99,0	821	184,2	13,7	-27,3
			15	6.3.2.1	74,0	624	207,7	24,6	-3,8
			15	6.3.2.2	80,0	627	202,1	24,9	-9,4
			15	6.3.3	70,7	1485	205,1	-30,5	-6,5
			15	6.4	116,0	1253	162,4	-12,6	-49,1
			15	6.5	121,0	1398	148,0	-22,6	-63,6
			15	0	135,5	1873			
	17	0	15	6.0.1	5,0	1220	272,0	-22,0	73,6
			15	6.0.2	6,0	1220	268,6	-21,6	70,2
			15	6.2.1	27,0	592	241,1	21,3	42,8
			15	6.2.2	35,0	584	232,4	23,0	34,1
			15	6.3.1	57,0	1440	205,0	-28,5	6,7
			15	6.3.2	85,0	813	184,0	13,7	-14,4
			15	6.3.2.1	58,7	624	208,7	23,3	10,3
			15	6.3.2.2	69,0	624	199,2	24,3	0,9
			15	6.3.3	58,0	1470	203,9	-30,6	5,6
			15	6.3.4	68,8	809	198,2	12,7	-0,2
			15	6.4.1	104,5	1279	161,8	-14,1	-36,5
			15	6.4.2	105,5	1265	161,0	-13,1	-37,3
			15	6.4.3	104,7	1233	162,5	-11,1	-35,9
			15	6.5	113,0	1411	147,3	-22,9	-51,0
			15	1	127,0	774	135,0	17,3	-63,4
			15	6.5.1	119,0	1384	139,1	-21,1	-59,2
			15	0	135,3	1872			
	18	0	15	6.2.1	18,5	586	239,2	20,0	54,1
			15	6.2.2	23,5	570	233,1	21,9	48,0
			15	6.3.1	43,3				
			15	6.3.2.1	44,5	610	209,2	22,5	24,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
			15	6.3.2.2	49,0	616	204,8	22,7	19,6
			15	6.3.2	54,5	800	197,4	12,0	12,3
			15	6.4.1	90,5	1269	162,5	-13,7	-22,6
			15	6.4.2	91,5	1252	161,9	-12,5	-23,3
			15	6.4.3	90,5	1234	163,0	-11,5	-22,1
			15	6.5	102,5	1418	147,2	-23,0	-38,0
			15	6.5.1	109,8	1409	138,6	-22,2	-46,5
			15	1	120,5	700	131,1	22,6	-54,0
			15	1.2	125,3	1359	113,7	-19,2	-71,4
			15	1.2.1	128,3	1300	109,8	-15,4	-75,3
			15	0	135,3	1875			
	19	0	30	6.2.2	11,7	530			
			30	6.3.1	30,5	1391			
			30	0	135,3				
	20								
	21	0	10	6.3.1	12,8	1336	204,3	-29,3	58,8
			10	6.4.1	46,3	1196	161,9	-13,3	16,4
			10	6.4.3	46,3	1170	162,0	-11,7	16,5
			10	6.5.2	47,0	655	166,7	19,7	21,3
			10	6.5	62,0	1362	146,8	-22,1	1,4
			10	6.6	103,0	780	114,2	18,0	-31,3
			10	6.5.1	57,0	770	156,1	14,0	10,6
			10	1	99,0	1368	112,2	-18,8	-33,2
			10	1.2	105,0	1340	106,5	-16,6	-38,9
			10	1.3	101,0	1445	107,7	-24,0	-37,7
			10	1.4	107,0	1473	99,2	-25,7	-46,2
			10	0	135,3	1874			
	22	0	20	6.3.1	7,3	1311	204,3	-29,8	72,2
			20	6.4.1	31,5	1152	162,6	-13,0	30,4
			20	6.4.3	31,5	1136	162,6	-11,9	30,5
			20	6.5.1	39,0	641	161,4	19,3	29,2
			20	6.5.2	34,7	611	166,4	20,4	34,3
			20	6.5	47,0	1324	147,2	-21,6	15,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	1	84,0	1358	113,4	-19,1	-18,8
			20	6.6	88,0	761	115,4	18,3	-16,7
			20	1.3.1	86,7	1442	109,1	-24,5	-23,1
			20	1.3	86,3	1417	110,1	-22,8	-22,1
			20	1.2	90,5	1326	107,9	-16,3	-24,3
			20	1.4	95,5	1473	99,1	-25,9	-33,0
			20	0	135,0	1875			
	23	0	15	6.4	19,3	1090	162,9	-11,6	43,9
			15	6.5.2	23,0	576	167,8	20,0	48,8
			15	6.5.1	28,0	603	160,8	19,4	41,9
			15	6.5	34,0	1301	146,8	-22,4	27,8
			15	6.5.3	40,5	1309	140,1	-21,7	21,2
			15	1	71,0	1339	112,0	-19,1	-7,0
			15	6.6	73,5	741	115,6	18,0	-3,4
			15	1.3.1	72,0	1405	110,2	-23,5	-8,8
			15	1.3	75,0	1415	107,3	-23,8	-11,7
			15	1.2	77,0	1300	107,2	-15,8	-11,8
			15	1.4	84,0	1463	97,8	-26,1	-21,1
			15	2	131,6	865	46,1	14,2	-72,8
			15	0	135,0	1875			
	24	0	20	6.5.2	14,0	551	169,0	18,9	63,3
			20	6.5.1	19,0	576	159,8	18,8	54,1
			20	6.5	23,0	1261	145,6	-22,1	39,9
			20	6.5.3	24,0	1236	144,2	-20,2	38,5
			20	6.5.4	24,5	1261	143,8	-21,8	38,1
			20	1	55,8	1313	112,2	-19,5	6,5
			20	6.6	58,0	734	115,9	16,4	10,2
			20	6.6.1	60,7	707	113,9	18,5	8,2
			20	1.3.1	57,7	1375	109,9	-23,3	4,2
			20	1.3	60,0	1385	107,7	-23,7	2,0
			20	1.2	62,8	1270	106,3	-15,6	0,7
			20	1.4	71,5	1452	96,3	-26,6	-9,4
			20	2	125,0	886	46,5	13,7	-59,2
			20	2.2	128,7	881	39,4	13,9	-66,3

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	2.3	129,8	691	30,5	25,4	-75,2
			20	0	134,7	1875			
	25	0	20	6.5.1	13,3	536	158,1	19,2	65,6
			20	6.5	13,5	1186	144,6	-19,7	52,1
			20	6.5.3	13,5	1220	145,1	-22,0	52,7
			20	1	43	1282	110,7	-19,6	18,2
			20	6.6	44,0	701	115,8	16,1	23,4
			20	1.3.1	47,0	1345	106,6	-23,0	14,1
			20	1.3	48,3	1360	105,3	-23,8	12,8
			20	1.4	58,8	1427	94,9	-26,7	2,4
			20	1.2	48,7	1225	105,7	-14,8	13,2
			20	2	117,0	885	44,7	13,9	-47,7
			20	2.2	122,8	893	36,5	13,7	-55,9
			20	2.3	126,8	705	25,7	25,2	-66,7
			20	0	134,5	1876			
	26	0	20	6.5	6,0	1154	145,1	-20,3	65,9
			20	6.5.3	6,3	1184	145,4	-22,3	66,1
			20	6.5.1	10,0	505	155,6	19,3	76,3
			20	1	30,0	1240	110,4	-19,5	31,2
			20	1.3.1	31,7	1308	108,7	-23,7	29,5
			20	1.3	33,0	1320	107,3	-24,2	28,1
			20	6.6	32,0	662	115,2	16,0	36,0
			20	6.6.1	36,0	663	111,1	16,8	31,9
			20	1.2	35,3	1196	105,0	-15,5	25,7
			20	1.4	46,7	1391	93,2	-26,3	13,9
			20	2.0.1	105,6	883	44,6	13,6	-34,6
			20	2	113,5	905	35,7	12,9	-43,6
			20	2.2	116,8	790	31,1	20,2	-48,1
			20	2.3	120,7	698	23,8	26,1	-55,5
			20	0	134,3	1876			
	27	0	15	1	18,0	1196	111,3	-19,7	45,2
			15	6.6	20,0	611	117,4	16,1	51,4
			15	6.6.1	23,0	610	113,7	16,9	47,6
			15	1.3	21,3	1279	107,6	-24,5	41,5

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	1.2	22,5	1152	105,4	-15,7	39,3
			15	1.4	33,0	1359	94,0	-27,1	27,9
			15	1.3.1	21,7	1284	107,1	-24,7	41,1
			15	2.0.1	91,3	858	45,6	13,8	-20,5
			15	2	101,0	880	36,0	13,6	-30,0
			15	2.2	105,8	773	31,1	20,7	-35,0
			15	2.3	109,7	694	26,0	26,1	-40,1
			15	3	115,8	1488	2,0	-24,1	-64,0
			15	3.2	131,5	705	340,6	25,2	-85,5
			15	2.4	105,0	612	30,9	30,9	-35,1
			15	0	134,0	1875			
	28	0	15	1	10,0	1164	110,0	-20,2	57,2
			15	1.3.1	11,5	1240	108,8	-24,9	56,0
			15	1.3	12,5	1251	107,3	-25,4	54,4
			15	6.6	12,0	572	118,6	15,7	65,7
			15	1.2	12,8	1113	104,9	-16,0	52,0
			15	1.4	23,0	1318	92,4	-26,9	39,5
			15	2.0.1	76,3	830	46,1	13,7	-6,8
			15	2	87,0	860	36,3	13,4	-16,5
			15	2.2	91,3	770	32,9	19,5	-19,9
			15	2.4	95,7	604	28,6	30,6	-24,2
			15	2.3	99,5	675	24,7	26,5	-28,2
			15	3	108,7	1497	0,4	-24,5	-52,4
			15	3.2	125,3	718	348,9	25,8	-64,0
			15	3.2.1	131,3	809	336,1	19,8	-76,7
			15	3.2.2	131,5	958	338,0	10,7	-74,9
			15	0	134,0	1876			
	29	0	20	1	3,7				
			20	6.6	5,0	535	128,4	13,6	88,9
			20	1.3.1	5,0	1196	109,6	-24,9	70,0
			20	1.3	6,0	1214	107,3	-25,7	67,8
			20	1.4	13,3	1282	93,1	-27,6	53,5
			20	2.0.1	61,5	794	45,9	13,5	6,4
			20	2	72,6	839	35,8	12,7	-3,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	2.2	76,5	738	33,5	19,5	-6,1
			20	2.3	88,3	654	23,0	26,6	-16,5
			20	3	99,7	1495	358,6	-24,7	-41,0
			20	3.2	120,0	732	345,2	25,2	-54,3
			20	3.0.1	119,7	1341	338,0	-12,7	-61,5
			20	3.2.1	123,5	977	341,3	10,2	-58,3
			20	3.2.2	125,0	828	338,1	19,4	-61,4
			20	3.2.3	125,0	615	330,7	32,7	-68,8
			20	0	133,7	1876			
	30	0	15	1.4	7,0				
		0	15	2.0.1	47,0	742	46,4	13,8	20,0
			15	2	58,0	791	35,9	13,1	9,5
			15	2.2	62,3	690	33,7	20,0	7,3
			15	2.3	74,8	623	23,3	26,5	-3,1
			15	3	88,0	1471	358,7	-24,2	-27,6
			15	3.2	114,7	724	340,0	25,7	-46,4
			15	3.0.1	115,7	1339	331,4	-12,3	-55,0
			15	3.2.2	118,3	831	335,9	19,3	-50,5
			15	3.2.1	121,3				
			15	3.2.3	123,0	674	325,1	29,4	-61,2
			15	0	133,7	1876			
	31								
Agosto	1	0	20	2.0.1	23,5	656	45,4	13,0	45,6
			20	2	31,0	709	35,8	11,9	35,9
			20	2.2	37,0	603	32,7	19,6	32,8
			20	2.3	50,0	543	21,8	26,4	22,0
			20	3	60,5	1410	358,8	-24,6	-1,1
			20	3.0.1	92,0	1322	331,9	-13,1	-27,9
			20	3.2	92,5	693	339,2	25,4	-20,7
			20	3.2.1	95,5	941	334,6	10,6	-25,3
			20	3.2.2	99,5	814	331,6	18,9	-28,3
			20	3.2.3	102,3	718	328,8	25,3	-31,1
			20	3.2.4	124,6	710	296,2	27,9	-63,6
			20	0	133,5	1876			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
	2	0	20	2.0.1	14,0	610	46,8	12,5	60,1
			20	2	21,0	645	35,6	12,7	49,0
			20	2.2	26,7	554	32,4	19,6	45,7
			20	2.3	38,7	493	21,7	26,6	35,1
			20	3	46,7	1366	358,7	-24,6	12,1
			20	3.0.1	77,7	1291	332,2	-13,2	-14,5
			20	3.2	78,7	655	339,9	25,5	-6,8
			20	3.2.2	85,0	786	332,7	18,6	-14,0
			20	4	114,0	1545	278,7	-25,9	-67,9
			20	0	133,5	1877			
	3	0	15	2.0.1	9,0	581	45,0	11,8	71,5
			15	2	13,0	625	34,5	11,0	61,0
			15	2.2	19,0	520	30,9	18,9	57,4
			15	2.3	29,7	463	20,1	25,6	46,6
			15	3	35,0	1326	357,3	-25,1	23,8
			15	3.0.1	64,0	1258	331,2	-13,7	-2,3
			15	3.2.1	67,0	870	334,2	10,2	0,8
			15	3.2	66,0	630	338,9	24,5	5,5
			15	3.2.2	71,0	761	332,4	17,6	-1,1
			15	3.2.4	108,0	710	295,9	27,2	-37,6
			15	4	108,8	1561	274,4	-26,9	-59,1
			15	4.0.1	112,0	1583	264,7	-28,7	-68,8
			15	0	133,5	1876			
	4	0	10	2.0.1		563			
			10	2	8,7	572	33,3	11,8	73,0
			10	2.2	14,0	480	29,2	19,0	68,9
			10	2.3	22,0	417	20,3	25,5	60,0
			10	3	24,0	1280	356,5	-25,3	36,1
			10	3.0.1	49,2	1209	331,3	-13,8	11,0
			10	3.2.1	52,8	814	334,0	10,6	13,7
			10	3.2	54,0	584	337,8	24,6	17,5
			10	3.2.2	57,0	711	332,3	17,6	12,0
			10	3.4.3	96,7	683	295,6	27,4	-24,8
			10	4	100,0	1547	274,9	-26,3	-45,4

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			10	4.0.1	105,0	1572	266,2	-27,6	-54,1
			10	0	133,3	1877			
	5	0	15	2.2	10,3	433	35,2	18,3	88,2
			15	2.3	17,0	371	21,5	25,6	74,5
			15	3	13,6	1240	357,5	-26,4	50,5
			15	3.2	40,3	540	339,0	23,7	31,9
			15	3.2.4	84,0	654	295,4	27,1	-11,7
			15	3.2.1	38,0	765	334,8	9,8	27,8
			15	4	89,0	1538	274,2	-27,1	-32,9
			15	4.0.1	95,0	1566	266,1	-28,1	-40,9
			15	5	129,7	841	233,2	21,3	-73,8
			15	0	133,0	1877			
	6	0	15	3	8,0	1203	354,4	-26,5	60,6
			15	3.2.1	26,0	707	335,0	9,7	41,2
			15	3.2	32,0	473	337,4	25,1	43,6
			15	4	77,0	1520	273,5	-27,9	-20,4
			15	4.0.1	84,0	1555	265,2	-29,0	-28,6
			15	5	122,0	834	236,8	22,1	-57,0
			15	0	133,0	1878			
	7	0	10	3.2.1	18,0	706	331,1	7,0	50,5
			10	3.2	23,2	428	338,1	24,5	57,4
			10	4	64,7	1477	272,6	-27,6	-8,0
			10	4.0.1	72,5	1513	264,4	-28,2	-16,3
			10	5	112,0	824	237,8	21,9	-42,9
			10	0	132,7	1878			
	8	0	10	3.2	18,0	396	336,3	23,8	68,8
			10	4	52,0	1418	271,9	-26,6	4,4
			10	4.0.2	52,3	1436	271,3	-27,8	3,9
			10	4.0.1	60,6	1470	262,8	-27,9	-4,6
			10	5	101,3	804	236,6	21,8	-30,8
			10	0	132,0	1878			
	9	0	15	3.2	14,5	363	339,0	23,0	84,9
			15	4	39,5	1379	271,1	-27,7	17,0
			15	4.0.2	40,0	1409	270,4	-29,7	16,2

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	4.0.1	48,3	1428	261,8	-28,4	7,6
			15	2.0.1	34,0	608	290,1	17,3	35,9
			15	2	44,0	618	280,1	19,6	25,9
			15	5	86,5	775	238,6	20,9	-15,5
			15	0	132,0	1878			
	10	0	15	2.0.1	24,0	556	289,9	16,8	49,0
			15	4	28,0	1330	270,6	-28,3	29,6
			15	4.0.2	28,7	1364	269,7	-30,4	28,8
			15	2	33,7	565	278,8	19,5	37,8
			15	2.2	40,0	735	267,4	11,6	26,5
			15	2.2.1	45,0	735	262,9	13,0	21,9
			15	0	131,9	1878			
	11	0	10	2.0.1	16,0	498	291,3	16,6	63,5
			10	4	17,0	1272	271,7	-28,7	43,9
			10	4.0.3	18,7	1308	269,5	-30,5	41,7
			10	2	24,0	505	279,3	19,4	51,5
			10	2.2.1	32,5	669	263,2	13,0	35,4
			10	2.2	26,3	658	270,0	11,6	42,2
			10	1	121,0	1403	153,4	-11,9	-74,4
			10	0	131,7	1878			
	12	0	10	2.0.1	11,3	454	293,1	16,1	78,6
			10	4	9,3	1230	271,6	-29,5	57,1
			10	4.0.3	10,5	1265	269,9	-31,4	55,4
			10	2.2	17,3	586	270,7	12,1	56,2
			10	2	18,5	455	277,1	19,7	62,6
			10	2.2.1	23,3	612	261,9	12,9	47,3
			10	1	116,0	1411	151,0	-12,0	-63,5
			10	1.0.1	116,7	1440	147,3	-14,0	-67,3
			10	0	131,5	1879			
	13	0	10	2.2	12,0	532	269,7	12,4	68,4
			10	2.2.1	15,8	556	261,4	12,9	60,0
			10	4.0.3	6,0	1221	266,6	-31,1	65,3
			10	1		1397			
			10	2	14,3	406	277,7	19,8	76,4

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			10	0	131,5	1879			
	14	0	10	1	95,2	1374	152,7	-12,1	-35,4
			10	1.2	109,3	1563	123,6	-22,7	-64,5
			10	0	131,3	1880			
	15	0	10	1	83,0	1323	152,2	-11,4	-22,7
			10	1.0.2	86,3	1374	147,8	-13,8	-27,1
			10	1.0.1	91,0	1344	144,2	-10,9	-30,7
			10	1.2	102,0	1547	123,2	-22,1	-51,7
			10	1.2.1	106,8	1563	114,5	-22,6	-60,4
			10	1.2.2	110,0	1593	103,7	-24,8	-71,2
			10	1.3	115,6	1527	97,4	-19,6	-77,5
			10	1.3.1	123,0	1341	98,7	-6,2	-76,2
			10	0	131,0	1880			
	16	0	10	1	68,0	1274	152,9	-12,1	-8,8
			10	1.0.2	72,0	1331	148,1	-14,5	-13,5
			10	1.0.1	74,3	1298	147,0	-11,9	-14,7
			10	1.2	91,0	1532	123,5	-22,9	-38,1
			10	1.2.1	95,5	1333	126,6	-8,9	-35,1
			10	1.2.2	103,5	1587	104,0	-24,4	-57,6
			10	1.3	110,0	1534	97,7	-19,7	-64,0
			10	1.3.1	115,5	1336	102,0	-5,7	-59,7
			10	1.3.2	117,0	1445	91,3	-12,9	-70,4
			10	1.3.3	111,5	781	117,8	27,5	-43,9
			10	1.3.4	125,0	940,00 1	95,1	19,5	-66,5
			10	0	130,7	1880			
	17	0	20	1	52,7	1207	153,7	-12,4	5,3
			20	1.0.1	58,5	1246	148,0	-13,0	-0,4
			20	1.2	78,5	1904			
			20	1.2.1	83,3	1507	118,9	-22,8	-29,5
			20	1.2.2	93,6	1570	104,9	-24,7	-43,4
			20	1.3.1	105,7	1318	102,5	-5,7	-45,8
			20	1.3	102,0	1520	97,7	-19,5	-50,7
			20	1.3.2	111,4	1446	88,7	-13,0	-59,6

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	1.3.3	99,7	953	117,0	14,8	-31,3
			20	1.3.4	118,0	756	93,9	30,5	-54,5
			20	1.3.5		1108			
			20	0	130,5	1880			
	18	0	15	1	39,0	1131	153,9	-12,2	18,7
			15	1.0.1	45,5	1170	147,3	-12,4	12,1
			15	1.2	65,7	1463	123,3	-24,6	-11,9
			15	1.2.1	70,3	1464	119,1	-23,3	-16,1
			15	1.2.2	83,0	1541	104,4	-25,0	-30,8
			15	1.3	91,0	1502	98,0	-20,3	-37,2
			15	1.3.1	94,0	1290	102,5	-6,1	-32,7
			15	1.3.2	100,0	1435	91,2	-13,9	-44,0
			15	1.3.4	107,0	936	96,0	17,7	-39,2
			15	1.3.5	116,0	1096	82,1	9,8	-53,1
			15	1.3.3	130,3	701	49,4	33,1	-85,8
			15	0	130,4	1881			
	19	0	12	1	26,0	1065	154,4	-13,0	32,3
			12	1.0.1	32,7	1120	146,7	-13,8	24,7
			12	1.2	52,0	1396	123,9	-24,4	1,9
			12	1.2.1	56,0	1400	120,2	-23,4	-1,8
			12	1.2.2	70,7	1496	104,3	-25,1	-17,7
			12	1.3	79,0	1454	98,2	-19,9	-23,8
			12	1.3.1	81,6	1254	101,6	-6,7	-20,5
			12	1.3.2	88,0	1400	91,6	-14,1	-30,4
			12	1.3.4	95,0	900	96,2	17,4	-25,8
			12	1.3.5	104,3	1074	83,7	9,2	-38,3
			12	2	109,3	1565	55,2	-21,0	-66,8
			12	2.0.1	111,0	1529	55,8	-18,2	-66,3
			12	0	130,3	1882			
	20	0	15	1	16,3	1000	153,2	-13,2	44,5
			15	1.0.1	21,5	1050	146,1	-14,0	37,4
			15	1.2	40,7	1333	122,1	-24,3	13,4
			15	1.2.1	44,3	1333	118,7	-23,0	9,9
			15	1.2.2	59,0	1442	102,9	-25,1	-5,8

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	1.3	67,3	1397	96,8	-19,4	-12,0
			15	1.3.1	68,3	1191	100,9	-6,5	-7,9
			15	1.3.2	75,0				
			15	1.3.4	83,2	845	94,9	17,7	-13,9
			15	1.3.5	91,5	1031	84,0	9,1	-24,8
			15	2	103,5	1558	52,5	-20,9	-56,3
			15	2.0.1	105,3	1528	52,1	-18,4	-56,6
			15	2.2	98,0	1710	43,6	-34,0	-65,2
			15	3	120,5	1416	27,7	-9,8	-81,0
			15	3.0.2	127,7	866	31,9	25,3	-76,9
			15	3.0.1	124,5	1071	40,3	12,9	-68,5
			15	3.0.3	128,0	971	31,6	18,9	-77,1
			15	0	130,0	1882			
	21	0	20	1	7,6	931	154,3	-13,4	58,7
			20	1.0.1	11,7	974	146,7	-13,9	51,2
			20	1.2	28,5	1270	122,2	-25,0	26,7
			20	1.2.1	31,3	1270	119,1	-23,8	23,6
			20	1.2.2	45,7	1375	103,2	-25,2	7,7
			20	1.3	53,0	1334	97,4	-19,9	1,9
			20	1.3.1	54,0	1130	100,7	-7,2	5,2
			20	1.3.2	62,0				
			20	1.3.4	70,0	790	94,5	17,2	-1,0
			20	1.3.5	77,3	974	84,5	8,7	-11,0
			20	2	94,0	1535	52,8	-20,9	-42,7
			20	2.0.1	95,0	1506	53,3	-18,7	-42,3
			20	2.2	91,3	1695	43,9	-33,6	-51,6
			20	3	116,0	1421	28,2	-9,5	-67,3
			20	3.0.2	122,0	874	33,9	25,0	-61,7
			20	3.0.1	118,0	1070	39,3	12,6	-56,2
			20	3.0.3	124,2	989	29,0	18,2	-66,5
			20	0	130,0	1883			
	22	0	15	1	2,3	883	154,8	-14,0	72,4
			15	1.0.1	4,0				
			15	1.2	18,4	1201	121,7	-25,0	39,3

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	1.3	38,5	1265	98,5	-20,7	16,2
			15	1.3.1	39,6	1055	101,3	-7,7	18,9
			15	1.3.4	56,0	718	95,0	16,9	12,7
			15	1.3.5	62,3	910	85,1	8,1	2,8
			15	2	82,8	1502	52,4	-21,3	-29,9
			15	2.0.1	84,0	1468	52,6	-18,8	-29,7
			15	2.2	81,7	1665	44,7	-33,5	-37,6
			15	3	104,0	1411	33,8	-10,3	-48,5
			15	3.0.4	104,7	1401	33,4	-9,5	-48,9
			15	3.0.1	109,0	1046	38,6	12,7	-43,8
			15	3.0.2	114,3	851	33,5	25,5	-48,8
			15	3.0.3	116,6	981	29,2	18,0	-53,1
			15	0	129,7	1883			
	23	0	0	1.2	10,7				
			0	1.3	28,0				
			0	1.3.1	28,0				
			0	1.3.4	42,5				
			0	1.3.5	46,5				
			0	2.2	69,3				
			0	2	69,0				
			0	2.0.1	70,5				
			0	3	93,7				
			0	3.0.4	94,3				
			0	3.0.1	99,0				
			0	3.0.2	106,0				
			0	3.0.3	109,0				
			0	3.2	116,0				
			0	0	129,5				
	24	0	0	1.2	4,0	1875			
			0	1.3	17,0	1128	97,4	-21,3	41,3
			0	1.3.1	16,8	898	101,4	-7,8	45,4
			0	1.3.4	32,5	566	95,2	16,8	39,1
			0	1.3.5	34,5	753	86,6	7,3	30,5
			0	2	56,3	1388	52,9	-22,0	-3,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			0	2.0.1	57,5	1355	52,7	-19,5	-3,4
			0	2.2	59,7	1585	43,8	-34,6	-12,2
			0	3	59,3	1335	51,6	-17,6	-4,4
			0	3.0.4	80,3	1318	34,0	-10,0	-22,1
			0	3.0.1	83,5	961	39,4	11,7	-16,7
			0	3.0.2	93,5	786	32,7	24,8	-23,3
			0	3.0.3	96,0	906	28,4	18,4	-27,7
			0	3.2	108,0	1485	356,8	-13,7	-59,2
			0	3.3	124,0	1136	344,5	10,2	-71,6
			0	3.3.1	128,2	873	331,8	25,8	-84,2
			0	*	129,0	1883			
	25	0	20	1.3	8,3	1070	98,0	-22,3	55,4
	25	0	20	1.3.1	9,0	836	100,8	-8,3	58,2
			20	1.3.5	23,5	684	86,7	6,5	44,0
			20	1.3.4	24,3	510	93,6	16,1	50,9
			20	2	43,0	1321	53,0	-22,7	10,3
			20	2.0.1	42,2	1285	54,4	-20,7	11,7
			20	2.2	48,0	1520	43,9	-34,5	1,2
			20	3	65,0	1273	34,9	-11,9	-7,8
			20	3.0.4	66,5	1253	34,1	-10,2	-8,5
			20	3.0.1	70,0	886	39,4	12,0	-3,3
			20	3.0.2	79,0	729	34,8	23,9	-7,8
			20	3.0.3	83,0	850	28,8	18,0	-13,9
			20	3.0.5	80,0	925	30,0	12,8	-12,7
			20	3.2	99,3	1466	356,5	-14,0	-46,1
			20	3.3	119,3	1138	341,7	9,9	-61,0
			20	3.3.1	125,0	889	332,6	25,6	-70,1
			20	0	129,3	1883			
	26	0	10	1.3	3,4	1011	96,4	-21,9	66,8
			10	1.3.5	15,0	626	86,6	5,6	57,0
			10	1.3.4	18,0	462	92,1	15,4	62,6
			10	2	31,0	1277	52,3	-24,8	22,7
			10	2.0.1	32,3	1209	52,0	-19,9	22,4
			10	2.2	37,0	1459	43,2	-34,7	13,7

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			10	3	51,3	1205	34,7	-12,4	5,1
			10	3.0.4	53,0	1190	33,6	-10,9	4,0
			10	3.0.1	56,0	820	39,5	11,2	9,9
			10	3.0.2	66,0	665	34,9	23,4	5,4
			10	3.0.3	67,0	790	30,9	16,6	1,4
			10	3.0.6	68,5	840	28,5	14,2	-1,1
			10	3.0.5	64,0	885	31,3	10,2	1,7
			10	3.2	87,5	1425	357,2	-14,1	-32,3
			10	3.3	110,0	1113	342,5	10,1	-47,0
			10	3.3.1	119,0	873	332,0	26,2	-57,5
			10	0	129,0	1884			
	27	0	10	1.3	0,4	981	96,5	-23,1	80,1
			10	2	20,5	1200	52,0	-24,7	35,6
			10	2.0.1	21,0	1148	51,9	-21,1	35,6
			10	2.2	27,5	1411	41,6	-35,9	25,3
			10	3.0.6	56,0	713	29,1	17,1	12,8
			10	3.0.5	51,0	773	31,7	12,0	15,4
			10	3	39,0	1133	33,6	-12,7	17,3
			10	3.0.4	40,5	1106	32,8	-10,5	16,5
			10	3.0.2	56,0	596	32,7	23,8	16,4
			10	3.0.1	42,7	738	39,9	10,9	23,6
			10	3.0.3	57,0	839	25,0	10,4	8,7
			10	3.2	73,0	1375	358,7	-15,3	-17,6
			10	1.3.5	10,0	561	86,1	6,0	69,8
			10	1.3.4	15,0	408	89,9	16,0	73,6
			10	3.3	99,0	1080	342,5	9,6	-33,8
			10	3.3.1	111,0	860	331,6	25,6	-44,7
			10	4	103,8	1634	309,4	-24,4	-66,9
			10	4.0.1	106,0	1583	311,6	-20,1	-64,7
			10	0	129,0	1884			

Tabla 6. 2. Observaciones de Oriani de 1779 y coordenadas heliográficas obtenidas

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
enero	9	0	20	1	76,7	1015	31,2	-7,6	-5,0
			20	2	78,1	628	28,6	15,6	-7,5
			20	3	96,9	623	12,2	15,5	-24,0
			20	4	124,9	640	341,6	14,7	-54,6
			20	5	137,1	1040	324,1	-8,7	-72,1
			20	0	140,8	1926			
	10	0	15	1	60,2	1023	31,6	-7,4	8,5
			15	2	63,1	634	27,9	15,8	4,9
			15	3	82,3	625	11,7	15,5	-11,4
			15	4	113,2	626	342,6	14,8	-40,4
			15	5	131,2	1100	321,8	-13,3	-61,2
			15	0	140,7	1926			
	11	0	20	1	44,2	1047	32,2	-7,7	22,3
			20	2	47,3	655	28,3	15,6	18,5
			20	3	66,6	637	11,7	15,4	1,9
			20	4	100,2	619	342,5	15,0	-27,3
			20	4.2	101,3	1041	344,0	-10,4	-25,8
			20	5	122,5	1091	321,7	-13,6	-48,2
			20	6	136,4	1196	294,5	-19,0	-75,3
			20	0	141	1926			
	12	0	25	1	29,5	1082	33,0	-8,1	36,3
			25	2	32,8	678	28,4	15,7	31,8
			25	3	51	666	11,6	14,7	14,9
			25	4.2	85,7	1052	344,4	-10,7	-12,3
			25	4	86,1	626	341,7	14,9	-14,9
			25	5	110,3	1093	321,9	-14,0	-34,7
			25	6	131	1177	294,2	-18,9	-62,5
			25	7	134,4	1235	284,4	-22,0	-72,3
			25	0	140,8	1928			
	13	0	32	1	18,7	1109	32,0	-8,1	48,6
			32	2	20,8	702	28,1	16,0	44,7
			32	3	37,6	678	10,3	15,3	26,9

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			32	4.2	70,5	1065	343,9	-10,7	0,5
			32	4	71,5	638	340,8	14,8	-2,6
			32	5	97,6	1094	320,9	-14,1	-22,5
			32	6	122,8	1159	293,9	-18,6	-49,5
			32	7	129,9	1216	281,9	-21,8	-61,5
			32	0	140,9	1926			
	14	0	15	1	9,6	1134	32,4	-7,7	62,0
			15	2	11,6	731	27,4	16,0	57,0
			15	3	24,4	699	10,6	15,8	40,3
			15	4.3	40,8	1077	356,0	-8,8	25,6
			15	4.2	54,5	1083	344,2	-10,6	13,8
			15	4	56,3	652	340,3	15,0	9,9
			15	5	82,5	1098	321,0	-13,8	-9,4
			15	6	111,5	1147	294,1	-18,2	-36,3
			15	7	121	1199	282,3	-21,5	-48,1
			15	0	140,6	1924			
	15	0	15	1	3,7	1169	33,6	-7,6	76,4
			15	2	4,5	758	28,4	16,5	71,1
			15	3	13,2	732	11,5	16,1	54,3
			15	4.3	25,8	1109	357,7	-8,5	40,5
			15	4.2	40	1115	344,0	-10,7	26,8
			15	4	41,7	682	339,8	14,9	22,6
			15	5	66,9	1115	320,9	-13,5	3,7
			15	6	98,1	1152	294,1	-18,1	-23,1
			15	7	110,6	1195	281,4	-21,3	-35,8
			15	0	140,4	1928			
	16	0	10	3	7	764	8,7	15,8	64,6
			10	4.3	15,8	1143	357,0	-8,6	52,9
			10	4.4	22,5	1424	358,3	-26,3	54,2
			10	4.5	34,7	1453	344,3	-30,3	40,2
			10	4.2	28	1143	342,8	-10,6	38,7
			10	4	30	710	337,8	14,8	33,7
			10	5	52	1143	320,6	-13,7	16,5
			10	6	83,5	1164	294,0	-18,0	-10,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			10	7	98	1198	280,9	-21,2	-23,2
			10	8	134,3	624	226,6	13,2	-77,5
			10	0	140,1	1928			
	17	0	16	3	2,5	801	6,9	15,4	76,0
			16	4.3	7,7	1175	357,5	-8,3	66,6
			16	4.4	15,7	1456	358,8	-26,3	67,9
			16	4.5	26	1485	343,8	-30,4	52,9
			16	5	37,5	1182	320,9	-14,0	30,1
			16	6	68,6	1177	293,6	-17,6	2,8
			16	7	83,5	1207	281,0	-20,8	-9,9
			16	8	128	609	228,0	13,0	-62,8
			16	0	139,9	1928			
	18	0	10	4.3	3,7	1210	356,9	-8,4	79,1
			10	4.4	12	1485	0,6	-26,1	82,9
			10	4.5	20	1520	343,3	-30,8	65,5
			10	5	25,5	1214	320,7	-13,8	43,0
			10	6	53,3	1211	294,2	-17,8	16,4
			10	7	69,99	1230	280,0	-21,0	2,2
			10	8.2	111	540	236,0	17,2	-41,7
			10	8.3	116,5	493	227,7	20,1	-50,1
			10	8	120,3	599	226,5	13,1	-51,3
			10	0	140	1928			
	19	0	22	5	16,8	1240	318,8	-13,4	54,3
			22	5.2	18,3	1222	316,3	-12,7	51,8
			22	6	40,1	1230	293,2	-17,1	28,7
			22	7	55,7	1242	279,3	-20,1	14,8
			22	8.2	99	546	235,0	17,1	-29,5
			22	8.3	105	486	227,4	20,6	-37,1
			22	8	109	595	226,1	13,3	-38,4
			22	9	122	1005	216,3	-12,0	-48,2
			22	10	123,8	476	201,6	20,8	-62,9
			22	0	139,8	1925			
	20	0	30	5	9	1278	320,0	-13,1	68,7
			30	5.2	10,3	1254	316,2	-12,2	64,9

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			30	6	27,4	1273	293,7	-17,1	42,4
			30	7	41,5	1275	279,5	-19,7	28,3
			30	8.2	86	553	233,3	17,6	-17,9
			30	8.3	92	487	226,6	21,3	-24,6
			30	8	96	593	225,0	14,1	-26,2
			30	9	110,2	1007	215,9	-11,8	-35,3
			30	10	116,5	465	198,9	21,1	-52,4
			30	0	139,4	1929			
	21	0	12	5	5,6	1304	319,2	-12,8	80,9
			12	5.2	6,1	1280	314,7	-11,9	76,5
			12	6	17,6	1298	293,7	-16,2	55,4
			12	7	29,8	1308	279,3	-19,4	41,0
			12	8.2	69		182,3	79,9	-55,9
			12	8.3	77,5	510	226,9	21,1	-11,3
			12	9	95,7	1015	216,8	-11,4	-21,5
			12	10	105,8	461	198,8	21,5	-39,4
			12	1	135,1	1217	160,3	-25,2	-78,0
			12	2	137	1000	162,6	-12,2	-75,6
			12	0	139,4	1926			
	22	0	12	6	11,1	1340	293,5	-16,4	68,4
			12	7	20,3	1342	278,7	-19,0	53,6
			12	8.2	53,3	607	235,4	18,3	10,3
			12	8.3	63,5	548	226,1	20,5	1,0
			12	9	81,2	1042	216,3	-11,6	-8,8
			12	10	93,8	473	198,0	21,4	-27,1
			12	1	131,8	1210	157,0	-25,6	-68,1
			12	2	131,8	992	161,6	-12,6	-63,5
			12	3	136,1	959	152,1	-10,4	-73,0
			12	0	139,3	1927			
	23	0	14	6	7,6	1374	293,7	-16,3	81,8
			14	7	13,6	1381	278,2	-19,1	66,3
			14	8.2	38,5	643	235,6	18,6	23,7
			14	8.3	48,6	574	225,9	21,2	14,0
			14	9	65,4	1065	216,3	-10,9	4,4

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			14	10	80,1	485	197,2	22,0	-14,7
			14	2	123,5	976	160,8	-12,0	-51,1
			14	1	125,6	1195	155,7	-25,2	-56,2
			14	3	130,6	929	150,0	-9,3	-61,9
			14	0	139	1927			
	24	0	15	7	10,2	1410	275,9	-19,0	77,2
			15	8.2	25,8	684	235,3	18,8	36,6
			15	8.3	35,5	609	225,1	21,5	26,3
			15	9	50,6	1094	215,9	-10,3	17,1
			15	10	66	515	196,5	22,0	-2,2
			15	2	111,4	974	161,6	-11,5	-37,1
			15	1	116	1189	156,0	-24,8	-42,7
			15	3	120,3	912	151,3	-8,5	-47,4
			15	0	138,8	1925			
	25	0	12	8.2	15,3	727	235,0	19,0	49,4
			12	8.3	23,8	647	224,4	21,9	38,8
			12	9	36,3	1141	216,2	-10,2	30,6
			12	10	52,3	545	195,5	22,4	9,9
			12	2	99,4	990	160,4	-11,5	-25,2
			12	1	106,3	1199	154,1	-24,8	-31,5
			12	3	108,4	930	151,3	-8,9	-34,3
			12	4	128,2	495	110,7	17,1	-74,9
			12	5	131,5	1339	107,1	-34,8	-78,4
			12	0	138,8	1926			
	26	0	10	8.2	7	767	235,4	19,4	63,0
			10	9	24	1185	216,4	-9,9	44,0
			10	10	38,4	588	195,3	22,5	22,9
			10	2	83,2	1020	161,6	-11,4	-10,8
			10	1	93	1215	154,4	-24,4	-18,1
			10	3	93,7	940	151,8	-8,1	-20,6
			10	4.2	122	490	111,2	16,6	-61,3
			10	4	123,7	510	109,4	15,3	-63,1
			10	5	127	1324	108,0	-34,8	-64,5
			10	0	138,6	1924			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
	27	0	30	2	68,5	1073	161,0	-12,2	1,9
			30	3	77,7	980	152,3	-8,3	-6,8
			30	1	79,4	1251	153,8	-24,7	-5,3
			30	4.2	112,8	488	110,6	16,8	-48,5
			30	4	116,1	503	107,0	15,6	-52,1
			30	4.3	118,3	479	102,7	17,0	-56,4
			30	5	119,3	1335	108,4	-35,6	-50,7
			30	6	79,4	220	135,6	40,9	-23,5
			30	0	138,3	1925			
	28	0	13	2	52,7	1117	161,7	-11,9	15,6
			13	3	61,3	1018	153,1	-7,8	7,0
			13	6	65	245	138,3	41,7	-7,8
			13	1	65,7	1283	153,4	-24,2	7,4
			13	4.2	102	501	109,8	16,7	-36,3
			13	4	104	504	107,8	16,2	-38,3
			13	4.3	106	479	104,8	17,6	-41,3
			13	5	107,5	1330	112,0	-34,3	-34,1
			13	0	138	1925			
	29	0	35	2	39	1164	161,2	-11,6	28,5
			35	3	45,4	1065	153,6	-7,3	20,9
			35	1	52,1	1315	152,9	-23,3	20,2
			35	6	53	265	137,8	43,0	5,1
			35	4.2	88				
			35	4	93	522	105,4	16,2	-27,3
			35	4.3	97	491	100,7	17,6	-32,0
			35	5	99	1345	108,5	-34,4	-24,2
			35	7	118,3	1027	87,0	-17,1	-45,7
			35	0	137,7	1925			
	30	0	12	2	26,8	1211	161,3	-11,2	41,5
			12	3	32,7	1112	153,0	-7,1	33,2
			12	1	40	1360	152,6	-23,1	32,9
			12	6	43	302	136,2	42,8	16,5
			12	4.2	73,5	533	109,5	18,6	-10,2
			12	5	88,2	1368	107,2	-34,3	-12,6

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
			12	7	107,1	1032	86,5	-16,5	-33,3
			12	7.2	133,4	1112	46,3	-23,3	-73,5
			12	7.3	134,4	1085	44,0	-21,6	-75,7
			12	0	137,4	1923			
	31	0	20	2	18	1260	159,9	-11,1	53,3
			20	3	21,7	1169	152,4	-7,1	45,9
			20	1	29,5	1408	152,3	-22,8	45,8
			20	5	75,5	1405	107,2	-34,2	0,6
			20	7	94,5	1059	85,6	-16,5	-21,0
			20	7.2	128	1105	45,0	-23,4	-61,5
			20	8	108,3	1253	71,8	-30,5	-34,8
			20	0	137,1	1924			
febrero	1	0	20	2	9,5	1315	163,3	-10,7	69,9
			20	3	12,6	1220	152,7	-6,8	59,4
			20	1	21,1	1459	152,8	-22,8	59,5
			20	4.2	42,2	635	111,2	18,9	17,8
			20	5	63	1451	107,3	-34,3	14,0
			20	7	69,8				
			20	8	96	1283	72,4	-30,7	-21,0
			20	7.2	118,6	1107	46,5	-23,1	-46,9
			20	9	121,6	477	28,8	14,9	-64,5
			20	9.2	127,5	511	16,8	12,9	-76,6
			20	9.3	129,5	563	15,7	9,5	-77,7
			20	0	137	1924			
	2	0	17	3	7	1267	152,8	-6,8	72,6
			17	1	15,3	1492	153,4	-22,0	73,2
			17	4.2	29	692	111,1	19,0	30,9
			17	5	52,4	1485	105,9	-33,7	25,6
			17	8	84	1313	71,5	-30,5	-8,7
			17	7.2	107,8	1120	46,1	-23,0	-34,1
			17	9	114,3	473	26,6	15,2	-53,6
			17	9.2	122,8	492	13,6	13,4	-66,6
			17	9.3	124,9	542	12,7	10,1	-67,5
			17	10	135	852	0,2	-8,8	-80,0

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			17	0	136,6	1921			
	3	0	17	4.2	17,7	760	111,2	18,5	44,1
			17	5	42,7	1533	105,0	-33,6	38,0
			17	7.2	95	1150	46,2	-22,8	-20,8
			17	9	103,8	494	26,7	14,8	-40,3
			17	9.2	115,5	495	12,6	13,3	-54,4
			17	9.3	117,2	541	12,4	10,2	-54,7
			17	10	129,7	835	1,2	-8,6	-65,8
			17	0	136,5	1923			
	4	0	18	4.2	8,7	810	111,5	19,0	57,6
			18	5	34,9	1583	104,2	-33,8	50,3
			18	7.2	81,5	1185	46,0	-22,3	-7,9
			18	9	91,6	521	26,1	14,8	-27,7
			18	9.2	105,4	502	11,9	13,7	-42,0
			18	9.3	107	552	11,8	10,3	-42,0
			18	10	121,7	838	1,0	-8,6	-52,9
			18	0	136,4	1923			
	6	0	20	5	25	1653	102,0	-33,2	74,5
			20	7.2	51,7	1291	47,9	-21,5	20,3
			20	9	62	604	26,4	15,7	-1,1
			20	9.2	77,9	562	12,2	14,5	-15,3
			20	9.3	79	613	12,4	11,2	-15,1
			20	10	97,2	875	1,3	-7,9	-26,2
			20	1	120,3	392	314,6	19,0	-73,0
			20	1.2	121,4	411	313,9	17,6	-73,6
			20	1.3	124,1	484	315,0	12,4	-72,5
			20	2	130,2	896	320,0	-13,5	-67,5
			20	2.2	131,2	1033	317,5	-21,7	-70,0
			20	3	132,3	881	314,6	-12,6	-72,9
			20	0	135,8	1919			
	7	0	25	7.2	39,2	1348	48,0	-21,1	33,7
			25	9	47,7	659	26,0	16,0	11,7
			25	9.2	64	609	11,4	14,7	-2,9
			25	9.3	64,3	655	12,0	11,9	-2,3

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			25	10	82,4	922	1,7	-7,8	-12,6
			25	1	114	391	314,5	18,8	-59,8
			25	1.2	116	405	312,2	17,6	-62,1
			25	1.3	117,7	473	314,1	12,9	-60,2
			25	1.4	120	375	299,2	19,9	-75,1
			25	2	123,4	893	318,7	-13,4	-55,6
			25	2.2	125,3	1028	316,2	-21,6	-58,1
			25	3	125,8	886	314,9	-13,2	-59,4
			25	3.2	134,1	979	295,5	-18,7	-78,8
			25	0	135,7	1917			
	8	0	30	7.2	28,8	1410	48,2	-21,0	47,1
			30	9	33,9	728	26,0	15,9	24,9
			30	9.2	50	675	10,7	14,4	9,7
			30	9.3	50,2	722	11,3	11,5	10,2
			30	10	68	975	1,0	-7,7	0,0
			30	1.0.1	100,8	180	300,1	36,3	-61,0
			30	1	106,2	408	312,6	18,2	-48,5
			30	1.2	108	405	310,2	18,1	-50,9
			30	1.4	113,8	376	299,6	19,4	-61,5
			30	2	113,2	915	318,6	-13,7	-42,5
			30	2.2	116,3	1044	315,7	-21,8	-45,4
			30	3	116	897	315,0	-13,0	-46,1
			30	3.2.1	121,3	922	308,2	-15,2	-52,9
			30	3.2	129	973	295,2	-18,9	-65,9
			30	4	134,2	1030	278,3	-21,9	-82,8
			30	0	135,2	1918			
	9	3	10	7.2	20,5	1457	47,3	-20,5	60,9
			10	9	20,4	797	27,9	16,2	39,8
			10	9.2	34,3	740	12,6	15,0	24,5
			10	9.3	34,5	786	13,0	12,2	24,9
			10	10	51,4	1036	2,7	-7,1	14,6
			10	1.0.1	92	198	302,2	35,8	-45,9
			10	1	94,5	439	313,4	17,8	-34,7
			10	1.2	96,5	426	310,9	18,3	-37,2

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			10	2	99,2	937	320,3	-12,9	-27,8
			10	2.2	103,8	1061	317,0	-21,1	-31,1
			10	3	102,9	914	316,4	-12,3	-31,7
			10	3.2.1	110	937	309,2	-14,9	-38,9
			10	3.2	120	970	296,9	-18,5	-51,2
			10	4	129,8	1000	279,4	-21,1	-68,7
			10	0	134,8	1911			
	10	0	30	9	13,7	837	23,4	16,8	48,7
			30	7.2	16,8	1515	47,4	-21,1	72,7
			30	9.3	22,7	848	12,4	12,7	37,6
			30	9.2	23,5	806	11,0	14,9	36,2
			30	10	34	1092	5,7	-4,8	31,0
			30	1.0.1	84	200	298,4	37,4	-36,4
			30	1	86	457	308,6	18,4	-26,1
			30	1.2	87	464	307,9	17,7	-26,8
			30	2	87,7	975	318,2	-12,6	-16,6
			30	3	91	947	314,8	-11,7	-19,9
			30	2.2	92,8	1100	315,3	-21,1	-19,5
			30	3.2.1	99,5	970	307,2	-14,9	-27,5
			30	3.2	113	986	293,0	-18,4	-41,7
			30	4	134,7	1004	247,5	-20,8	-87,3
			30	0	135	1917			
	11	0	12	9.2	15	874	8,8	14,3	47,1
			12	9.3	28				
			12	1	73,3	503	307,6	18,4	-14,1
			12	1.0.1	74,5	227	296,6	37,6	-25,2
			12	1.2	74,7	510	306,6	17,6	-15,1
			12	2	77				
			12	2.2	80,3	1159	314,4	-21,7	-7,4
			12	3	82,3	1003	310,0	-13,1	-11,7
			12	3.2.1	86,5	1012	306,5	-14,6	-15,2
			12	3.2	101,3	1024	292,8	-18,7	-29,0
			12	4	116,5	1020	275,3	-21,4	-46,4
			12	0	134,5	1918			

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
	14	0	25	1.2	33,3	698	306,1	18,5	23,9
			25	2.2	41,7	1347	313,6	-20,9	31,5
			25	1.0.1	42	370	293,1	37,6	11,0
			25	3.2.1	44	1197	306,7	-13,3	24,5
			25	3.2	60,2	1178	292,4	-17,3	10,3
			25	6	78,5	1147	276,1	-20,8	-6,0
			25	5	98	394	240,6	18,7	-41,5
			25	5.2	101,8	416	237,5	16,5	-44,7
			25	5.3	112	416	224,4	14,7	-57,7
			25	0	134	1917			
	15	0	20	1	21,1	752	306,5	19,9	37,5
			20	1.2	22,8	767	304,7	18,3	35,7
			20	2	25	1265	314,1	-10,5	45,1
			20	1.0.1	32,2	421	291,6	37,9	22,6
			20	2.2	32,2	1406	312,6	-20,8	43,6
			20	3.2.1	33	1258	305,6	-13,0	36,6
			20	3.2	47,8	1244	291,7	-17,3	22,7
			20	4	65,7	1203	275,4	-20,6	6,4
			20	5	86,5	427	240,1	19,0	-28,9
			20	5.2	91,1	450	236,6	16,4	-32,4
			20	5.3	103,7	438	223,2	14,3	-45,8
			20	5.4	121,8	448	193,8	11,5	-75,2
			20	0	134	1912			
	16	0	17	1	11,3	801	307,0	21,4	51,2
			17	2	16,7	1315	313,2	-9,5	57,4
			17	2.2	24	1548	319,0	-24,7	63,2
			17	3.2.1	22,7	1311	305,4	-11,8	49,5
			17	3.2	35,8	1301	291,3	-16,2	35,5
			17	4	53	1255	274,4	-19,5	18,5
			17	5	74	468	239,1	19,6	-16,8
			17	5.2	78,8	486	235,5	17,1	-20,4
			17	5.3	92				
			17	6	107,7	296	194,7	23,0	-61,2
			17	5.4	116	433	192,3	12,4	-63,5

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			17	5.4.1	119,7	455	186,7	10,6	-69,2
			17	0	133,8	1913			
	17	0	20	1	4,5	864	307,2	21,4	64,6
			20	3.2.1	15	1376	306,2	-11,5	63,5
			20	2.2	17,1				
			20	3.2	26	1376	291,4	-16,3	48,8
			20	4	40,7	1327	274,4	-19,2	31,8
			20	5	59,6	529	239,4	20,0	-3,3
			20	5.2	63,7	546	236,3	17,6	-6,3
			20	5.4	107,5	447	192,0	12,4	-50,7
			20	5.4.1	112	467	187,1	10,3	-55,6
			20	6.2	131,5	903	164,7	-17,9	-78,0
			20	0	133,4	1913			
	18	0	18	3.2	18,8	1440	291,4	-16,1	61,8
			18	4	30,7	1404	274,5	-19,3	44,9
			18	5	46,8	612	238,8	19,2	9,3
			18	5.2	51,3	625	235,2	16,9	5,7
			18	5.3	64	527	222,3	18,7	-7,2
			18	5.4	97	486	192,1	12,0	-37,4
			18	5.4.1	111,1	510	177,3	7,6	-52,3
			18	6.2	126,5	909	165,2	-18,5	-64,3
			18	0	133,5	1916			
	19	0	15	3.2	15,5	1490	288,8	-16,6	72,4
			15	4	22,5	1461	274,4	-18,7	58,0
			15	5	33,1	666	239,1	20,9	22,7
			15	5.2	37,3	687	235,3	18,0	19,0
			15	5.4	83	516	192,5	13,5	-23,9
			15	5.4.1	87,5	543	189,3	10,6	-27,1
			15	6.2	117,3	918	166,5	-18,1	-49,8
			15	0	133	1914			
	20	0	15	4	18,1	1515	272,7	-18,9	69,5
			15	5	21,8	740	238,8	21,1	35,6
			15	5.2	25	754	235,3	18,9	32,1
			15	5.4	69,2	574	192,2	13,9	-11,0

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	5.4.1	73,3	597	189,4	11,2	-13,8
			15	6.2	107,7	948	165,2	-18,1	-38,0
			15	0	132,5	1915			
	21	0	15	5	12,9	808	237,9	21,2	47,8
			15	5.2	15,8	826	234,0	18,8	43,9
			15	5.4	55,4	647	192,0	13,9	2,0
			15	5.4.1	59	670	189,6	11,3	-0,5
			15	6.2	94,8	1002	166,2	-18,2	-23,8
			15	0	132,4	1913			
	22	0	15	5	5,5	870	238,4	21,7	61,5
			15	5.2	8	884	233,4	19,4	56,5
			15	5.4	41	728	192,6	14,3	15,8
			15	5.4.1	44,4	748	190,0	11,9	13,2
			15	6.2	82	1056	165,7	-17,7	-11,1
			15	1	127,5	916	107,5	-20,4	-69,3
			15	0	132,2	1913			
	23	0	15	5.4	28,2	822	193,1	13,9	29,4
			15	5.4.1	31,3	846	190,5	11,2	26,8
			15	5.4.2	64,5	474	153,4	21,3	-10,3
			15	6.2	67,6	1135	166,6	-17,6	2,9
			15	1	121,5	927	106,4	-20,6	-57,3
			15	1.2	125,5	1116	97,6	-32,6	-66,1
			15	0	132,1	1912			
	24	0	15	5.4	17,4	889	192,9	14,8	42,4
			15	5.4.1	19,3	914	191,1	12,5	40,6
			15	5.4.2	51	543	153,3	21,7	2,8
			15	6.2	53,7	1216	167,1	-17,3	16,6
			15	1	112	947	106,8	-20,1	-43,7
			15	1.2	117,8	1123	99,4	-32,0	-51,2
			15	0	131,8	1912			
	25	0	15	5.4	8,7	957	193,4	15,4	56,1
			15	5.4.1	11	986	190,3	12,6	53,0
			15	5.4.2	38,6	620	152,7	21,8	15,4
			15	6.2	42	1285	166,4	-16,6	29,1

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	1	101,8	988	106,0	-20,1	-31,3
			15	1.2	110	1146	98,0	-31,8	-39,4
			15	0	131,8	1910			
	26	0	15	5.4.1	5	1046	189,6	12,8	65,4
			15	5.4.2	26,7	700	152,6	22,1	28,5
			15	6.2	31	1357	166,5	-15,8	42,3
			15	1	89,3	1038	105,9	-19,5	-18,2
			15	1.2	99,7	1183	97,7	-31,3	-26,5
			15	2	108	997	85,8	-22,5	-38,3
			15	0	131,5	1911			
	27	0	20	5.4.1	1,5	1098	190,0	13,0	79,1
			20	5.4.2	15,7	779	153,6	22,6	42,6
			20	6.2	23	1430	166,3	-15,8	55,3
			20	1	76,2	1099	105,6	-18,8	-5,3
			20	1.2	88,3	1228	97,3	-30,5	-13,7
			20	2	94,5	1054	88,0	-22,2	-23,0
			20	3	130	889	30,0	-20,1	-80,9
			20	0	131,3	1909			
	28	0	17	5.4.2	8,5	845	152,3	22,7	54,5
			17	6.2	17	1489	166,8	-15,3	69,0
			17	6.2.1	27,6	1501	152,2	-21,5	54,4
			17	1	63	1180	105,6	-18,8	7,8
			17	2	79,5	1120	90,0	-21,2	-7,8
			17	2.2	89,7	1150	81,2	-26,4	-16,6
			17	4	113,6	360	26,3	14,0	-71,5
			17	3	125,5	881	30,1	-19,9	-67,6
			17	0	131	1909			
Marzo	1	0	15	5.4.2	5,8	870	144,7	23,0	60,1
			15	6.2	15	1541	166,2	-15,8	81,6
			15	6.2.1	23	1554	149,8	-21,5	65,1
			15	1	50,8	1257	105,0	-18,3	20,3
			15	2	65	1188	90,9	-20,0	6,3
			15	2.2	78	1219	80,4	-26,5	-4,2
			15	4	107,5	370	25,3	13,9	-59,3

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			15	4.2	114,5	370	11,3	13,0	-73,4
			15	3	118,3	895	30,2	-19,8	-54,4
			15	3.2	124,5	702	13,5	-9,4	-71,1
			15	5	127,3	884	11,5	-20,5	-73,1
			15	0	130,7	1909			
	2	0	17	5.4.2	1,5	908	144,5	24,2	73,0
			17	6.2.1	20,5	1608	148,8	-22,1	77,4
			17	1	38,5	1340	105,8	-17,7	34,3
			17	2	51	1262	91,8	-18,7	20,3
			17	2.2	61	1292	84,3	-24,3	12,8
			17	2.2.1	65	1292	80,8	-25,9	9,4
			17	4	98,5	397	25,2	14,1	-46,2
			17	4.2	108	372	11,2	13,4	-60,3
			17	3	108,5	928	30,7	-19,6	-40,7
			17	3.2	118	713	13,2	-9,4	-58,3
			17	5	122,5	883	9,2	-20,2	-62,2
			17	0	130,5	1908			
	3	0	23	1	30,7	1424	104,3	-18,5	46,0
			23	2.2	50,5	1376	83,3	-24,6	25,1
			23	2.2.1	53,7	1366	80,1	-25,4	21,9
			23	4	88	442	24,7	14,2	-33,6
			23	3	98,6	974	29,3	-19,5	-28,9
			23	4.2	100,5	392	9,3	13,7	-48,9
			23	3.2	108,8	741	13,2	-9,1	-45,0
			23	5	113,8	910	10,4	-20,1	-47,8
			23	0	130,5	1908			
	4	0	17	2	32,4	1403	88,2	-18,1	43,1
			17	2,2	40,5	1442	82,3	-23,9	37,2
			17	2.2.1	42,4	1440	80,4	-24,6	35,3
			17	4	75,7	498	24,1	14,7	-21,0
			17	3	86,3	1035	29,0	-19,2	-16,1
			17	4.2	89,7	434	9,2	13,9	-35,9
			17	3.2	97,5	789	13,0	-9,0	-32,1
			17	5	102,7	953	11,1	-19,8	-34,0

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declina tionis int.	L	B	A
			17	5.2	129,7	974	317,8	-26,1	-87,3
			17	0	130	1907			
	5	0	15	2	23,8	1477	89,3	-17,5	57,4
			15	2.2.1	34	1513	79,9	-24,4	48,0
			15	4	62	577	24,7	14,9	-7,3
			15	3	74,2	1102	28,1	-18,7	-3,8
			15	4.2	77,3	489	9,2	14,6	-22,7
			15	3.2	83,3	855	14,4	-8,3	-17,5
			15	5	91,6	997	10,1	-18,9	-21,8
			15	5.2	126	957	321,2	-25,8	-70,7
			15	0	130	1907			
	6	0	19	2.2.1	28	1575	78,4	-24,0	59,6
			19	4	49,7	655	23,7	15,4	5,0
			19	3	61,3	1190	28,2	-18,4	9,5
			19	4.2	64,1	562	9,4	15,2	-9,4
			19	3.2	70	935	14,4	-7,8	-4,3
			19	5.2	121,3	965	319,7	-25,5	-59,0
			19	0	130,5	1913			
	7	0	22	2.2.1	23,7	1619	77,8	-23,7	72,3
			22	4	36,5	748	24,0	15,4	18,5
			22	3	48,4	1273	28,7	-17,9	23,2
			22	3.0.1	40,8	1469	44,3	-25,1	38,8
			22	4.2	49,6	656	10,5	15,2	5,0
			22	3.2	55,6	1026	15,1	-7,6	9,6
			22	4.2.1	59,6	536	359,0	18,3	-6,5
			22	5.2	114	992	318,4	-25,8	-47,1
			22	1	127,5	850	289,9	-19,9	-75,7
			22	0	130,3	1904			
	14	0	20	5.2	39,8	1486	314,0	-24,8	40,7
			20	1	45,3	1326	301,1	-18,9	27,8
			20	2	46,1	531	277,1	24,3	3,8
			20	3	102,8	1102	241,5	-29,9	-31,7
			20	4	102	332	216,7	15,1	-56,5
			20	4.2	109	335	205,4	13,3	-67,9

mes	día	hora	Minuto	Nombre	Diff. Tranf prim. Limbi Solis	Diff. Declinationis int.	L	B	A
			20	4.3	113,6	351	195,1	11,8	-78,2
			20	5	128	893	192,4	-23,7	-80,8
			20	0	129,3	1903			
	15	0	22	5.2	32	1553	313,5	-24,1	53,4
			22	2	33,8	615	277,3	25,1	17,2
			22	1	35	1420	301,7	-18,9	41,6
			22	3	92,3	1165	241,2	-29,7	-18,9
			22	3.2	90,7	885	236,5	-13,3	-23,6
			22	4	92	365	217,4	16,0	-42,7
			22	4.2	101	357	206,6	13,7	-53,4
			22	4.3	109	347	193,5	12,4	-66,6
			22	4.3.1	110,2	355	191,9	11,6	-68,2
			22	5	123,3	897	194,2	-23,8	-65,9
			22	0	129,3	1903			
	20	0	20	4	31,7	765	216,4	17,5	22,2
			20	4.2	41	749	207,6	14,0	13,4
			20	3	43	1539	235,3	-28,6	41,2
			20	4.3	59	630	189,5	12,8	-4,6
			20	5	105	1006	158,3	-25,4	-35,9
			20	0	129	1902			
	24	0	22	4	2,3	1056	214,0	18,6	72,6
			22	4.2	5,2	1078	206,4	15,2	65,0
			22	4.3	14,2	991	188,4	14,3	47,0
			22	0	129	1900			

Apéndice 7. Tasa de rotación sinódica y coordenadas heliográficas de las manchas solares observadas por Oriani.

Nombre	Tasa	B	L
4	11,938	-37,1	324,8
2.2	12,98	-34,4	43,5
5	12,757	-34,3	106,9
1.2	12,936	-31,6	98,0
4.0.3	11,794	-31,0	268,7
6.3.3	13,261	-30,8	204,4
8	13,016	-30,6	71,9
4.5	12,682	-30,5	343,8
4	12,724	-29,8	268,3
4.0.2	12,459	-29,3	270,5
6.3.1	12,886	-28,7	206,0
4.0.1	12,6	-28,3	264,5
4	12,612	-27,5	273,2
1.4	12,302	-26,6	95,6
4.4	14,35	-26,2	239,2
5.2	12,591	-25,4	317,4
2.2	13,699	-25,1	82,3
3	12,688	-25,0	286,3
4	13,376	-25,0	67,8
1.2.2	12,928	-24,9	104,1
2.2.1	12,581	-24,7	79,6
1.2	13,272	-24,1	267,5
1.3.1	13,11	-24,1	108,8
3.0.1	12,981	-24,1	133,6
3.0.2	14,253	-24,0	128,9
1.2	13,001	-23,9	122,9
1.3	13,063	-23,7	107,6
1.2.1	13,224	-23,2	119,2
3	12,582	-23,1	134,1
3.2	12,727	-22,7	128,7

Nombre	Tasa	B	L
2	12,995	-22,3	52,9
7.2	13,379	-22,1	46,8
6.5	12,954	-21,9	146,5
2.2	13,019	-21,7	315,7
6.2.1	11,506	-21,7	150,2
6.5.3	14,899	-21,6	143,7
1,3	13,144	-20,6	97,5
7	12,647	-20,5	280,2
4	12,758	-20,1	275,4
2	13,482	-20,0	89,1
5	13,09	-19,9	10,5
12	13,055	-19,6	252,5
1	12,847	-19,4	111,5
2.0.1	12,986	-19,4	53,1
1	12,901	-19,3	105,9
3	12,892	-19,3	29,4
1	14,705	-19,2	297,6
6	13,044	-17,9	281,0
6	12,837	-17,7	335,2
6	13,101	-17,6	293,9
3.2	12,675	-17,5	292,8
6.3	13	-17,3	251,7
6.2	13,29	-17,1	166,1
7	12,412	-16,7	86,4
1	12,84	-16,4	342,5
4.3	12,556	-16,3	38,9
1.2	12,855	-16,2	107,0
10	13,594	-15,9	262,3
3	13,283	-15,5	282,8
10.2	12,685	-15,5	258,3

Nombre	Tasa	B	L
11	13,368	-15,4	294,4
4.2	13,598	-15,0	48,6
3.2	13,832	-14,3	357,3
4.4	13,366	-14,1	53,0
5	12,867	-13,7	23,2
3.2.1	12,847	-13,7	306,9
5	12,945	-13,6	320,6
1.3.2	13,545	-13,5	90,7
6.4.1	13,186	-13,3	162,3
1	13,389	-13,2	291,4
3.0.1	13,174	-13,2	332,7
1.0.1	13,23	-13,0	146,7
4	13,348	-12,9	46,7
6.4	13,233	-12,7	162,6
3	13,352	-12,7	314,3
1	13,442	-12,5	153,3
2	12,492	-12,3	317,6
5.2	12,407	-12,2	315,7
1	11,623	-12,0	49,0
2	13,153	-11,6	161,4
6.4.3	13,161	-11,6	162,5
3	14,143	-11,1	32,2
9	13,162	-11,0	216,3
9	13,631	-10,8	306,3
4.2	12,981	-10,6	343,9
3.0.4	13,131	-10,2	33,6
3.2	13,484	-8,7	13,8
4.3	13,324	-8,5	357,0
3	13,355	-8,1	152,1
1	13,475	-7,8	32,3
10	13,621	-7,7	1,9
1.3.1	13,23	-6,8	101,2
1.3.5	13,673	7,8	85,0

Nombre	Tasa	B	L
5.0.1	13,46	8,1	332,9
5	13,476	8,3	334,9
6.5.1	15,605	8,3	153,7
3	12,864	8,6	65,5
2.4	13,007	9,1	193,3
7.0.1	13,961	9,4	325,7
2.6	13,163	9,7	192,2
3.2.1	12,54	9,9	335,4
3.3	12,703	9,9	342,8
1	12,617	11,0	145,6
9.3	12,971	11,1	12,6
2.3	12,978	11,2	62,1
2.3.2	12,916	11,2	201,2
2.0.2	12,885	11,2	24,2
5.4.1	13,743	11,3	188,4
2.3	15,998	11,4	206,3
3.0.5	14,047	11,7	31,0
2.2	13,98	11,9	269,5
3.0.1	13,219	12,0	39,5
2.3.3	12,036	12,1	198,7
2	13,044	12,3	314,6
2	13,16	12,6	63,3
4.0	13,24	12,6	80,7
4.3	12,522	12,8	191,6
2	12,271	12,9	38,0
2.2.1	12,637	12,9	262,3
2.0.1	13,286	13,2	45,7
3.2	14,579	13,3	69,6
8	12,661	13,4	226,4
6.4	13,206	13,5	192,6
6.3.2	14,755	13,8	184,7
9.2	12,68	14,1	12,2
4.2	12,969	14,1	10,0

Nombre	Tasa	B	L
2.5	13,176	14,3	183,6
3.2	13,021	14,5	185,1
4	12,865	14,6	24,7
2.2	13,426	14,6	61,0
4	12,596	14,9	340,9
3.3	12,735	15,3	179,3
33	12,649	15,5	10,6
9	12,909	15,6	26,5
2	13,095	15,9	28,2
4	11,946	16,1	108,0
2	13,401	16,3	148,1
2.0.1	14,285	16,7	291,1
6.6	13,698	16,8	116,0
1	12,157	16,9	146,6
3.0.3	12,75	16,9	29,0
6.6.1	12,958	17,4	112,9
4.3	12,18	17,4	102,7
5.2	12,739	17,7	235,5
1.2	12,209	18,0	309,1
4.2	13,268	18,0	110,8
8.2	13,197	18,3	235,1
1.3.4	12,872	18,3	94,2
1	12,679	18,4	311,9
1	11,696	18,4	311,9
1	14,809	18,6	144,7
1.3	12,422	18,6	140,3
3.2.2	12,409	18,7	334,1
7	13,268	19,2	294,8
7.0.2	12,512	19,5	319,0
2	12,579	19,6	278,6
2.2	13,258	19,7	31,9
6.5.2	14,039	19,7	167,5
7.3	12,593	20,1	298,7

Nombre	Tasa	B	L
1.4	12,563	20,2	133,3
5	12,893	20,2	239,1
2.7	13,235	20,5	143,6
1	13,517	20,9	306,9
8.3	12,716	21,0	226,3
6.2.1	12,712	21,6	241,7
5	14,282	21,6	236,6
10	12,353	21,7	197,7
1.2	13,587	21,8	142,3
7.4	12,856	21,9	279,1
2.3	13,068	22,2	346,9
2.0.1	12,721	22,3	248,6
5.4.2	11,92	22,4	150,9
8	13,104	22,5	281,3
7.2.2	12,547	22,9	281,5
7.2.1	12,675	23,9	282,1
6.3.2.2	13,948	23,9	202,0
2.3.1	12,548	24,3	334,0
6.2.2	13,262	24,4	232,9
3.0.2	13,386	24,5	33,5
3.2	12,653	24,8	340,0
2	13,556	25,5	251,8
3.3.1	13,093	25,8	332,0
2.0.4	12,548	25,8	27,0
2.3	12,671	26,0	23,5
4	11,92	26,4	125,2
4.2.1	13,074	27,2	118,6
3.2.4	12,998	27,4	295,8
6.2	12,595	27,6	268,5
2	12,74	27,7	21,8
2.2	13,183	28,6	9,6
6	12,472	29,1	28,3
2.2.1	15,204	29,5	240,3

Nombre	Tasa	B	L
8.2	12,457	30,2	250,6
2.2	14,032	31,6	243,2
4.2	12,481	31,7	115,8
5	12,607	32,3	31,4
5.2	13,424	33,8	31,9
1.0.1	11,769	37,1	297,0
6	13,311	42,1	137,0

Apéndice 8. Latitudes de las manchas solares de Spörer (1889) y Ribes y Nesme-Ribes (1993)

Latitudes de las manchas solares durante el Mínimo de Maunder recuperadas en este documento. La primera columna indica la fecha y la segunda columna indica la latitud de la mancha solar. Finalmente, la tercera columna muestra la fuente de los datos. Usamos “1” y “2” para indicar Spörer (1889) o Ribes y Nesme-Ribes (1993), respectivamente.

Date	Latitud	Source
1672.87945	-13	1
1676.49178	-13	1
1676.60822	-6	1
1676.83288	-5.2	1
1676.85753	-4.5	1
1676.96164	-4.9	1
1678.16301	-7	1
1678.39863	-12	1
1684.3589	-11	1
1684.50548	-10.8	1
1684.56986	-9	1
1686.32055	-15	1
1695.37123	-12	1
1700.49726	-3	1
1700.86027	-9.5	1
1701.24384	-12	1
1701.84658	-12	1
1702.35206	-10.5	1
1702.39041	-12	1
1702.98767	-11	1
1703.38904	-16	1
1703.40822	-2	1
1703.47945	-2	1
1703.52877	-19	1
1703.9726	-10.5	1
1704.02055	-7	1
1704.03425	-8.2	1
1704.08356	-9	1

Date	Latitud	Source
1704.10411	-8	1
1704.11096	-13	1
1704.21644	-10	1
1704.90685	-9	1
1705.04384	-10.5	1
1705.04384	-7.5	1
1705.27534	12.5	1
1705.34932	-14	1
1705.48767	-12	1
1705.51918	-12	1
1705.83014	-3	1
1706.26986	-9	1
1706.42466	-5	1
1706.46575	-12	1
1706.69726	-7	1
1706.91918	-9	1
1707.13699	-6	1
1707.1863	-9	1
1707.2274	-6.5	1
1707.36575	-6.5	1
1707.72466	-5	1
1707.87123	-12.5	1
1707.87671	-13	1
1707.88493	16	1
1707.95616	-13	1
1708.62055	-7	1
1708.68767	-5	1
1708.88082	-4	1

Date	Latitud	Source
1708.89863	-6.5	1
1708.91644	-10	1
1709.02192	-16	1
1709.0863	-11	1
1709.09315	-6	1
1709.65206	-7	1
1709.86712	-6	1
1710.82466	-12.5	1
1671.57392	-0.3	2
1672.76594	-14.9	2
1676.52035	9.9	2
1676.60161	-8.7	2
1676.61401	-3.9	2
1676.73796	-6	2
1676.99688	-6	2
1677.30746	-11.1	2
1677.78881	-0.2	2
1678.04773	-0.2	2
1684.42858	-11	2
1684.49194	-11.6	2
1684.61933	-12.4	2
1684.62484	-10.2	2
1684.68888	-10.5	2
1686.52408	-1.8	2
1686.5537	-15.3	2
1686.55507	-14.8	2
1686.95448	-10.6	2
1686.95517	-10.3	2
1688.58447	-6.1	2
1688.58722	-5	2
1688.76971	-9.5	2
1688.77246	-8.5	2
1689.03483	-7.2	2
1689.08303	-13.5	2
1689.09405	-9.3	2

Date	Latitud	Source
1689.41495	-10.4	2
1689.48657	-7.7	2
1695.69457	-10.3	2
1701.18847	-13.6	2
1701.19122	-12.6	2
1701.24012	-18.7	2
1701.2408	-18.4	2
1701.97006	-11.8	2
1702.03617	-11.2	2
1702.09677	-12.8	2
1702.61049	-14.5	2
1702.61875	-11.3	2
1703.20409	-10.2	2
1703.26607	-11.3	2
1703.61451	-1.7	2
1703.6758	-3	2
1703.6882	1.7	2
1703.73502	-5.2	2
1703.74535	-1.2	2
1703.74811	-0.1	2
1703.77014	-16.6	2
1704.22602	-15.6	2
1704.23979	-10.2	2
1704.33	-0.4	2
1704.35754	-14.8	2
1704.49596	-11.3	2
1704.5056	-7.6	2
1704.50835	-6.5	2
1704.76453	-7.6	2
1704.76797	-6.3	2
1705.20456	-12.7	2
1705.46211	11.8	2
1705.59088	-13.5	2
1705.70795	-18.3	2
1705.71552	-15.3	2

Date	Latitud	Source
1705.72448	-11.9	2
1705.73687	-7.1	2
1705.75478	-0.2	2
1705.79196	-10.8	2
1705.79472	-9.8	2
1705.80367	-6.3	2
1705.80918	-4.2	2
1706.0681	-4.2	2
1706.44065	-10.3	2
1706.58664	-3.9	2
1706.63829	-9	2
1706.89652	-9.3	2
1707.03287	-6.6	2
1707.08865	-10.1	2
1707.14512	-13.2	2
1707.15683	-8.7	2
1707.2918	-6.6	2
1707.29455	-5.5	2
1707.40887	-11.4	2
1707.41162	-10.3	2
1707.42952	-3.4	2
1707.43021	-3.2	2
1707.47497	-10.9	2
1707.72357	-14.9	2
1707.87438	-6.6	2
1707.87576	-6.1	2
1707.99558	-9.8	2
1708.04103	-17.3	2
1708.05136	-13.3	2
1708.11815	12.5	2
1708.78062	-6.6	2
1708.78406	-5.3	2
1708.84122	-8.2	2
1708.85155	-4.3	2
1709.04023	-6.4	2

Date	Latitud	Source
1709.04299	-5.3	2
1709.09532	-10.1	2
1709.14077	-17.6	2
1709.21652	-13.3	2
1709.34943	-12	2
1709.35631	-9.3	2
1709.81976	-5.3	2
1710.01189	-6.1	2
1710.90711	-10.4	2
1714.66428	15.5	2
1714.80682	20.6	2
1714.81026	21.9	2
1714.92871	17.6	2
1715.10706	11.5	2
1715.39285	21.9	2
1715.5168	-5.2	2
1715.565	13.4	2
1715.56845	14.7	2
1715.80396	-19.3	2
1715.8136	9.4	2
1715.81635	10.4	2
1715.81842	11.2	2
1716.0677	-17.5	2
1716.11797	1.9	2
1716.12004	2.7	2
1716.15585	16.6	2
1716.22953	20	2
1716.2316	20.8	2
1716.33145	9.4	2
1716.40444	12.6	2
1716.42304	19.7	2
1716.45127	-19.4	2
1716.46367	10.4	2
1716.51669	-19.1	2
1716.53115	11.5	2

Date	Latitud	Source
1716.59864	12.5	2
1716.63927	3.2	2
1716.65029	7.5	2
1716.65993	11.2	2
1716.70606	-21	2
1716.71226	6.4	2
1716.7405	17.3	2
1716.78732	10.4	2
1716.80316	16.5	2
1716.90232	4.8	2
1716.90232	-20.2	2
1716.93262	-8.5	2
1716.94846	-2.4	2
1716.98496	-13.3	2
1717.11167	-14.3	2
1717.11304	11.2	2
1717.18466	13.9	2
1717.22047	-22.3	2
1717.23769	9.3	2
1717.25559	16.3	2
1717.30862	-13.3	2
1717.31412	13.9	2
1717.31688	14.9	2
1717.36922	10.1	2
1717.37335	11.7	2
1717.41191	-23.4	2
1717.44565	-10.3	2
1717.44978	16.2	2
1717.45598	-6.4	2
1717.48077	3.2	2
1717.51314	-9.3	2
1717.52416	-5	2
1717.54757	4	2
1717.55377	6.4	2
1717.61506	-19.9	2

Date	Latitud	Source
1717.61712	-19.1	2
1717.63778	13.9	2
1717.68805	8.3	2
1717.69081	9.3	2
1717.69838	-12.7	2
1717.70182	-11.4	2
1717.75072	-17.5	2
1717.77757	-7.2	2
1717.7879	21.8	2
1717.81063	5.6	2
1717.8368	-9.3	2
1717.84919	20.5	2
1717.87536	-19.4	2
1717.88224	-16.7	2
1717.89877	-10.4	2
1717.91943	-2.4	2
1717.95042	-15.4	2
1717.95524	11.4	2
1717.9821	21.8	2
1718.02823	14.6	2
1718.04407	-4.2	2
1718.0544	-0.3	2
1718.09847	16.8	2
1718.18524	0.3	2
1718.18524	25.3	2
1718.22518	-9.3	2
1718.23827	-4.3	2
1718.27683	-14.4	2
1718.28096	-12.8	2
1718.2844	-11.4	2
1718.33054	-18.6	2
1718.3333	-17.6	2
1718.34638	-12.5	2
1718.41938	-9.3	2
1718.46276	7.4	2

Date	Latitud	Source
1718.46827	-15.4	2
1718.77471	2.9	2
1718.79261	-15.2	2
1718.91588	7.4	2
1718.92414	-14.4	2
1718.9269	11.7	2
1719.11352	-16.2	2
1719.1748	-17.6	2
1719.22989	-21.3	2
1719.24573	-15.2	2
1719.30771	-16.2	2

Bibliografia

- Abramowitz, M., Stegun, I.A., 1972. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications Inc, New York.
- Aller, R.M., 1957. Introducción a la Astronomía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Arlt, R., 2008. Digitization of Sunspot Drawings by Staudacher in 1749 - 1796. Solar Physic 399-410.
- Arlt, R., 2009. The solar butterfly diagram in the 18th century. Solar Physic 255, 143-153.
- Arlt, R., Leussu, R., Giese, N., Mursula, K., Usoskin, I.G., 2013. Sunspot positions and sizes for 1825-1867 from the observations by Samuel Heinrich Schwabe. Mon. Not. R. Astron. Soc. 433, 3165-3172.
- Asín, M., 1990. Astronomía de posición. Autor-Editor, Madrid.
- Baker, D.N. et al., 2013. A major solar eruptive event in July 2012: Defining extreme space weather scenarios, Space Weather, 11, 585-591, doi:10.1002/swe.20097
- Balthasar, H. et al. 1986. The solar rotation elements i and Ω derived from sunspot groups. Astron. Astrophys. 160, 277-279.
- Baselga Moreno, S., 2006. Fundamentos de Cartografía Matemática. Ed Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Beck, R., Hilbrecht, H., Reinskch, K. and Volker, P., 1995. Solar Astronomy Handbook. VA: Willman-Bell, Richmond.
- Beck, J.G. and Giles. P., 2005. Helioseismic determination of the solar rotation axis. The Astrophysical Journal, 621:L153-L156.
- Beer, J., Tobias, S., Weiss, N., 1998. An active sun throughout the Maunder minimum. Solar Phys. 181, 237-249.
- Carrington, R.C., 1860. Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 20, 13-14.
- Casas, R., Vaquero, J.M., 2014. The sunspot catalogues of Carrington, Peters, and de la Rue: quality control and machine-readable versions. Solar Phys. 289, 79-90.
- Casas, R., Vaquero, J.M., Vázquez, M., 2006. Solar rotation in the 17th century. Solar Phys. 234, 379-392.
- Chowdhury, P., Dwivedi, B.N., 2011. A study of the north-south asymmetry of sunspot area during solar cycle 23. In: First Asia-Pacific Solar Physics Meeting. ASI Conference Series, vol. 2, pp. 197-201.
- Clette, F., Svalgaard, L., Vaquero, J.M., Cliver, E.W., 2014. Revisiting the Sunspot Number. A 400-year perspective on the solar cycle. Space Sci. Rev. 185, 35-103.
- Cliver, E.W. and Dietrich, W.F., 2013. The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. J. Space Weather Space Clim. 3, A31.
- Cliver, E.W., Boriakoff, V., Bounar, K.H., 1998. Geomagnetic activity and the solar wind during the Maunder Minimum. Geophys. Res. Lett. 25, 897-900.
- Cox A.N. (ed.), 2000. Allen's Astrophysical Quantities (Fourth Edition). Springer, New York.

- Cristo, A., Vaquero, J.M., Sánchez-Bajo, F., 2011. HSUNSPOTS: a tool for the analysis of historical sunspot drawings. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 73, 187-190.
- Duffett-Smith, P. and Zwart, J., 2011. *Practical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet*. Four edition. Cambridge University Press.
- Eddy, J.A., 1976. The Maunder minimum. *Science* 192, 1189-1202.
- Hoyt, D.V., Schatten, K.H., 1998. Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction. *Solar Phys.* 179, 189-219.
- Knipp, D., 2011. *Space Weather and the Physics Behind It*. McGraw Hill, New York.
- Koskinen, H.E.J., 2011. *Physics of Space Storms: From the Solar Surface to the Earth*. Springer, Heidelberg.
- Kuhn, J.R., Bush, R., Emilio, M., Scholl, I.F., 2012. The precise solar shape and its variability. *Science* 337, 1638. DOI.
- Macdonald, L., 2003. *How to Observe the Sun Safely*. Springer-Verlag, London.
- Meeus, J., 1988. *Astronomical Formulae for Calculators*. Willmann-Bell, Inc.
- Meeus, J., 1991. *Astronomical Algorithms*. Willmann-Bell, Richmond, Virginia.
- Meftah, M. et al., 2015. On the Determination and Constancy of the solar Oblateness. *Solar Physics* 290, 673-687.
- Oriani, B., 1780. *Observationes macularum Solis anno 1178, peractae in Specula Astronomica Mediolanensi. Ephemerides Astronomicae, ad Meridianum Mediolanensem, supputatae ab Angelo de Cesaris*, 155-206.
- Oriani, B., 1783. *Observationes macularum Solis. Habita mensibus Januario, Febuario, & Martio An. 1779. Ephemerides Astronomicae, ad Meridianum Mediolanensem, supputatae ab Angelo de Cesaris*, 204-225.
- Pericas, J., 1914. *Tres Ábacos para Mediciones Heliográficas. Memorias del Observatorio del Ebro. Imprenta Moderna del Ebro de Algueró y Baiges, Tortosa*.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., 1989. *Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ribes, J.C., Nesme-Ribes, E., 1993. The solar sunspot cycle in the Maunder minimum. *Astron. Astrophys.* 276, 549-563.
- Sánchez-Bajo, F. and Vaquero, J.M., 2013. Measuring the solar rotation from digital camera images. *European Journal of Physics* 34, PPP-PPP.
- Sestini, B., 1853. *Astronomical Observations made during the year 1847 at The National Observatory Vol. III*. National Observatory, Washington.
- Soon, W.W.-H., Yaskell, S.H., 2003. *The Maunder Minimum and the Variable Sun-Earth Connection*. World Scientific, Singapore; River Edge, NJ.
- Spoerer, G., 1889. Ueber die periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahr 1618. *Nova Acta der Ksl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher* 53(2), 281-324.
- Usoskin, I.G. et al., 2015. The Maunder minimum (1645-1715) was indeed a Grand minimum: A reassessment of multiple datasets. *Astronomy & Astrophysics* 581, A95.

- Usoskin, I.G., 2013. A history of solar activity over millennia. *Living Rev. Solar Phys.* 10, 1-94.
- Usoskin, I.G., Mursula, K., Kovaltsov, G.A., 2001. Heliospheric modulation of cosmic rays and solar activity during the Maunder minimum. *J. Geophys. Res.* 106, 16039-16046.
- Vaquero, J.M., 2007. Historical sunspot observations: a review. *Adv. Space Res.* 40, 929-941.
- Vaquero, J.M., Gallego, M.C., Usoskin, I.G., Kovaltsov, G.A., 2011. Revisited sunspot data: a new scenario for the onset of the Maunder minimum. *Astrophys. J. Lett.* 731, L24 (4pp).
- Vaquero, J.M., Vázquez, M., 2009. *The Sun Recorded Through History*. Springer, Berlin.
- Verma, V.K., 1993. On the North-South asymmetry of solar activity cycles. *Astrophys. J.* 403, 797-800.
- European Space Agency 2017. Solar Orbiter. <http://sci.esa.int/solar-orbiter/Solar>