

ANEXO 1: EL PLANETA MARTE

Marte es el cuarto planeta del Sistema Solar. Forma parte de los llamados planetas telúricos (de naturaleza rocosa, como la Tierra) y es el primero de los planetas exteriores a la órbita terrestre. Es, posiblemente, el más parecido a la Tierra. Marte ha fascinado siempre a los hombres. El aspecto rojizo de su superficie, debido al óxido de hierro Fe_2O_3 contenido en los minerales superficiales, le ha hecho parecer intrigante y misterioso. Marte era el dios romano de la guerra y su equivalente griego se llamaba Ares. El color rojo del planeta Marte, relacionado con la sangre, favoreció que se le considerara desde antiguo como un símbolo del dios de la guerra. En ocasiones se hace referencia a Marte como el **Planeta Rojo**. La estrella Antares, próxima a la eclíptica en la constelación de Scorpio, recibe su nombre como rival (ant-) de Marte, por ser sus brillos parecidos en algunos de sus acercamientos.

Características físicas: Tiene una forma ligeramente elipsoidal, con un diámetro ecuatorial de 6.794 Km. y uno polar de 6.750 km. Medidas micrométricas muy precisas han dado un achatamiento de 0,01, tres veces mayor que el de la Tierra. A causa de este achatamiento, el eje de rotación está afectado por una lenta precesión debida a la atracción del Sol sobre el abultamiento ecuatorial del planeta; pero la precesión lunar, que en nuestro planeta es dos veces mayor que la solar, no tiene su equivalente en Marte.

Con este diámetro su volumen es de 15 centésimas el terrestre y su masa solamente de 11 centésimas. En consecuencia, la densidad es inferior a la de la Tierra; es 3,94 en relación con el agua. Un cuerpo transportado a Marte pesaría 1/3 de su peso en la Tierra, debido a la poca fuerza gravitatoria.

Conocemos con exactitud lo que dura la rotación de Marte debido a que las manchas que se observan en su superficie, oscuras y bien delimitadas, son excelentes puntos de referencia. Fueron observadas por primera vez en 1659 por Huygens que asignó a su rotación la duración de un día. En 1666, Giovanni Cassini la fijó en 24 h 40 min., valor muy aproximado al verdadero. Trescientos años de observaciones de Marte han dado por resultado establecer el valor de 24 h 37 min. 22,7 s para el día sideral (el período de rotación de la Tierra es de 23 h 56 min. 4,1 s). Un día marciano vale, por consiguiente, 1,029 días terrestres. El día solar en Marte tiene, igual que el de la Tierra, una duración variable, lo cual se debe a que los planetas siguen órbitas elípticas alrededor del Sol que no se recorren con uniformidad. No obstante en Marte la variación es mayor por su elevada excentricidad. Para mayor comodidad en sus trabajos, los responsables de las misiones norteamericanas de exploración de Marte por sondas automáticas han decidido unilateralmente dar al día marciano el nombre de **sol**, sin preocuparse por el hecho de que esa palabra significa suelo en francés y designa en castellano la luz solar o, escrito con mayúscula, el astro central de nuestro sistema planetario.

El año marciano dura 687 días terrestres o 668,6 soles. Un calendario marciano podría constar de dos años de 668 días por cada tres años de 669 días.

Los polos de Marte están señalados por dos casquetes polares de color blanco deslumbrante, que han facilitado mucho la determinación del ángulo que forma el ecuador del planeta con el plano de su órbita, ángulo equivalente para Marte a la oblicuidad de la eclíptica en la Tierra. Las medidas hechas por Camichel sobre clisés obtenidos en el observatorio francés del Pic du Midi, han dado para este ángulo $24^\circ 48'$. Desde la exploración espacial se acepta un valor de $25,19^\circ$, un poco mayor que la oblicuidad de la eclíptica ($23^\circ 27'$), motivo por el cual, Marte tiene períodos estacionales similares a los de la Tierra, aunque sus estaciones son más largas, dado que un año marciano es casi dos veces más largo que un año terrestre.



Fig. A.1: Comparativa de tamaño entre Marte y la Tierra.

Observaciones telescópicas: Cristiaan Huygens hizo las primeras observaciones de áreas oscuras en la superficie de Marte en 1659, y también fue uno de los primeros en detectar los casquetes polares. Otros astrónomos

que contribuyeron al estudio de Marte fueron G. Cassini, W. Herschel (descubrió la oblicuidad del eje de rotación de Marte y observó nubes marcianas), y J. Schroeter.

El año 1877 presentó una oposición muy cercana a la Tierra, y fue un año clave para los estudios de Marte. El astrónomo estadounidense A. Hall descubrió los satélites Fobos y Deimos, mientras el astrónomo italiano G. Schiaparelli se dedicó a cartografiar cuidadosamente Marte; en efecto, hoy en día, se usa la nomenclatura inventada por él para los nombres de las regiones marcianas (Syrtis Major; Mare Tyrrhenum; Solis Lacus, etc.). Schiaparelli también creyó observar unas líneas finas en Marte, a las cuales bautizó como *canali*. El problema fue que esta palabra se tradujo al inglés como "canals", palabra que implica algo artificial.

Esta última palabra despertó la imaginación de mucha gente, especialmente del astrónomo C. Flammarion y del aristócrata P. Lowell. Ellos se dedicaron a especular con que había vida en Marte. Lowell estaba tan entusiasmado con esta idea que se construyó en 1894 su propio observatorio en Flagstaff, Arizona, para estudiar al planeta Marte. Sus observaciones lo convencieron de que no sólo había vida en Marte, sino que esa vida era inteligente: Marte era un planeta que se estaba secando, y una sabia y antigua civilización marciana había construido esos canales para drenar agua de los casquetes polares y enviarla hacia las sedientas ciudades. Con el paso del tiempo, el furor de los canales marcianos se fue disipando, ya que muchos astrónomos ni siquiera podían verlos; de hecho, los canales fueron una ilusión óptica. Hacia los años 1950, ya casi nadie creía en civilizaciones marcianas, pero muchos estaban convencidos de que sí que había vida en Marte en forma de musgos y líquenes primitivos, hecho que se puso en duda al ser Marte visitado por primera vez por una nave espacial en 1965.

Exploración espacial de Marte: La primera sonda en visitar Marte fue la Marsnik 1, que pasó a 193.000 Km. de Marte el 19 de junio de 1963, sin conseguir enviar información.

La Mariner 4 en 1965 sería la primera en transmitir desde sus cercanías. Junto a las Mariner 6 y 7 que llegaron a Marte en 1969 sólo consiguieron observar un Marte lleno de cráteres y parecido a la Luna. Fue la Mariner 9 la primera sonda que consiguió situarse en órbita marciana. Realizó observaciones en medio de una espectacular tormenta de polvo y fue la primera en atisbar un Marte con canales que parecían redes hídricas, vapor de agua en la atmósfera, y que sugería un pasado de Marte diferente. La primera nave en aterrizar y transmitir desde Marte es la soviética Marsnik 3, que tocó la superficie a 45°S y 158°O a las 13:50:35 GMT del 2 de diciembre de 1971, si bien poco después se estropearía. Posteriormente lo harían las Viking I y II en 1976. Los resultados negativos de sus experimentos biológicos propiciaron una falta de interés de 20 años en la exploración.

El 4 de Julio de 1997 la Mars Pathfinder aterrizó con pleno éxito en Marte y probó que era posible que un pequeño robot se pasease por el planeta. En 2004 una misión científicamente más ambiciosa llevó a dos robots Spirit y Opportunity que aterrizaron en dos zonas de Marte diametralmente opuestas para analizar las rocas en busca de agua, encontrando indicios de un antiguo mar o lago salado.

La Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó la sonda Mars Express en junio del 2003 que actualmente orbita en Marte. A este último satélite artificial de Marte se le suman las naves de la NASA Mars Global Surveyor y Mars Odyssey, en órbita alrededor de Marte desde septiembre de 1997 y octubre de 2001 respectivamente. La NASA lanzó el 12 de agosto de 2005 la sonda Mars Reconnaissance Orbiter, que llegó a Marte el 10 de marzo de 2006 y tiene como objetivos principales la búsqueda de agua pasada o presente y el estudio del clima.



Fig. A.2: Planeta Marte

Superficie de Marte: La ciencia que estudia la superficie de Marte se llama **areografía** (de Ares, dios de la guerra entre los griegos).

Marte es un mundo mucho más pequeño que la Tierra. Sus principales características, en proporción con las del globo terrestre, son las siguientes: diámetro 53%, superficie 28%, masa 11%. Como los océanos cubren el 71% de la superficie terrestre y Marte carece de mares las tierras de ambos mundos tienen aproximadamente la misma superficie.

La superficie de Marte presenta características morfológicas tanto de la Tierra como de la Luna: cráteres de impacto, campos de lava, volcanes, cauces secos de ríos y dunas de arena. Su composición es fundamentalmente basalto volcánico con un alto contenido en óxidos de hierro que proporcionan el característico color rojo de la superficie. Por su naturaleza, se asemeja a la limonita, óxido de hierro muy hidratado. Así como en las cortezas de la Tierra y de la Luna predominan los silicatos y los aluminatos, en el suelo de Marte son preponderantes los ferrosilicatos. Sus tres constituyentes principales son, por orden de abundancia, el oxígeno, el silicio y el hierro. Contiene: 20,8% de sílice, 13,5% de hierro, 5% de aluminio, 3,8% de calcio, y también titanio y otros componentes menores.



Fig. A.3: Planeta Marte visto desde el telescopio Hubble.

Desde la Tierra, mediante telescopios, se observan unas manchas oscuras y brillantes que no se corresponden a accidentes topográficos sino que aparecen si el terreno está cubierto de polvo oscuro (manchas de albedo). Éstas pueden cambiar lentamente cuando el viento arrastra el polvo. La mancha oscura más característica es **Syrtis Major** que simplemente es una pendiente menor del 1% y sin nada resaltable.

La superficie de Marte presenta también unas regiones brillantes de color naranja rojizo, que reciben el nombre de *desiertos*, y que se extienden por las tres cuartas partes de la superficie del planeta, dándole esa coloración rojiza característica o, mejor dicho, el de un inmenso pedregal, ya que el suelo se halla cubierto de piedras, cantos y bloques.

Un enorme escalón, cercano al ecuador, divide a Marte en dos regiones claramente diferenciadas: un norte llano, joven y profundo y un sur alto, viejo y escarpado, con cráteres similares a las regiones altas de la Luna. En contraste, el hemisferio norte tiene llanuras mucho más jóvenes, y con una historia más compleja. Parece haber una brusca elevación de varios kilómetros en el límite. Las razones de esta dicotomía global son desconocidas.

Hay cráteres de impacto distribuidos por todo Marte, pero en el hemisferio sur hay una vieja altiplanicie de lava basáltica semejante a los mares de la Luna, sembrada de cráteres de tipo lunar. Pero el aspecto general del paisaje marciano difiere al que presenta nuestro satélite como consecuencia de la existencia de atmósfera. En concreto, el viento cargado de partículas sólidas produce una ablación que, en el curso de los tiempos geológicos, ha arrasado muchos cráteres. Éstos son, por consiguiente, mucho menos numerosos que en la Luna y la mayor parte de ellos tienen las murallas más o menos desgastadas por la erosión. Por otra parte, los enormes volúmenes de polvo arrastrados por el viento cubren los cráteres menores, las anfractuosidades del terreno y otros accidentes poco importantes del relieve. Entre los cráteres de impacto destacados del hemisferio sur está la cuenca de impacto **Hellas Planitia**, la cual tiene 6 km de profundidad y 2.000 km de diámetro. Muchos de los cráteres de impacto más recientes tienen una morfología que sugiere que la superficie estaba húmeda o llena de barro cuando ocurrió el impacto.

El campo magnético marciano es muy débil, unas 2 milésimas del terrestre y con una polaridad invertida respecto a la Tierra.

La superficie de Marte conserva las huellas de grandes cataclismos que no tienen equivalente en la Tierra:

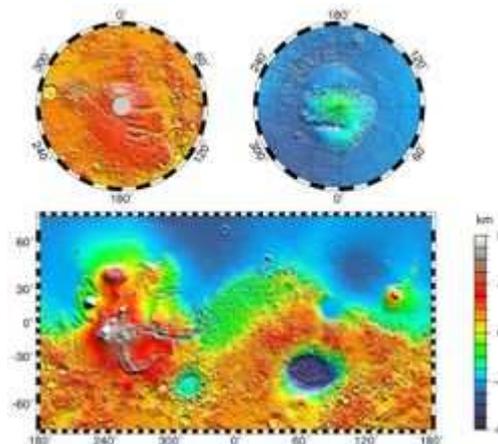


Fig. A.4: Relieve marciano.

Una característica que domina parte del hemisferio norte, es la existencia de un enorme abultamiento que contiene el complejo volcánico de **Tharsis**. En él se encuentra **Olympus Mons**, el mayor volcán del Sistema Solar. Tiene una altura de 25 Km. (más de dos veces y media la altura del Everest sobre un globo mucho más pequeño que el de la Tierra) y su base tiene una anchura de 600 km. Las coladas de lava han creado un zócalo cuyo borde forma un acantilado de 6 Km. de altura. Hay que añadir la gran estructura colapsada de **Alba Patera**. Las áreas volcánicas ocupan el 10% de la superficie del planeta. Algunos cráteres muestran señales de reciente actividad y tienen lava petrificada en sus laderas.

Cercano al Ecuador y con una longitud de 2.700 Km., una anchura de hasta 500 Km. y una profundidad de entre 2 y 7 Km., **Valles Marineris** es un cañón que deja pequeño al Cañón del Colorado. Se formó por el hundimiento del terreno a causa de la formación del abultamiento de **Tharsis**.

Hay una clara evidencia de erosión en varios lugares de Marte tanto por el viento como por el agua. Existen en la superficie largos valles sinuosos que recuerdan lechos de ríos (actualmente secos pues el agua líquida no puede existir en la superficie del planeta en las actuales condiciones atmosféricas). Esos inmensos valles pueden ser el resultado de fracturas a lo largo de las cuales han corrido raudales de lava y, más tarde, de agua.

La superficie del planeta conserva verdaderas redes hidrográficas, hoy secas, con sus valles sinuosos entallados por las aguas de los ríos, sus afluentes, sus brazos, separados por bancos de aluviones que han subsistido

hasta nuestros días. Todos estos detalles de la superficie sugieren un pasado con otras condiciones ambientales en las que el agua causó estos lechos mediante inundaciones catastróficas. Algunos sugieren la existencia, en un pasado remoto, de lagos e incluso de un vasto océano en la región boreal del planeta. Todo parece indicar que fue hace unos 4.000 millones de años y por un breve período de tiempo, en la denominada era Noeica.

Al igual que la Luna y Mercurio, Marte no presenta tectónica de placas activa, como la Tierra. No hay evidencias de movimientos horizontales recientes en la superficie tales como las montañas por plegamiento tan comunes en la Tierra. No obstante la Mars Global Surveyor en órbita alrededor de Marte ha detectado en varias regiones del planeta extensos campos magnéticos de baja intensidad. Este hallazgo inesperado de un probable campo magnético global, activo en el pasado y hoy desaparecido, puede tener interesantes implicaciones para la estructura interior del planeta. Las magnetizaciones residuales de las rocas ocurren en bandas alternativas, similares a las observadas en las dorsales marinas donde se forma nueva superficie terrestre. Aunque hay varias posibles explicaciones, una de ellas es que el planeta Marte pudo haber tenido una tectónica de placas en su historia inicial.

Características atmosféricas: La atmósfera de Marte es muy tenue con una presión superficial de sólo 7 a 9 hPa frente a los 1033 hPa de la atmósfera terrestre. Esto representa una centésima parte de la terrestre. La presión atmosférica varía considerablemente con la altitud, desde casi 9 hPa en las depresiones más profundas, hasta 1 hPa en la cima del Olympus Mons. Su composición es fundamentalmente: dióxido de carbono (95,3%) con un 2,7% de nitrógeno, 1,6% de argón y trazas de oxígeno molecular (0,15%) monóxido de carbono (0,07%) y vapor de agua (0,03%). La proporción de otros elementos es ínfima y escapa su dosificación a la sensibilidad de los instrumentos hasta ahora empleados. El contenido de ozono es 1000 veces menor que en la Tierra, por lo que esta capa, que se encuentra a 40 km de altura, es incapaz de bloquear la radiación ultravioleta.

La atmósfera es lo bastante densa como para albergar vientos muy fuertes y grandes tormentas de polvo que, en ocasiones, pueden abarcar el planeta entero durante meses. Este viento es el responsable de la existencia de dunas de arena en los desiertos marcianos. Las nubes pueden presentarse en tres colores: blancas, amarillas y azules. Las nubes blancas son de vapor de agua condensada o de dióxido de carbono en latitudes polares. Las amarillas, de naturaleza pilosa, son el resultado de las tormentas de polvo y están compuestas por partículas de tamaño en torno a 1 micra. La bóveda celeste marciana es de un suave color rosa salmón debido a la dispersión de la luz por los granos de polvo muy finos procedentes del suelo ferruginoso.

En invierno, en las latitudes medias, el vapor de agua se condensa en la atmósfera y forma nubes ligeras de finísimos cristales de hielo. En las latitudes extremas, la condensación del anhídrido carbónico forma otras nubes que constan de cristales de nieve carbónica.

La débil atmósfera marciana produce un efecto invernadero que aumenta la temperatura superficial unos 5 grados; mucho menos que lo observado en Venus y en la Tierra.

La atmósfera marciana ha sufrido un proceso de evolución considerable por lo que es una atmósfera de segunda generación. La atmósfera primigenia, formada poco después que el planeta, ha dado paso a otra, cuyos elementos provienen de la actividad geológica del planeta. Así, el vulcanismo vierte a la atmósfera determinados gases, entre los cuales predominan el gas carbónico y el vapor de agua. El primero queda en la atmósfera, en tanto que el segundo tiende a congelarse en el suelo frío. El nitrógeno y el oxígeno no son producidos en Marte más que en ínfimas proporciones. Por el contrario, el argón es relativamente abundante en la atmósfera marciana. Esto no es de extrañar: los elementos ligeros de la atmósfera (hidrógeno, helio, etc.) son los que más fácilmente se escapan en el espacio interplanetario dado que sus átomos y moléculas alcanzan la velocidad de escape; los gases más pesados acaban por combinarse con los elementos del suelo; el argón, aunque ligero, es lo bastante pesado como para que su escape hidrodinámico hacia el espacio interplanetario sea difícil y, por otra parte, al ser un gas neutro o inerte, no se combina con los otros elementos por lo que va acumulándose con el tiempo.

En los inicios de su historia, Marte pudo haber sido muy parecido a la Tierra. Al igual que en nuestro planeta la mayoría de su dióxido de carbono se utilizó para formar carbonatos en las rocas. Pero al carecer de una tectónica de placas es incapaz de reciclar hacia la atmósfera nada de este dióxido de carbono y así no puede mantener un efecto invernadero significativo.

No hay cinturón de radiación, aunque sí hay una débil ionosfera que tiene su máxima densidad electrónica a 130 km de altura.

Aunque no hay evidencia de actividad volcánica actual, recientemente la nave europea Mars Express y medidas terrestres obtenidas por el telescopio Keck desde la Tierra han encontrado trazas de metano en una proporción de 10 partes por 1000 millones. Este gas sólo puede tener un origen volcánico o biológico. El metano no puede permanecer mucho tiempo en la atmósfera. Se estima en 400 años el tiempo en desaparecer de la atmósfera

de Marte, ello supone que hay una fuente que lo produce. Lo más probable es que la actividad volcánica del Olympus Mons no terminase de golpe hace 100 millones de años. Es necesario recalcar que la pequeña proporción de metano detectada, muy poco por encima del límite de sensibilidad instrumental, impide por el momento dar una explicación clara de su origen.

El agua en Marte: En la Tierra, y al nivel del mar, el agua hierve a 100°C. Pero el punto de ebullición depende de la presión y si ésta es excesivamente baja, el agua no puede existir en estado líquido. Eso es lo que ocurre en Marte: si ese planeta tuvo abundantes cursos de agua fue porque contaba también con una atmósfera mucho más densa que proporcionaba también temperaturas más elevadas. Al disiparse la mayor parte de esa atmósfera en el espacio, y disminuir así la presión y bajar la temperatura, el agua desapareció de la superficie de Marte. Ahora bien, subsiste en la atmósfera, en estado de vapor, aunque en escasas proporciones, así como en los casquetes polares, constituidos por grandes masas de hielos perpetuos. La sonda Mars Express estudiará también la presencia de hielos de agua en el subsuelo marciano.

Cuando las pequeñas palas mecánicas de las sondas espaciales excavan una ranura en el suelo polvoriento de Marte, los bordes de esa excavación debieran desmoronarse como cuando practicamos un surco en la arena o en un suelo terroso. En realidad, los bordes de las ranuras practicadas en Marte no se desmoronan, como si el suelo estuviese húmedo.

Todo permite suponer que entre los granos del suelo existe agua congelada, fenómeno que, por lo demás, es común en las regiones muy frías de la Tierra donde, desde las grandes glaciaciones del cuaternario, el suelo está profundamente helado. En torno de ciertos cráteres marcianos se observan unas formaciones en forma de lóbulos cuya formación solamente puede ser explicada admitiendo que el suelo de Marte está congelado: el calor producido por el impacto del meteorito ha debido provocar la vaporización del hielo y al vapor en expansión se debería cierta sustentación de la materia proyectada en el impacto la formación del referido relieve de lóbulos o guirnaldas. También se dispone de fotografías de otro tipo de accidente del relieve perfectamente explicado por la existencia de un gelisuelo. Se trata de un hundimiento del suelo de cuya de depresión parte un cauce seco con la huella de sus brazos separados por bancos de aluviones. Parece que en la zona de la depresión el calor, probablemente debido a un fenómeno volcánico, ha provocado la fusión del hielo; el terreno se ha hundido por su propio peso, expulsando el agua hasta la superficie; como la evaporación del líquido, aunque ineluctable, no es instantánea el agua ha podido discurrir por el suelo antes de su total evaporación; el fenómeno ha durado suficiente tiempo como para que el curso del agua así creado por la fusión del permafrost haya excavado un lecho.

En junio de 2000 la nave Mars Global Surveyor detectó en paredes de cráteres o en valles profundos donde no incide nunca la luz solar, accidentes que parecen barrancos formados por torrentes de agua y los depósitos de tierra y rocas transportados por ellos. Sólo aparecen en latitudes altas del hemisferio Sur. La comparación con la geología terrestre sugiere que se trata de los restos de un suministro superficial de agua similar a un acuífero. Este acuífero estaría situado entre 100 y 400 metros de profundidad. Al surgir el agua hacia la superficie se congela y formaría una presa de hielo que terminaría por romperse y produciendo un breve torrente activo hasta que el agua se evapora.

El 6 de diciembre de 2006 la NASA encuentra muestras de cambios de sedimentos en un cráter de Marte, lo que evidencia la presencia de agua líquida. Dos fotografías del Mars Global Surveyor tomadas con una diferencia de seis años muestran unos sedimentos que antes no estaban.

En mayo de 2002 la nave Mars Odyssey detectó hidrógeno superficial. Este hidrógeno podría estar combinado formando agua helada. El hielo formaría una capa bajo la superficie, entre 30 y 60 cm. y comprendería desde los casquetes hasta los 60° de latitud. En enero de 2004 la sonda europea Mars Express detecta agua en el polo Sur del planeta. La observación se hizo al final del verano cuando el "hielo seco" sublima y deja un casquete residual de agua. En el polo Norte su presencia estaba ya confirmada. Parece que los europeos han detectado líneas espectrales de vapor de agua y no iones de hidrógeno. Se trata por lo tanto de una medida directa y no indirecta como la que hicieron las sondas norteamericanas en 2002. Existe por lo tanto cierta polémica sobre la autoría de este descubrimiento.

También subsiste agua marciana en la atmósfera del planeta, aunque en proporción tan ínfima (0,01%) que, de condensarse totalmente sobre la superficie de Marte, formaría sobre ella una película líquida cuyo espesor sería aproximadamente de la centésima parte de un milímetro. A pesar de su escasez, ese vapor de agua participa de un ciclo anual. En Marte, la presión atmosférica es tan baja que el vapor de agua se sublima en el suelo, en forma de hielo, a la temperatura de -80°C. Cuando la temperatura se eleva de nuevo por encima de ese límite, el hielo se sublima en sentido inverso convirtiéndose en vapor sin pasar por el estado líquido.

En julio de 2005, la nave europea Mars Express fotografía por vez primera un lago de agua helado en la superficie, en un cráter en el polo norte del planeta.

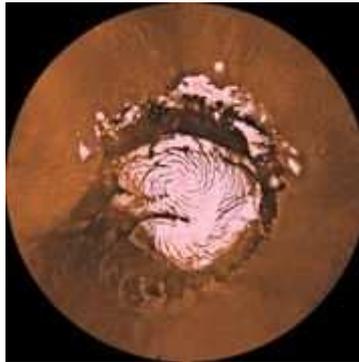


Fig. A.5: Polo Norte de Marte.

Casquetes polares: La superficie del planeta presenta diversos tipos de formaciones permanentes, entre las cuales las más fáciles de observar son dos grandes manchas blancas situadas en las regiones polares, una especie de *casquetes polares* del planeta. Así como el vapor de agua se sublima en Marte aproximadamente a -80°C , el gas carbónico lo hace a -120°C . Esa diferencia confiere a los casquetes polares de Marte un carácter singular. Cuando llega la estación fría, el depósito de hielo perpetuo empieza por cubrirse con una capa de escarcha debida, como ya se ha dicho, a la condensación del vapor de agua atmosférico; luego, al seguir bajando la temperatura y pasar a ser la misma inferior a -120°C , desaparece el agua congelada bajo un manto de nieve carbónica que extiende al casquete polar hasta rebasar a veces el paralelo de los 60° . Ello es así porque se congela parte de la atmósfera de CO_2 .

Recíprocamente en el hemisferio opuesto, la primavera hace que la temperatura suba por encima de -120°C , lo cual provoca la sublimación de la nieve carbónica y el retroceso del casquete polar; luego, cuando el termómetro se eleva a más de -80°C , se sublima, a su vez, la escarcha; sólo subsisten entonces los hielos permanentes, pero ya el frío vuelve y éstos no sufrirán una ablación importante. La masa de hielo perpetuo tiene un tamaño de unos 100 Km. de diámetro y unos 10 m de espesor. Así pues los casquetes polares están formados por una capa muy delgada de hielo de CO_2 ("hielo seco") y quizá debajo del casquete Sur haya hielo de agua. En el verano austral el dióxido de carbono se sublima por completo, dejando una capa residual de hielo de agua. En cien años de observación el casquete polar Sur ha desaparecido dos veces por completo, mientras el Norte no lo ha hecho nunca. Se desconoce si existe una capa similar de hielo de agua bajo el casquete polar Norte dado que la capa de dióxido de carbono nunca desaparece por completo. Ello se debe a que aunque el clima en el hemisferio Sur es más riguroso, las cortas estaciones de la primavera y verano del hemisferio Austral ocurren cuando el sol está en el perihelio, así las máximas temperaturas ocurren en el hemisferio Sur y el casquete sufre por ello. A la vez las temperaturas más bajas también ocurren en el Sur porque el otoño e invierno son largos y el Sol está en el afelio.

Los casquetes polares muestran una estructura estratificada con capas alternantes de hielo y distintas cantidades de polvo oscuro. No se sabe a ciencia cierta el mecanismo causante de la estratificación pero puede ser debida a cambios climáticos relacionados con variaciones a largo plazo de la inclinación del ecuador marciano respecto al plano de la órbita. También podría haber agua oculta bajo la superficie a menores latitudes. Los cambios estacionales en los casquetes producen cambios en la presión atmosférica global de alrededor de un 25% (medidos en los lugares de aterrizaje de los Viking).

La Mars Global Surveyor determinó a finales de 1998 que la masa total de hielo del casquete polar Norte equivale a la mitad del hielo que existe en Groenlandia. Además el hielo del polo Norte de Marte se asienta sobre una gran depresión del terreno estando cubierto por "hielo seco". Los nuevos rasgos topográficos sugieren que el casquete Norte marciano muestra un gran montículo de hielo, cortado por un remolino semicircular que podría ser obra del viento. El casquete helado parece elevarse abruptamente desde el terreno adyacente con laderas empinadas y acabando en una meseta de hielo. El hielo presenta en los bordes del casquete bandas claras y oscuras que parecen indicar procesos de sedimentación. No hay huellas de impacto, lo que significa que se trata de un casquete y sus depósitos podrían tener sólo 100.000 años. En cambio el casquete del hemisferio Sur formado al parecer sólo de CO_2 ("hielo seco") muestra cráteres de impacto que podría indicar una antigüedad de 1.000 millones de años.

Climatología: Sobre las temperaturas que reinan en Marte, todavía no se dispone de datos suficientes que permitan conocer su evolución a lo largo del año marciano en las diferentes latitudes y, mucho menos, las particularidades regionales. Tampoco resulta cómoda la comparación de las temperaturas registradas por las

diferentes sondas que han explorado el planeta ya que estas observaciones se han realizado mediante instrumentos muy diferentes y con objetivos distintos (temperatura de superficie, atmósfera, regiones específicas, etcétera).

Por hallarse Marte mucho más lejos del Sol que la Tierra, sus climas son más fríos, y tanto más por cuanto la atmósfera, al ser tan tenue, retiene poco calor: de ahí que la diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas sea más pronunciada que en nuestro planeta. A ello contribuye también la baja conductividad térmica del suelo marciano. La duración del día y de la noche Marte es aproximadamente la misma que en la Tierra.

La temperatura en la superficie depende de la latitud y presenta variaciones estacionales. La temperatura media superficial es de unos 218 K (-55°C). La variación diurna de las temperaturas es muy elevada como corresponde a una atmósfera tan tenue. Las máximas diurnas, en el ecuador y en verano, pueden alcanzar los 20 °C o más, mientras las máximas nocturnas pueden alcanzar fácilmente -80°C. En los casquetes polares, en invierno las temperaturas pueden bajar hasta -130°C.

En una de esas ocasiones Marte se hallaba lo más cerca posible del Sol y entonces se registró en el ecuador, en pleno verano, la temperatura de 27°C. En 1976, Marte se hallaba, por el contrario, a su máxima distancia del Sol cuando llegaron a ese planeta la Viking. La primera de éstas aterrizó a una latitud (22,46°N.) que es aproximadamente la de La Habana o de La Meca; allí, a pesar de hallarse el hemisferio en verano, la máxima temperatura diurna registrada fue de -13°C (a las 15 h) y la mínima de -86°C (a las 6, antes de la salida del Sol). Por su parte, la segunda Viking se posó a la latitud de 47,89°N. (aproximadamente la de Viena) y midió allí, también en pleno verano, temperaturas máximas y mínimas que, en promedio, fueron respectivamente de -38 y -89°C.

Enormes tormentas de polvo, que persisten durante semanas e incluso meses, oscureciendo todo el planeta pueden surgir de repente (aunque son más frecuentes tras el perihelio del planeta) y en el hemisferio Sur, cuando allí es el final de la primavera, están causadas por vientos de más de 150 km/h. Así como en la Tierra un viento de 50 a 60 km/h basta para levantar nubes de polvo, en Marte, dada la ínfima densidad del aire, sólo un vendaval de unos 200 km/h puede producir el mismo efecto, aunque admitiendo que el suelo esté seco (y ya hemos visto que, por su consistencia, está cargado de humedad congelada). Dichas tormentas pueden alcanzar dimensiones planetarias. Tienen su origen en la diferencia de energía del Sol que recibe el planeta en el afelio y en el perihelio. Cuando Marte se encuentra en las cercanías del perihelio de su órbita, la temperatura se eleva en el hemisferio Sur por ser finales de primavera y por el mayor acercamiento al Sol. Ello causa que el suelo pierda su humedad. En ciertas regiones, especialmente entre **Noachis** y **Hellas**, se desencadena entonces una violenta tempestad local que, arranca del suelo seco imponentes masas de polvo. Este, por ser muy fino, se eleva a grandes altitudes y, en unas semanas, cubre no sólo todo un hemisferio sino incluso la casi totalidad del planeta. El polvo en suspensión en la atmósfera causa una neblilla amarilla que oscurece los accidentes más característicos del planeta. Al interferir la entrada de energía solar las temperaturas máximas disminuyen, pero a su vez actúa como una manta que impide la disipación del calor, por lo que las mínimas aumentan. En consecuencia la oscilación térmica diurna disminuye drásticamente. Así ocurrió en 1971, imposibilitando durante cierto tiempo las observaciones que debían efectuar las cuatro sondas (dos *Mars* soviéticas y dos *Mariner* americanas) que acababan de llegar al planeta rojo. Esos velos de polvo que se trasladan de una parte a otra, que cubren y descubren estacionalmente regiones de otro color o matiz, y esos vientos que orientan las partículas del suelo y las dunas, explican los cambios de color que afectan al disco marciano visto desde la Tierra y que tanto habían intrigado a los astrónomos durante más de un siglo.

Durante un año marciano parte del CO₂ de la atmósfera se condensa en el hemisferio donde es invierno, o se sublima del polo a la atmósfera cuando es verano. En consecuencia la presión atmosférica tiene una variación anual

Cambio climático: Observaciones recientes de la superficie marciana, han mostrado que su clima podría ser mucho más dinámico de lo que se había esperado, con una importante disminución reciente del casquete sur, indicando un calentamiento continuado del clima marciano durante los últimos años. Este efecto se retroalimenta ya que el casquete polar sur de Marte está formado mayoritariamente por dióxido de carbono, de modo que su evaporación aumenta el débil efecto invernadero de la atmósfera marciana y contribuye a incrementar aún más las temperaturas. Las variaciones de dióxido de carbono en la atmósfera marciana conforme a su condensación y evaporación en los polos, originan cambios en la presión atmosférica superficial en cada estación, siendo las presiones menores en invierno y mayores en el verano del hemisferio sur.

Dos hipótesis contrapuestas respecto al pasado marciano: Desde 1972, hay un gran debate respecto a la historia pasada de Marte. Para unos Marte albergó en un pasado grandes cantidades de agua y tuvo un pasado cálido, con una atmósfera mucho más densa, el agua fluyendo por la superficie y excavando los grandes canales que surcan su superficie. Al calcular la cantidad de agua que había excavado los canales gigantes, los geólogos de la NASA concluyeron que Marte había conocido ríos que empujaban a los mayores terrestres, con caudales diez mil veces más grandes que el río Misisipí. Como unos caudales tan enormes eran imposibles de mantener, se

supuso que las riadas habían sido cortas y catastróficas, causadas por acontecimientos excepcionales como erupciones volcánicas o impactos de meteoritos. La orografía de Marte presenta un hemisferio norte que es una gran depresión y donde los partidarios de Marte húmedo sitúan al Oceanus Borealis, un mar cuyo tamaño sería similar al Mar Mediterráneo. El deuterio es un isótopo pesado del hidrógeno, y las moléculas de agua están formadas en una pequeña proporción por deuterio y oxígeno. Su mayor masa le hace más resistente a la evaporación, y por ello se concentra en los residuos líquidos. Al analizar la escasísima agua de la atmósfera marciana, se encontró que el deuterio era cinco veces más abundante que en la Tierra. Esta anomalía, también registrada en Venus, se interpreta como que los dos planetas tenían mucho agua en el pasado pero que acabaron perdiéndola. Hay dos formas de perder agua: los rayos ultravioleta, rompen las moléculas de agua y el hidrógeno muy ligero se escapa por la parte alta de la atmósfera y más aún en el caso de Marte un planeta de pequeña masa. La segunda consiste en que el agua se filtraría por el suelo marciano permaneciendo en el subsuelo, retenido por alguna capa impermeable o formando suelo helado o permafrost, por la baja temperatura reinante en el planeta. Obviamente la primera forma es una pérdida definitiva mientras la segunda no y el agua puede detectarse mediante el radar Marsis a bordo de la nave europea Mars Express. Pero la nave sólo ha detectado grandes cantidades de agua en los casquetes polares que se extienden hasta el subsuelo y muy poca en el resto del subsuelo del planeta.

Los recientes descubrimientos del robot de la NASA Opportunity, en Meridiani Planum avalan la hipótesis de un pasado húmedo. A finales de 2005 surgió la polémica sobre las interpretaciones dadas a determinadas formaciones de rocas que exigían la presencia de agua, proponiéndose una explicación alternativa (vulcanismo e impacto de meteoritos) que rebajaba la necesidad de agua a cantidades mucho menores y reducía el gran mar o lago ecuatorial a una simple charca donde nunca había existido más de un palmo de agua salada. Algunos científicos han criticado el hecho de que la NASA sólo investiga en una dirección buscando evidencias de un Marte húmedo y descartando las demás hipótesis.

La superficie de un planeta con largos periodos húmedos en su pasado reciente debería estar sembrada de minerales hidratados (por ejemplo, arcillas). El espectrómetro Omega tampoco ha encontrado en Marte zonas ricas en carbonatos, a pesar de que según otros instrumentos los hay. La química orgánica del carbono es la base de la vida en la Tierra. Por el contrario, en un planeta desecado deberían abundar los minerales que son inestables en presencia de agua como el olivino que se altera con gran facilidad en presencia de agua. Se han encontrado arcillas, pero en cantidades limitadas, lo que es compatible con el flujo reducido de agua en terrenos muy antiguos. Ello supone que la era de los filosilicatos cuando Marte era un planeta húmedo y en un ambiente alcalino terminó hace 3500 millones de años. La abundancia del mineral olivino (típico de los basaltos) ha sido tomada como prueba de que el actual clima seco y helado ha prevalecido desde entonces.

La no evidencia, hasta el momento, de carbonatos en Marte, revela que el dióxido de carbono atmosférico no fue tan abundante para sostener la presencia de agua líquida, ya que el gas debería haber formado otros minerales como el carbonato, en adición de las arcillas. Estos hallazgos son sorprendentes y para explicar esto es posible que si el dióxido de carbono atmosférico fue abundante como para formar carbonatos, los mismos carbonatos fuesen destruidos por el ambiente ácido del propio planeta. También es posible que el dióxido de carbono nunca existiera en abundancia en la atmósfera temprana de Marte y otro gas de invernadero sería el causante de la formación de agua. Entre éstos podría citarse al dióxido de azufre o al metano que no reaccionan con los minerales. Una tercera posibilidad es que un factor aún desconocido, ayudó a mantener la suficiente presión y temperatura atmosférica para la formación de arcillas.

Así pues tendríamos en Marte tres eras. Durante los primeros 1000 millones de años un Marte calentado por una atmósfera que contenía gases de efecto invernadero suficientes para que el agua fluyese por la superficie y se formaran arcillas, la era Noeica que sería el anciano reducto de un Marte húmedo y capaz de albergar vida. La segunda era duró de los 3800 a los 3500 millones de años y en ella ocurrió el cambio climático, y la era más reciente y larga que dura casi toda la historia del planeta y que se extiende de los 3500 millones de años a la actualidad con un Marte tal como lo conocemos en la actualidad frío y seco.

Recientemente se ha puesto en duda el mecanismo de formación de los barrancos marcianos y que la mayoría de los científicos achacaron a corrientes de agua en el pasado geológico reciente de Marte. Un mecanismo alternativo es que se trata de formaciones secas causadas por el viento y no por agua. En la superficie lunar donde no hay agua hay barrancos lunares muy similares a los encontrados en Marte. La hipótesis del derrumbamiento seco, en la formación de los barrancos marcianos, tiene su mejor ejemplo en el cráter Dawes de 17 kilómetros, en la Luna, barrancos similares a los marcianos en estructura y tamaño. En abril de 2005 la Mars Global Surveyor, que lleva nueve años en órbita alrededor de Marte, detectó la formación de barrancos en dunas marcianas, barrancos que no estaban ahí en julio de 2002. El mecanismo de su formación, que excluye el agua, se debe a que el dióxido de carbono congelado atrapado en los granos de arena durante el invierno, se evapora durante la primavera liberando el gas y causando el derrumbe de la arena.

En resumen el paradigma de un Marte húmedo que explicaría los accidentes orográficos de Marte está dejando paso al paradigma de un Marte seco y frío donde el agua ha tenido una importancia mucho más limitada.

Características físicas	
Diámetro ecuatorial	6 804,9 km
Diámetro polar	6 754,8 km
Achatamiento	0,007 36
Superficie	$1,448 \times 10^8$ km ²
Volumen	$1,638 \times 10^{11}$ km ³
Masa	$6,4185 \times 10^{23}$ kg
Masa volumétrica media	$3,934 \times 10^3$ kg/m ³
Gravedad en la superficie	3,69 m/s ²
Velocidad de escape	5,027 km/s
Periodo de rotación	1,025 957 d 24,622 962 h
Velocidad de rotación (en el ecuador)	868,220 km/h
Inclinación del eje	25,19°
Albedo	0,15
Temperatura en la superficie	min. med. máx.
	133 210 293 K K K
Características de la atmósfera	
Presión atmosférica	0,7-0,9 kPa
Dióxido de carbono	95,32 %
Nitrógeno	2,7 %
Argón	1,6 %
Dioxígeno	0,13 %
Monóxido de carbono	0,07 %
Vapor de agua	0,03 %
Neón Kriptón Xenón Ozono Metano	trazas

ANEXO 2: PROGRAMA MAPLE PARA LOS DIBUJOS Y ANIMACIONES 3D

PROGRAMA PARA HACER EL ÁBACO 3D (EJ: SONDA N, DIBUJO DE ϵ')

```

> with(stats):

N:=46:                #número de puntos de frecuencia
Nc:=31:              #número de columnas
paseps:=2:          #paso de permitividad
pasfreq:=0.1:       #paso de frecuencia
freqini0:=0.5:
freqfin0:=5:
freqini:=trunc(freqini0/pasfreq):
freqfin:=trunc(freqfin0/pasfreq):
epsini:=1:
epsfin:=31:
Nt:=N*Nc:           #número total de puntos a representar
l:=readdata(`N_eps1_25.prn`,2): #leer los datos fuente
lf:=seq(op(1,l[j]),j=1..Nt):   #vector con los valores de frecuencia
ll:=seq(op(2,l[j]),j=1..Nt):

f:=(x)->op(trunc(x),lf):

g:=(x)->(op(trunc(x),ll)):

> with(plots):

i:='i':
j:='j':

plot3d([paseps*(trunc(i)),(f(trunc(j)+(trunc(i)-1)*N)),g(trunc(j)+(trunc(i)-1)*N)],j=freqini..freqfin,i=epsini..epsfin,grid=[46,31],axes=boxed,
style=PATCHNOGRID);

```

PROGRAMA PARA HACER LA ANIMACIÓN (EJ: SONDA N, DIBUJO DE ϵ')

```

> with(stats):

N:=46:
Nc:=30:
paseps:=2:
pasfreq:=0.1:
freqini0:=0.5:
freqfin0:=5:
freqini:=trunc(freqini0/pasfreq):
freqfin:=trunc(freqfin0/pasfreq):
epsini:=1:
epsfin:=30:
Nt:=N*Nc:
nanim:=3:           #Número de imágenes para animar
l:=readdata("N_eps1.prn",2):
lf:=seq(op(1,l[j]),j=1..nanim*Nt):
ll:=seq(op(2,l[j]),j=1..nanim*Nt):

f:=(x)->op(trunc(x),lf):

g:=(x)->(op(trunc(x),ll)):

```

```
> with(plots):  
i:='i':  
j:='j':  
  
# La función animate3D necesita un parámetro, t  
# Con la opción frames, se pueden escoger el número de imágenes por segundo  
# en la animación  
  
animate3d([paseps*(trunc(i)), (f(trunc(j)+(trunc(i)-1)*N+Nt(t-  
1))), g(trunc(j)+(trunc(i)-1)*N+Nt*(t-1))],  
j=freqini..freqfin, i=epsini..epsfin, t=1..nanim, grid=[46,30], axes=boxed,  
style=PATCHNOGRID, frames=3);
```

ANEXO 3: PROGRAMA MATLAB PARA EL CÁLCULO DE LA PERMITIVIDAD

PROGRAMA PRINCIPAL

```
% Programa principal para la obtención de las permitividades según el valor
% de magnitud y fase normalizadas.
% Carlos Serradilla Arellano. Diciembre 2006

clear all;
close all;

type_sonde=0;
k=0;
eps_1=0;
eps_2=0;

type_sonde=input('Choisissez le type de sonde\n Tapez le 1 pour sonde N\n
Tapez le 2 pour sonde SMA\n Tapez le 3 pour sonde SP\n');
fichier=input('Tapez le nom du fichier de données source (avec .txt à la
fin)\n', 's');

% Abrir el fichero fuente, en el que la primera columna es la
% frecuencia, la segunda es la magnitud y la tercera es la fase
donnees=dlmread(fichier, '\t');
frequence=donnees(:,1);
magnitude=donnees(:,2);
phase=donnees(:,3);
eps_prime=zeros(1,length(frequence));
eps_seconde=zeros(1,length(frequence));

% Bucle para entrar en la función que calcula la permitividad a partir
% de la magnitud y de la fase, según el tipo de sonda
for k=1:length(frequence)
    if (type_sonde==1)
        [eps_1,eps_2]=sondeN(frequence(k),magnitude(k),phase(k));
    elseif (type_sonde==2)
        [eps_1,eps_2]=sondeSMA(frequence(k),magnitude(k),phase(k));
    elseif (type_sonde==3)
        [eps_1,eps_2]=sondeSP(frequence(k),magnitude(k),phase(k));
    else
        fprintf('Erreur');
    end;
    eps_prime(k)=eps_1;
    eps_seconde(k)=eps_2;
    k=k+1;
end;

% Finalmente se escriben los resultados en un fichero de texto y se dibuja
% eps' y eps''
OUT(:,1)=frequence;
OUT(:,2)=eps_prime;
OUT(:,3)=eps_seconde;
fichier_out=input('Tapez le nom du fichier résultats (avec .txt à la
fin)\n', 's');
dlmwrite(fichier_out,OUT,'delimiter','\t','newline','pc');

figure(1)
subplot(211)
plot(frequence,eps_prime),xlabel('Frequence (GHz)'),ylabel('eps prime'),axis
tight;
```

```
subplot(212)
plot(frequence,eps_seconde),xlabel('Frequence (GHz)'),ylabel('eps seconde'),
axis tight;
```

FUNCIÓN QUE DEVUELVE ϵ' Y ϵ'' (Ej: SONDA N)

```
%%% Programa para la sonda N
function [eps_prime,eps_seconde]=sondeN(frequence,magnitude,phase);

% rango de frecuencias para las que se tiene información
freq=0.5:0.1:5;
eps1=3:2:59;
eps1(30)=60;
eps2=0.1:2:48.1;
eps2(26)=50;
% Valores para el análisis de afinamiento
eps1b=1:6;
eps2b=0:0.5:3;
%fila a tratar, correspondiente a la frecuencia escogida
ind_freq=0;
j=0;
eps_1=0;
eps_2=0;
eps2_10=0;
eps2_30=0;
eps2_50=0;
eps1_5=0;
eps1_15=0;
eps1_25=0;
k3=0;
k10=0;
k30=0;
k50=0;
aux=0;
aux2=0;
aux3=0;
k2=0;
k5=0;
k15=0;
k25=0;

%Se leen los ficheros de datos HFSS, que serán utilizados para comparar
M10=dlmread('N_eps2-eps1_10.txt','\t',0,1);
M30=dlmread('N_eps2-eps1_30.txt','\t',0,1);
M50=dlmread('N_eps2-eps1_50.txt','\t',0,1);

M5=dlmread('N_eps1-eps2_5.txt','\t',0,1);
M15=dlmread('N_eps1-eps2_15.txt','\t',0,1);
M25=dlmread('N_eps1-eps2_25.txt','\t',0,1);

%% En primer lugar se debe buscar a qué frecuencia se debe comparar
ind_freq=1;
for j=1:length(freq)
    if abs(freq(j)-frequence)<=abs(freq(ind_freq)-frequence)
        ind_freq=j;
        j=j+1;
    else
        j=j+1;
    end;
end;
```

```
% Se utiliza un vector que es la fila que corresponde a la frecuencia de
% trabajo
file10=M10(ind_freq,:);
file30=M30(ind_freq,:);
file50=M50(ind_freq,:);
file5=M5(ind_freq,:);
file15=M15(ind_freq,:);
file25=M25(ind_freq,:);

%ya se conoce la frecuencia de trabajo. Se deben hacer los tres
%análisis, para eps1=10,30,50
aux=file10(1);
for k10=1:length(file10)
    if abs(magnitud-file10(k10))<=abs(magnitud-aux)
        aux=file10(k10);
        eps2_10=eps2(k10);
        k10=k10+1;
    else
        k10=k10+1;
    end;
end;
eps2_10;

aux2=file30(1);
for k30=1:length(file30)
    if abs(magnitud-file30(k30))<=abs(magnitud-aux2)
        aux2=file30(k30);
        eps2_30=eps2(k30);
        k30=k30+1;
    else
        k30=k30+1;
    end;
end;
eps2_30;

aux3=file50(1);
for k50=1:length(file50)
    if abs(magnitud-file50(k50))<=abs(magnitud-aux3)
        aux3=file50(k50);
        eps2_50=eps2(k50);
        k50=k50+1;
    else
        k50=k50+1;
    end;
end;
eps2_50;

%%% tenemos tres valores: eps=10-j*eps2_10, eps=30-j*eps2_30 y
%%% eps=50-j*eps2_50
%%% es el momento de entrar en los ábacos de eps2
aux=file5(1);
for k5=1:length(file5)
    if abs(phase-file5(k5))<=abs(phase-aux)
        aux=file5(k5);
        eps1_5=eps1(k5);
        k5=k5+1;
    else
        k5=k5+1;
    end;
end;
eps1_5;
```

```

aux2=file15(1);
for k15=1:length(file15)
    if abs(phase-file15(k15))<=abs(phase-aux2)
        aux2=file15(k15);
        eps1_15=eps1(k15);
        k15=k15+1;
    else
        k15=k15+1;
    end;
end;
eps1_15;

aux3=file25(1);
for k25=1:length(file25)
    if abs(phase-file25(k25))<=abs(phase-aux3)
        aux3=file25(k25);
        eps1_25=eps1(k25);
        k25=k25+1;
    else
        k25=k25+1;
    end;
end;
eps1_25;

%%% Ahora tenemos tres valores más: eps=eps1_5-j*5;
%%% eps=eps1_15-j*15 y eps=eps1_25-j*25

%%% algoritmo para escoger la mejor permitividad
deltaa=[abs(5-eps2_10),abs(5-eps2_30),abs(5-eps2_50)];
deltab=[abs(15-eps2_10),abs(15-eps2_30),abs(15-eps2_50)];
deltac=[abs(25-eps2_10),abs(25-eps2_30),abs(25-eps2_50)];

moyennea=sum(deltaa)/length(deltaa);
moyenneb=sum(deltab)/length(deltab);
moyennec=sum(deltac)/length(deltac);

if moyennea<moyenneb && moyennea<moyennec
    eps_1=eps1_5;
else if moyenneb<moyennea && moyenneb<moyennec
    eps_1=eps1_15;
    else if moyennec<moyennea && moyennec<moyennea
        eps_1=eps1_25;
    end;
end;
end;

if abs(eps_1-10)<abs(eps_1-30) && abs(eps_1-10)<abs(eps_1-50)
    eps_2=eps2_10;

else if abs(eps_1-30)<abs(eps_1-10) && abs(eps_1-30)<abs(eps_1-50)
    eps_2=eps2_30;

    else
        eps_2=eps2_50;
    end;
end;

end;

```

```
%Si los valores de permitividad son muy bajos, se utilizan los datos
%del análisis de afinamiento
if eps_1==3
    M2=dlmread('N_eps1-eps2_2.txt','\t',0,1);
    file2=M2(ind_freq,:);
    aux3=file2(1);
    for k2=1:length(file2)
        if abs(phase-file2(k2))<=abs(phase-aux3)
            aux3=file2(k2);
            eps_prime=eps1b(k2);
            k2=k2+1;
        else
            k2=k2+1;
        end;
    end;
else
    eps_prime=eps_1;
end;

if eps_2<=2.1
    M3=dlmread('N_eps2-eps1_3.txt','\t',0,1);
    file3=M3(ind_freq,:);
    aux3=file3(1);
    for k3=1:length(file3)
        if abs(magnitude-file3(k3))<=abs(magnitude-aux3)
            aux3=file3(k3);
            eps_seconde=eps2b(k3);
            k3=k3+1;
        else
            k3=k3+1;
        end;
    end;
else
    eps_seconde=eps_2;
end;
```